

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ЗБРОЙНІ СИЛИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

**НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ – ДЛЯ ЗАХИСТУ
ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ**
**XXII МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ ХАРКІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА**

Тези доповідей

08 – 09 квітня 2026 року

Харків
2026

*Затверджено до друку вченою радою Харківського національного
університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба,
протокол від 24 березня 2026 року № 3*

DOI: <https://doi.org/10.30748/NTFASP.2026>

XXII міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 08 – 09 квітня 2026 року. – Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2026. – 988 с.

Наведені тези доповідей за теоретичними та практичними результатами наукових досліджень і розробок, які виконані викладачами, науковими співробітниками, докторантами, ад’юнктами, аспірантами, фахівцями органів військового управління, закладів, установ і підприємств.

Для наукових, науково-педагогічних працівників, докторантів, ад’юнктів, аспірантів, фахівців в галузі розвитку Збройних Сил, озброєння та військової техніки.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несуть автори.



Відповідно до закону України “Про авторське право і суміжні права” при використанні наукових ідей та матеріалів цього збірника, посилання на авторів і видання є обов’язковим.

ЗМІСТ

Вступне слово начальника Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба	5
Програмний комітет конференції	6
Організаційний комітет конференції	8
Секція 1. Проблеми воєнного мистецтва, управління військами (силами) в сучасних війнах (конфліктах) та при відсічі збройної агресії російської федерації проти України.....	11
Секція 2. Наукове супроводження, розвиток, бойове застосування та експлуатація автоматизованої системи управління авіацією та протиповітряною обороною Повітряних Сил	48
Секція 3. Підготовка, бойове застосування частин (підрозділів) авіації, бойове маневрування та льотна експлуатація літальних апаратів.....	69
Секція 4. Створення, експлуатація та ремонт авіаційної техніки з урахуванням досвіду російсько-української війни	129
Секція 5. Комплекси і системи бортового обладнання військових повітряних суден, БПАК та авіаційне озброєння	193
Секція 6. Тактика зенітних ракетних військ, розвиток, експлуатація, ремонт та бойове застосування озброєння і військової техніки ЗРВ з урахуванням досвіду відсічі збройної агресії російської федерації.....	275
Секція 7. Тактика радіотехнічних військ, розвиток та бойове застосування радіоелектронної техніки РТВ. Особливості ведення радіолокаційної розвідки в ході бойового застосування.....	331
Секція 8. Перспективи розвитку та застосування військової техніки електронних комунікаційних систем та радіотехнічного забезпечення польотів авіації Повітряних Сил	384
Секція 9. Інформаційні та автоматизовані технології управління військовими організаційно-технічними системами	429
Секція 10. Розвиток озброєння, інформаційного забезпечення та способів застосування військ протиповітряної оборони Сухопутних військ Збройних Сил України. Протиповітряна оборона військ в умовах повномасштабної агресії російської федерації	491
Секція 11. Перспективи розвитку підтримки Повітряних Сил Збройних Сил України	538
Секція 12. Перспективи розвитку логістичного забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України	563
Секція 13. Розвиток, застосування сил та засобів розвідки й пошуково-рятувального забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України.....	597
Секція 14. Перспективи розвитку розвідувально-ударних систем та радіоелектронної боротьби	610

Секція 15. Сучасні напрямки розвитку радіоелектроніки.....	654
Секція 16. Електроенергетичне забезпечення озброєння та військової техніки з урахуванням досвіду ведення бойових дій.....	705
Секція 17. Метрологічне забезпечення в секторі безпеки і оборони з урахуванням досвіду ведення бойових дій.....	735
Секція 18. Соціально-гуманітарні проблеми національної безпеки, реформування та розвитку Збройних Сил України.....	786
Секція 19. Психолого-педагогічні, правові та соціальні проблеми підготовки військових професіоналів в умовах російсько-української війни	806
Секція 20. Особливості викладання іноземних мов військовим фахівцям.....	848
Секція 21. Мовна підготовка та сертифікація авіаційних фахівців.....	874
Секція 22. Математика у військово-прикладних задачах та особливості математичної підготовки майбутніх фахівців авіаційного профілю	892
Секція 23. Новітні технології в авіації та особливості підготовки авіаційних фахівців	911
Секція 24. Перепідготовка та підвищення кваліфікації авіаційного персоналу Збройних Сил України в умовах відсічі збройної агресії російської федерації.....	950
Алфавітний показник	963

ВСТУПНЕ СЛОВО

**начальника Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба до учасників XXII міжнародної
наукової конференції Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
“Новітні технології – для захисту повітряного простору”**

Dear participants of the Conference! Dear colleagues, friends, partners!

It has become a tradition that every spring, the professional community gathers at the Ivan Kozhedub National Air Force University in Kharkiv, united by a common goal of transforming combat experience and scientific ideas into practical solutions for the protection of Ukraine's airspace. Today, this mission is particularly important. The war has accelerated technological cycles, changed the nature of air combat, and placed new demands on the training of commanders, engineers, and scientists.

To implement the development of the capabilities of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, it is the university system of military education and science that is the mechanism of transformation that provides a link between the needs of the troops, the decisions of the high command, and real technological and organizational changes. The university trains cadets and students in accordance with the requirements of governing documents and NATO standards, taking into account the specifics of professional activities, the performance of tasks in conditions of uncertainty, and based on the results of modeling, experiments, and critical analysis.

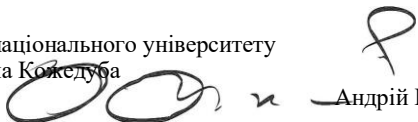
The scientific component of the university is not an addition to the educational process, but its foundation. Through scientific schools, adjuncture, research projects, testing, and systematization of combat experience, we form a scientific basis for substantiating views and decisions. In this context, the interaction of all scientific institutions of the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine, which perform tasks in the interests of national security and defense of Ukraine, is particularly important. Such cooperation allows us to align research topics with the needs of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine and quickly implement the results in training and practice.

The higher education system implemented at the university complies with international approaches to the development of military education in wartime and the transformation of the security and defense sector. It is essential for us that each report at this conference concludes with a scientific conclusion and suggests ways to implement it in training programs, combat training methods, and technical requirements for weapons and military equipment.

I wish all participants fruitful work, bold scientific ideas, professional debate, and partnership-based decisions that bring us closer to victory.

Glory to Ukraine! Glory to its defenders!

Начальник Харківського національного університету
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
бригадний генерал



Андрій БЕРЕЖНИЙ

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова програмного комітету:

бригадний генерал Андрій БЕРЕЖНИЙ, начальник Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

заступник голови програмного комітету:

полковник Костянтин ВАСЮТА, заступник начальника університету з наукової роботи Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Олександр ОЛЕКСЕНКО, начальник воєнно-наукового відділу штабу Командування Повітряних Сил Збройних Сил України;

полковник Володимир ВАСИЛИШИН, начальник кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Ельшан ГАШИМОВ, професор відділу Фундаментальних наук військового науково-дослідного інституту Національного університету оборони, Баку, Азербайджан;

полковник Сергій НЕЧИТАЙЛО, начальник кафедри зенітних ракетних комплексів малої дальності факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Геннадій ХУДОВ, начальник кафедри тактики радіотехнічних військ факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Салім КАЛКАМАНОВ, завідувач кафедри аеродинаміки та динаміки польоту льотного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Володимир КАРЛОВ, завідувач кафедри фізики та радіоелектроніки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Анатолій КОБЗЄВ, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку системи розвідки Повітряних Сил науково-дослідного управління забезпечення та підтримки Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Ігор КОВТОНЮК, професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Павло КОСТЕНКО, професор кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Олексій ЛЕОНТЬЄВ, головний науковий співробітник науково-дослідного управління (розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил) наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Герхард МОК, заступник професора кафедри металевих матеріалів Інституту матеріалів і технологій з'єднання. Технологія матеріалів Магдебургського університету Отто-фон-Геріке, Магдебург, Німеччина;

Кшиштоф ДРАГАН, заступник начальника відділу льотної придатності Технологічного інституту Повітряних Сил, Варшава, Республіка Польща;

працівник ЗС України Олександр СОТНІКОВ, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку системи розвідки Повітряних Сил науково-дослідного управління забезпечення та підтримки Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Вікторія ФЕДОРЧАК, старший викладач відділу повітряних операцій кафедри військових досліджень Шведського університету оборони, Стокгольм, Швеція;

працівник ЗС України Юрій ШЕВЯКОВ, ректор інституту цивільної авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Сергій ЯРОШ, професор кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова організаційного комітету:

бригадний генерал Андрій БЕРЕЖНИЙ, начальник Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Заступник голови організаційного комітету:

полковник Костянтин ВАСЮТА, заступник начальника університету з наукової роботи Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Члени організаційного комітету:

полковник Володимир ВАСИЛИШИН, начальник кафедри радіоелектронних систем пунктів управління Повітряних Сил факультету автоматизованих систем та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Сергій ВОЙТЕНКО, начальник кафедри метрології та стандартизації факультету професійної військової та післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Ельшан ГАШИМОВ, професор відділу Фундаментальних наук військово науково-дослідного інституту Національного університету оборони, Баку, Азербайджан;

полковник Василь КРОТЮК, начальник кафедри педагогіки та психології Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Геннадій ЛАГУТІН, начальник кафедри електротехнічних систем комплексів озброєння та військової техніки факультету професійної військової та післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Володимир ЛУПАНДІН, заступник начальника наукового центру Повітряних Сил з наукової роботи Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Сергій НЕЧИТАЙЛО, начальник кафедри зенітних ракетних комплексів малої дальності факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Сергій ХМЕЛЕВСЬКИЙ, начальник кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Геннадій ХУДОВ, начальник кафедри тактики радіотехнічних військ факультету радіотехнічних військ протиповітряної оборони Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

полковник Юрій ШЕВЦОВ, начальник факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації авіаційного персоналу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

підполковник Михайло БРЕЧКА, заступник начальника факультету з навчальної та наукової роботи – начальник навчальної частини факультету протиповітряної оборони Сухопутних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

підполковник Ольга ХМЕЛЕВСЬКА, начальник науково-дослідного відділу науково-методичного забезпечення та інтеграції в систему міжнародних наукових досліджень наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Салім КАЛКАМАНОВ, завідувач кафедри аеродинаміки та динаміки польоту льотного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Володимир КАРЛОВ, завідувач кафедри фізики та радіоелектроніки Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Петро КВІТКІН, професор кафедри гуманітарних та соціальних дисциплін Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Анатолій КОБЗЄВ, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку системи розвідки Повітряних Сил науково-дослідного управління забезпечення та підтримки Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил університету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Ігор КОВТОНЮК, професор кафедри інженерно-авіаційного забезпечення інженерно-авіаційного факультету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Павло КОСТЕНКО, професор кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Олексій ЛЕОНТЬЄВ, головний науковий співробітник науково-дослідного управління розвитку, застосування та забезпечення авіації Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил університету Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Герхард МОК, заступник професора кафедри металевих матеріалів Інституту матеріалів і технологій з'єднання. Технологія матеріалів Магдебургського університету Отто-фон-Геріке, Магдебург Німеччина;

Кшиштоф ДРАГАН, заступник начальника відділу льотної придатності Технологічного інституту Повітряних Сил, Варшава, Республіка Польща;

працівник ЗС України Інна РЕБРИЙ, завідувач кафедри іноземних мов факультету професійної військової та післядипломної освіти Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Олександр СОТНІКОВ, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу розвитку системи розвідки Повітряних Сил науково-дослідного управління забезпечення та підтримки Повітряних Сил наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

Вікторія ФЕДОРЧАК, старший викладач відділу повітряних операцій кафедри військових досліджень Шведського університету оборони, Стокгольм, Швеція;

працівник ЗС України Олександр ФУРСЕНКО, завідувач кафедри вищої математики Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Юрій ШЕВЯКОВ, ректор інституту цивільної авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

працівник ЗС України Сергій ЯРОШ, професор кафедри тактики зенітних ракетних військ факультету зенітних ракетних військ Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

Відповідальний секретар організаційного комітету:

підполковник Олександр КУРЕНКО, начальник науково-організаційного відділу Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

СЕКЦІЯ 1

ПРОБЛЕМИ ВОЄННОГО МИСТЕЦТВА, УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ (СИЛАМИ) В СУЧАСНИХ ВІЙНАХ (КОНФЛІКТАХ) ТА ПРИ ВІДСІЧІ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ

Керівники секції: к.військ.н. полковник Бейліс Л.В.;
д.військ.н. проф. пр. ЗС України Ярош С.П.
Секретар секції: майор Просяник В.В.

IMPROVEMENT OF THE PROFESSIONAL MILITARY EDUCATION SYSTEM BASED ON THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*O. Turinskyi¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Lysechko², Doctor of Technical Sciences, Professor
¹Air Forces Command of the Armed Forces of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Russian-Ukrainian war has demonstrated a profound transformation in the nature of armed conflict, manifested in the extensive employment of precision-guided weapons, unmanned aerial vehicles (UAVs), electronic warfare capabilities, and digital command-and-control systems. Under these conditions, professional military education must ensure the development of adaptability and the ability to make decisions in situations of uncertainty, while simultaneously guaranteeing compliance with higher education standards and professional standards. The primary instrument for updating the content of training is the system for the collection and implementation of lessons learned.

The integration of combat experience into the professional military education system is accompanied by a number of systemic constraints. First, higher education standards and professional standards are normatively fixed and characterized by lengthy revision cycles, which makes them unsuitable for rapid modification in response to tactical changes. An additional factor is the structural rigidity of educational programs, which limits the prompt updating of course content. In some cases, the implementation of lessons learned is declarative in nature and is not supported by clear traceability in terms of their transformation into defined learning outcomes. Furthermore, a gap persists between combat units generating experience and educational institutions responsible for training military specialists.

The identified limitations can be addressed through the introduction of a two-loop planning model that differentiates between the regulatory and content levels of the educational process.

The first loop is regulatory and stable. It encompasses higher education standards, professional standards, defined competencies, and learning outcomes. Its function is to ensure systemic coherence of training, compliance with national requirements, and the preservation of accreditation stability. Changes within this loop are strategic in nature and are implemented on the basis of generalized trends in the development of armed conflict. Within this loop, a culture of lessons learned must be systematically formed among cadets and officers in training.

The second loop is adaptive and content-oriented. It includes variable thematic modules within disciplines, situational tasks, case-based instruction, and the

integration of Lessons Learned materials and After Action Reviews (AAR) into the educational process. This loop ensures the prompt transformation of combat experience into training content without introducing amendments to the regulatory framework.

Thus, standards define the professional framework of training (what an officer must be capable of), whereas the educational content ensures the actualization of this framework through specific examples, scenarios, and practical solutions corresponding to the contemporary character of hostilities.

The implementation of the two-loop model makes it possible to maintain a balance between the regulatory stability of educational standards and the need for the rapid adaptation of training content to the realities of modern warfare. Such an approach minimizes regulatory risks, preserves accreditation stability, and simultaneously creates a mechanism for the swift transformation of combat experience into the educational process.

The practical implementation of this model will reduce the time between the identification of a lesson and its educational implementation, increase the relevance of training to contemporary conditions of armed conflict, and foster adaptive competencies among future officers necessary for decision-making in a complex and dynamic environment, while also cultivating a sustainable lessons-learned culture.

Consequently, the improvement of the professional military education system under wartime conditions should not be achieved through continuous revision of standards, but rather through the establishment of an institutionally embedded mechanism for the adaptive updating of training content within the existing regulatory framework.

CONCEPTUAL BASIS FOR COUNTERING GUIDED (CORRECTED) AVIATION BOMBS

S. Holubtsov¹; O. Oleksenko¹, Ph.D.;

K. Vasiuta², Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. Misiura², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of modern warfare shows that the parties to the conflict systematically and extensively use guided (corrected) aerial bombs as one of the main means of destroying troops, military and civilian infrastructure in the frontline zone and in the operational depth. Such air strikes are carried out from a long range, without carrier aircraft entering the zones of guaranteed destruction by aviation and anti-aircraft missile forces.

A distinctive feature of the use of guided (corrected) aerial bombs is that they are not used in isolation, but as part of a comprehensive enemy air strike system that includes carrier aircraft, a reconnaissance and target designation system, navigation and correction means, as well as an organizationally developed cycle of repeated use. This systematic approach makes it possible to launch multiple strikes from the same areas, preserve carrier aircraft, and quickly adapt tactics to changes in the situation.

Existing air defense systems are structurally and functionally oriented primarily toward destroying airborne attack vehicles. This factor prevents countermeasures from being extended to the stages of formation of conditions, preparation, and ensuring application, which does not allow influencing the order and repeatability of

task execution. This principle of countering guided (corrected) bombs does not meet the “efficiency-cost” criterion and is of limited effectiveness.

Taking into account the existing factors, the systematic counteraction to guided (corrected) aerial bombs should be based on counteracting the enemy's air strike system, which will affect the entire set of conditions, means, and processes of support and its effectiveness.

The main objectives of such countermeasures are:

- disrupting the cycle of guided (corrected) aerial bomb use by influencing key elements – preparation, launch of carrier aircraft, use and repetition of strikes;
- creating unfavorable conditions for planning and executing air strikes, limiting the ability to create optimal conditions for the use of carrier aircraft, which makes it possible to reduce the mass and density of the use of guided (corrected) aerial bombs;
- influencing navigation, correction, and information components, which will reduce the accuracy of striking targets and troop formations;
- ensuring the combat readiness of troops, reducing personnel losses, and minimizing the consequences of striking military and civilian infrastructure.

AUTOMATION OF THE LESSONS LEARNED SYSTEM IN HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

*A. Berezhnyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
V. Lysechko, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under the conditions of the Russian-Ukrainian war, the volume of information entering the Lessons Learned (LL) system has significantly increased and is characterized by multi-format data streams (text, audio, video, images, analytical materials, and After Action Review (AAR) results). Traditional analytical processing methods do not ensure the required speed of analysis and transformation of combat experience into managerial and educational decisions. In this regard, the issue of automating the information and analytical component of the LL system becomes particularly relevant.

A fundamental principle is that automation should not be implemented through the creation of isolated local solutions within individual higher military educational institutions, but rather within the framework of the Lessons Learned Portal functioning as a unified centralized information platform. This approach ensures system manageability, unity of the information space, and compliance with information security requirements.

The proposed automated system model is based on a modular architecture that includes a Data Lake for the accumulation of raw multi-format data; ETL processes (Extract, Transform, Load) for data structuring and transformation; a vector database for semantic search; a Retrieval-Augmented Generation (RAG) mechanism; and a Large Language Model (LLM) for analytical generalization and the formulation of conclusions. The system is designed to operate within a closed-loop environment without the use of external cloud services.

The automated system does not replace the established LL procedures but provides their information support at the stages of material collection, primary analysis, structuring according to the Observation–Discussion–Conclusion–Recommendation (ODCR) model, identification of analogous lessons, and preparation of materials for educational implementation. Thus, automation serves as

a tool to enhance the effectiveness of the Lessons Learned Portal and to reduce the time between lesson identification and its implementation.

The scientific novelty of the approach lies in the substantiation of an integrated automation model for the LL system, which предусматрює the introduction of semantic processing tools for combat experience within a centralized platform rather than the development of autonomous digital systems. A concept of automated support for the ODCR cycle using vector search and RAG mechanisms to generate substantiated analytical conclusions is proposed. The principle of autonomous operation within a closed-loop environment is justified as a necessary condition for ensuring information security.

The practical significance of the approach consists in reducing the time required for analytical processing of materials, improving the quality of combat experience generalization, and creating a unified information environment for all higher military educational institutions.

At the same time, the implementation of an automated system is associated with technical, organizational, and methodological risks, including substantial hardware requirements, the need for personnel training, and the requirement for expert verification of the outputs generated by generative models. Automation should be regarded as a tool for supporting analytical activities rather than replacing them. The proposed approach may be considered as the formation of an analytical loop which, in the long term, can serve as a methodological basis for the development of decision-support systems in the field of combat experience generalization and implementation.

The automation of the Lessons Learned system in higher military educational institutions is advisable provided that it is implemented within the Lessons Learned Portal as a centralized information platform, ensuring enhanced responsiveness and analytical depth in the implementation of combat experience while maintaining system manageability and information security.

THE WAY TO FORM THE COMPONENTS OF THE AIR FORCES DEVELOPMENT STRATEGY

L. Beilis¹, Candidate of Military Sciences;

D. Gryb², Candidate of Military Sciences, Associate Professor

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report presents the results of research into problematic issues in the formation of the Air Force strategy of the Armed Forces of Ukraine (Air Force strategy) taking into account the requirements of the national regulatory framework and the requirements of NATO countries. Based on the analysis of the results of the work of specialists in this area, approaches are proposed to correct some of the previously developed provisions and to determine recommendations for their correction for the projected future.

The main components of the Air Force strategy remain: Vision, values, mission. The main signs of the need to change the air force strategy are the consequences of the prolonged armed aggression of the Russian Federation against Ukraine and the dynamic change in the approaches of NATO and the USA to supporting Ukraine with resources for further conducting armed combat in the air and jointly protecting the sovereignty of the states of Europe.

The process of rapid development of unmanned systems that use artificial intelligence in combination with existing technologies for destroying air attack means has determined the prospects for the development of the system of training military personnel of the future, forecasting the processes of creating reserves and using resources for conducting armed combat in the air to protect Ukraine.

Separately, some communication aspects in the work of certain personnel are identified to work out problematic issues in developing proposals for the specified strategy.

CONTROL OF TASKS PERFORMANCE DURING COMBAT OPERATIONS BY TACTICAL LEVEL UNITS

*H. Zlyvka; S. Telyukov, Candidate of Technical Sciences; V. Yavtushenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of performing tasks during combat operations by tactical-level units, control of their execution is of great importance, which is carried out for the effective execution of orders (instructions), ensuring the achievement of specified combat objectives, timely adjustment of the actions of units in accordance with changes in the situation on the battlefield, effective fire control of units, operational response to enemy actions, preserving the lives and combat capability of personnel through timely detection of critical threats that arise in combat conditions.

Task performance control during the conduct of hostilities is carried out at the expense of continuous activity of unit commanders and headquarters, that is, management bodies, which is aimed at verifying the compliance of subordinates' actions the commander's battle plan, established deadlines.

Features of implementing control measures when performing tasks during modern combat operations:

- digitalization, namely the widespread implementation of the system TacERP (a single platform for complete accounting UAV) at the tactical level for accounting for unmanned systems and ammunition directly during combat missions;
- analysis of actions taken, increased emphasis on rapid analysis (After Action Review) immediately after the completion of individual phases of the battle for an instant change (correction) of tactics;
- adaptability, control is no longer just a “supervisory” process, it is integrated into the system of studying and implementing the experience of conducting combat operations, which allows changing tasks directly during their execution based on identified problems.

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR A PROSPECTIVE CONTROL SYSTEM FOR AN INTEGRATED AIR AND MISSILE DEFENSE SYSTEM

*O. Babenko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
V. Kalachova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor;
D. Sizon; N. Salna
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid development of air attack means and modern air defense-missile defense means shows that the general requirements for a promising integrated air defense-missile defense control system are:

- implementation of NATO standards of the integrated air defense-missile defense control system;
- increasing the capabilities of the air defense-missile defense control system (complexes, samples) to destroy of air attack means;
- increasing the efficiency of management;
- increasing the combat capabilities of the integrated air defense-missile defense system;
- increasing the mobility and survivability of the integrated air defense-missile defense control system and its elements;
- increasing the noise immunity of the integrated air defense-missile defense control system;
- increasing the degree of automation of the combat work of the air defense-missile defense system control bodies;
- the possibility of using various types of active air defense-missile defense means (saving resources);
- simplifying the procedure and increasing the reliability of interaction with other air (space) reconnaissance systems (complexes), as well as with other air defense and missile defense systems (complexes);
- increasing the cyber security of the integrated air defense- missile defense control system;
- increasing the technical reliability of the integrated air defense – missile defense control system and its elements.

SOME VIEWS ON THE APPLICATION OF FIRE TO THE ENEMY FROM SMALL WEAPONS IN THE CONDITIONS OF FIGHTING IN URBAN BUILDING

V. Kotsiuba, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Yavtushenko; O. Koplik; P. Miroshnichenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analysis of the combat experience of the units of the Defense Forces of Ukraine shows that the use of small arms in urban areas has specific tactical, technical and organizational features. Urban development is characterized by limited distances of fire contact (mainly 10–150 m), the presence of a significant number of shelters, multi-level space and the formation of “dead zones”. This significantly increases the requirements for weapon maneuverability, speed of response and accuracy of shooting.

The effectiveness of the use of weapons largely depends on the organization of fire control. It is advisable create a network of observation positions, as well as involve unmanned aerial vehicles for reconnaissance and target designation. Limited visibility conditions necessitate equipping units with collimator and thermal imaging sights, which reduces the time for detecting and hitting targets.

During assault operations, engineering support equipment, in particular breaching tools and portable fire weapons capable of creating passages in walls and ceilings to ensure the maneuver of assault groups, becomes important. A comprehensive combination of small arms, modern reconnaissance equipment and proper fire training of personnel increases the effectiveness of combat missions in urban conditions.

Therefore, the specifics of combat operations in urban areas require the adaptation of tactical and technical characteristics of weapons, improvement of fire training methods and integration of modern technologies into the unit control system.

RESEARCH OF THE EXISTING METHODOLOGY FOR ORGANIZING AIR DEFENSE COVER FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES BY MOBILE FIRE GROUPS AND ITS IMPROVEMENT

*O. Voznyi; D. Berdochnik, Ph.D.; V. Snitsarenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The existing methodology for organizing air defense cover of critical infrastructure facility by mobile fire groups is a multi-component and adaptive system aimed at effectively countering massive air attacks from the Russian Federation. This system is based on a thorough analysis of threats, classification of protected facilities, and echeloned employment of forces and assets, integrating mobile fire groups as a key element of direct cover.

Improvement of the methodology for organizing air defense cover of critical infrastructure facilities by mobile fire groups is proposed through the inclusion of a decision-support block in the methodology to optimize the distribution of mobile fire groups among covered facilities or along the forecasted directions (routes) of enemy air attack weapons. The criterion for evaluating the effectiveness of the mobile fire group distribution task may be the maximization of the mathematical expectation of the number of destroyed enemy air attack weapons. The obtained results demonstrate the possibility of a formalized determination of the optimal distribution of mobile fire groups by coverage directions based on multi-step optimization methods. The use of mathematical apparatus makes it possible not only to substantiate quantitative performance indicators but also to build a decision-making algorithm for various combat situation scenarios.

The multi-step optimization approach confirms its expediency as a planning tool for air defense cover of critical infrastructure facilities, and its application makes it possible to increase the validity of command decisions and creates a basis for further development of the methodology, taking into account real resource constraints, tactical conditions, and the priority of protected facilities.

APPLICATION OF REFLECTIVE AND SITUATIONAL MANAGEMENT METHODS IN THE DYNAMICS OF COMBAT OPERATIONS

*O. Velychko¹; B. Demidov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Tkachenko², Doctor of Military Sciences, Professor;
M. Borysenko², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher*

¹National Security and Defense Council of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Conducting combat operations in conditions of risk factors, the emergence and development of problematic situations, the presence of signs of uncertainty and dynamic changes in the operational situation will be more effective if the methods of reflective and situational management are synchronized and rationally combined in

an automated mode of action, preventing the emergence of or resolving problematic situations that have already arisen, using elements of situational analysis.

When assessing the feasibility of situational management, it is advisable to use groups of strategic, operational, resource, and system-technical risk factors as a basis, each of which is represented by its own set of intragroup risk factors.

The contribution of each group of factors to the overall risk and the intra-group risk factors within the group can be taken into account using weighting coefficients determined by the hierarchy analysis method. Risk factors can be structured within a hierarchical structural model of risk factors. During a situational analysis, the degree of manifestation of a particular risk can be assessed using subjective probability in conditions of non-stochastic uncertainty. When assessing risk factors, it is necessary to take into account the degree of manifestation and importance of the factors. To take into account and remove fuzzy uncertainty in situational management, it is necessary to use the apparatus of fuzzy set theory and logical-linguistic modeling.

Reflexivity manifests itself in the specific nature of conflict interactions, when the conflicting parties try to impose on their opponent a strategy of behavior that is advantageous to them.

ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІНІМІЗАЦІЇ РИЗИКІВ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ КОМАНДИРА ПІД ЧАС ВІЙНИ

А.А. Бабич¹, к.юрид.н., доц.; В.Г. Малюга², д.військ.н., с.н.с.

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба;

²Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки

Фундаментальною ознакою сучасного операційного середовища є внутрішня суперечність між соціально-правовими детермінантами та військовими імперативами діяльності суб'єктів збройного протистояння. Надмірна акцентуація на соціально-гуманітарних аспектах здатна детермінувати зниження воєнної ефективності, що проявляється у уповільненні темпів наступальних операцій та втраті стратегічної ініціативи. Навпаки, ігнорування нормативно-правових регламентацій призводить до ескалації невідвимовавого насильства та руйнувань, що виходять за межі принципу воєнної необхідності.

У зазначеному контексті критичного значення набуває рівень відповідальності командного складу за прийняті управлінські рішення. Враховуючи високу складність методичної перевірки ступеня правових ризиків в умовах інтенсивних бойових дій, обґрунтованим є впровадження інтегрального індикатора — ефекту правомірності (презумпції). Даний показник дозволяє імплементувати чинник легітимності рішень у загальну модель оцінювання ефективності системи управління військами.

Концепт ефекту правомірності ґрунтується на аксіоматичному припущенні про легітимність управлінських дій: свідомо допущені ризики, зумовлені об'єктивними чинниками операційного середовища, апіорі кваліфікуються як правомірні до моменту встановлення зворотної юридичної істини у судовому порядку. Така парадигма забезпечує правову резистентність суб'єкта управління та сприяє збереженню функціональної стійкості системи управління військами в умовах високої ентропії.

Специфікація управлінського контуру, орієнтованого на впровадження стандартів міжнародного гуманітарного права, уможливорює детермінацію ключових факторів ризику, серед яких: експлуатація високотехнологічних систем озброєння; правові та безпекові дилеми, зумовлені окупацією територій; деструктивний вплив колабораціонізму; критична деградація кадрового потенціалу (втрати особового складу); дестабілізація логістичних ланцюгів.

Вплив зазначених чинників на стійкість управління актуалізує розробку адаптивних моделей поведінки суб'єктів. Процес трансформації системи управління військами у відповідь на виклики збройної боротьби — через реконфігурацію функціональних зв'язків або розбудови відповідних структур — має базуватися на принципах структурно-функціонального синтезу.

Кінцевою метою такої трансформації є максимізація управлінської ефективності. Водночас підтвердження дієвості структурно-функціонального синтезу на результативність системи управління військами за критеріями конвенційних вимог ускладнюється когнітивним дисонансом між стандартними показниками, зафіксованими у керівних документах, та специфікою об'єкта оцінювання. Це зумовлює об'єктивну необхідність адаптації методологічного інструментарію та розробки спеціалізованих метрик оцінки результативності у сучасній війні.

IMPROVED METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF PROTECTION OF TROOPS AGAINST CHEMICAL, BIOLOGICAL, RADIATION AND NUCLEAR THREATS

O. Gutchenko¹, Candidate of Sciences, Senior Researcher;

A. Gutchenko²; M. Kachan²

¹Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Existing methods for assessing the effectiveness of CBRN protection demonstrate limitations in taking into account the full range of protection tasks and indicators of the effectiveness of their implementation, which reduces their practical feasibility and necessitates improvement. For this purpose, it is proposed to use elements of the taxonomy method, expert methods, and the mathematical programming method. The advantages of these methods for improving the methodology are: the taxonomy method – objective ranking of objects by an integral indicator calculated as the distance to the reference state; expert methods – the study of complex systems under conditions of uncertainty, in particular, determining the weight of criteria and building a hierarchy of indicators; mathematical programming – determining the best value of the objective function under conditions of linear resource constraints.

The essence of the efficiency assessment methodology involves carrying out calculations in four stages. The difference between the improved methodology and the known ones is the proposed approach to assessing the efficiency of performing CBRN protection tasks based on the tactical and technical characteristics of the relevant means, as well as determining their weight coefficients, which reflect the suitability of specific means for performing tasks in comparison with other analogues. A method for determining the total indicator of the efficiency of performing tasks by these means, taking into account the weight coefficients, is presented.

MAIN ASPECTS OF THE COMBAT USE OF SNIPER WEAPONS IN A FULL-SCALE RUSSIAN AGGRESSION

Yu. Oliynyk; V. Prokofiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Snipers in a full-scale Russian aggression play a key role in the pinpoint, unlike artillery or drones, destruction of enemy manpower and equipment, providing psychological pressure and isolation of the combat area.

Sniper pairs operate at different distances, often at night, eliminating officers, gun crews and enemy snipers.

The main aspects of the combat use of snipers are ambushes and target destruction, the work of sniper pairs to eliminate Russian occupiers, efficiency and caliber, high performance.

Sniper work provides high accuracy, which helps to control the situation on the contact line. Snipers are armed with rotary-bolt rifles and semi-automatic rifles. 308 Win (7.62×51 mm), as well as pistols chambered for 9×19 mm caliber, equipped with sound reduction devices.

Currently, the Armed Forces of Ukraine are testing the latest anti-sniper combat system developed in Ukraine.

The key criteria for the effectiveness of the combat use of sniper weapons, in addition to high accuracy, are confident target destruction from the first shot, the ability to work at long distances, reliability and stability, the choice of caliber and ammunition, ergonomics and convenience, as well as masking properties (the ability of the rifle and its components to reduce sound and visual unmasking effects (flame, sound).

Modern Ukrainian rifles, such as the UAR-10, demonstrate high performance, meeting NATO standards.

MAIN ASPECTS OF THE COMBAT USE OF SNIPER WEAPONS IN A FULL-SCALE RUSSIAN AGGRESSION

M. Soloviov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the current conditions of warfare, the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is highly relevant, as they can address a wide range of tasks and have a significant impact on various spheres of military activity. Since the onset of the full-scale invasion, drones have evolved from an “auxiliary toy” to a primary tool of war, altering the very doctrine of combat operations.

During the period of 2022–2023, UAVs enabled effective reconnaissance, border control, monitoring of situations in threatened areas, as well as conducting small-scale air operations. The primary purpose of UAVs was linked to their unique capabilities: target reconnaissance and intelligence operations; target designation and fire adjustment; direct target engagement; border and territory patrolling; cargo delivery; psychological impact by creating the impression of an invisible threat from the air.

Modern UAVs fundamentally changed the nature of combat operations in 2024–2025, becoming not just an auxiliary means but a key element of strategy. The unique technological capabilities they acquired during this time include: resistance to Electronic Warfare (EW) through fiber optics; artificial intelligence (AI) and

autopilot; drone swarms (the ability to coordinate dozens of devices for a massive attack); navigation without GPS; high-precision strikes with FPV drones; remote mining and logistics; interceptor drones as a more effective and cheaper alternative to anti-aircraft missiles.

The evolution in one phrase: war has transformed from a confrontation of large armies to a confrontation of technological ecosystems.

THE IMPLEMENTATION OF FIVE BASIC MILITARY STRATEGIES IN MODERN WORLD

H. Hasanov; R. Tahirov

National Defence University, Baku, Azerbaijan

Over the centuries, military strategy, the art and science of deploying and using armed forces to accomplish political and strategic goals [1], has transformed in response to technological developments, geopolitical shifts, and changes in the nature of combat. The fundamental strategies of military doctrine, extermination, exhaustion, annihilation, intimidation, and subversion, remain essential to both conventional and unconventional conflict despite these developments. Clausewitz's *On War* presents war as a continuation of politics by other means and stresses strategic objectives over mere operational success [2]. Accordingly, strategy should provide a flexible framework for achieving political ends, anticipating change in goals, resources, and the broader strategic environment.

The five military strategies explored, extermination, exhaustion, annihilation, intimidation, and subversion, represent decisive and aggressive approaches in the history of conflict. Often associated with total war and ideological struggles of the 20th century, they remain highly relevant in the 21st century, but are adapted to evolving legal, ethical, and technological frameworks.

Extermination centers on dismantling or removing the adversary's troops [3]. In contemporary warfare, extermination is less about wholesale slaughter, largely due to international laws and norms, and more about precision targeting. Historically linked to total war and genocidal campaigns, modern forms have evolved with advanced technology, precision strikes, and AI-driven warfare.

Annihilation focuses on delivering rapid, decisive blows to incapacitate enemy forces, often through concentrated and overwhelming attacks [4]. Modern annihilation hinges on combining air superiority, precision firepower, special forces, and multi-domain electronic and cyber warfare. Network-centric operations enable real-time intelligence sharing and synchronized attacks across domains, overwhelming adversaries' command, control, and communication systems.

The strategy of exhaustion extends beyond the battlefield, integrating economic sanctions, cyberattacks, and information warfare to weaken an adversary's resources and resolve. These non-kinetic tools can disrupt critical infrastructure, undermine social cohesion, and erode political legitimacy, complicating traditional concepts of victory. The Russia-Ukraine conflict exemplifies this multidimensional approach, with prolonged combat combined with cyber operations and coordinated international sanctions. As warfare evolves, exhaustion increasingly emphasizes sustained pressure across military, economic, and informational domains.

Intimidation involves psychological warfare and demonstrations of power designed to erode the enemy's will without necessarily engaging in full-scale conflict [3]. With the rise of social media and digital communication, psychological operations, disinformation, and cyberattacks are crucial to undermining morale and

sowing confusion. These non-kinetic tactics exploit rapid dissemination online to shape perceptions, manipulate public opinion, and destabilize societal trust.

Subversion has emerged as a strategic tool for achieving political objectives through covert, multidomain means. By exploiting cyber capabilities, disinformation, and proxy actors, states can destabilize adversaries without direct conflict. Iran's proxy operations illustrate how subversion can erode institutional trust and undermine national cohesion. In Eastern Ukraine, Russia's covert backing of separatist forces since 2014 combined arms supplies, unmarked military personnel, and cyber operations to challenge Ukrainian sovereignty under a façade of internal rebellion [5].

Contemporary warfare reshapes classical mini-theories of strategy through new technologies, ethical considerations, and complex operational domains. While extermination and annihilation emphasize precision and speed, exhaustion and subversion expand into economic and cyber realms. Intimidation thrives in the digital space through information warfare, making psychological operations more pervasive. Military leaders must modify these enduring models to fit contemporary dynamics, developing versatile multi-domain strategies that use technology while managing political, legal, and social limitations. This requires coherent planning, resilient logistics, and continuous assessment of operational risks and constraints.

References

1. Jakobsen, Peter. V. Introduction: Military Strategy: What is the Use of It / Scandinavian Journal of Military Studies, 2022, 5(1), p. 143–148. URL: <https://sjms.nu/articles/10.31374/sjms.141>.
2. Miyata, F. The grand strategy of Carl Von Clausewitz: [Electronic resource] / War Room. – March 26, 2021. URL: <https://warroom.armywarcollege.edu/articles/grand-strategy-clausewitz/>.
3. Randall, G. B. Military Strategy: Theory and Concepts: [Electronic resource] / A Dissertation, Lincoln, Nebraska. – June 2013. URL: https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/poliscitheses/article/1026/&path_info=Military_Strategy_Dissertation_Final.pdf.
4. Dubik, J. M. Strategy of Annihilation Not Yet Apparent: [Electronic resource] / The association of the united states army. – October 18, 2017. URL: <https://www.ausa.org/articles/strategy-annihilation-not-yet-apparent>.
5. Galeotti M. Hybrid, ambiguous, and non-linear? How new is Russia's 'new way of war'? // Small wars & insurgencies. – 2016. – T. 27. – №. 2. – С. 282-301.

ПРОПОЗИЦІЇ, ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИСТЕМИ АВІАЦІЙНОГО ПРИКРИТТЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

*П.В. Щипанський, к.військ.н., проф.; П.В. Оріховський;
Ю.М. Клабан; А.В. Сідаш
Національний університет оборони України*

На підставі досвіду триваючої Війни за Незалежність України, враховуючи зміну тактики дій повітряного противника, до ураження різномірних засобів повітряного нападу противника (ЗПН) сьогодні, окрім винищувальної авіації (ВА) та зенітних ракетних військ (ЗРВ) залучаються армійська авіація (АА), легкомоторна авіація (ЛА) та безпілотні летальні

комплекси (БпЛА-перехоплювачі). При цьому підрозділи БпЛА-перехоплювачів створені і діють як у складі Повітряних Сил, так і у складі інших складових Сил оборони.

Аналіз існуючої методики оцінювання ефективності протиповітряної оборони (ППО) свідчить, що вона не враховує нові складові існуючої системи ППО, а отже потребує удосконалення.

Для виконання даного завдання пропонується:

замість розрахунку математичного сподівання кількості уражених ЗПН противника винищувальною авіацією розраховувати суму ЗПН, що будуть уражені літальними апаратами (ЛА), до яких будуть входити ВА, АА, ЛА, а також БпЛА-перехоплювачі.

Сума показників ефективності складових підсистеми авіаційного прикриття і буде математичним сподіванням кількості уражених ЗПН противника силами та засобами пілотованої авіації та безпілотної авіації.

Дана методика дозволить оцінити ефективність сучасної комбінованої системи ППО, врахувати показники ефективності різних сил та засобів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ В УМОВАХ ВІЙНИ ЗА НЕЗАЛЕЖЕНІСТЬ УКРАЇНИ

П.В. Щипанський, к.військ.н., проф.; П.В. Оріховський;

Ю.М. Клабан; А.В. Сідаш

Національний університет оборони України

У сучасному світі, де конфлікти та військові загрози продовжують еволюціонувати, ефективна система протиповітряної оборони (ППО) стає невід'ємною частиною національної безпеки і оборони держави. Ключовим аспектом ефективної системи ППО є наявність стійкої системи управління, адаптація до умов, що швидко змінюються в умовах стрімкого розвитку засобів повітряного нападу, впровадження новітніх технологій, в тому числі штучного інтелекту.

В умовах сучасних викликів і загроз, основними шляхами удосконалення системи управління ППО є:

оптимізація організаційних структур органів управління ППО щодо зменшення кількості ланок управління;

впровадження новітніх технологій, в тому числі штучного інтелекту, поетапне нарощення (удосконалення) АСУ авіацією та ППО;

інтеграція системи управління ППО в єдину АСУ силами і засобами ППО; побудова інформаційно-телекомунікаційної мережі, що поєднає джерела інформації (розвідки), органи управління та засоби ураження (подавлення);

створення системи ототожнення цілей викритих різними засобами розвідки за рахунок використання алгоритмів, які працюють на основі принципів мультирадарної обробки радіолокаційної інформації;

інтегрування різних засобів розвідки в єдину систему за рахунок оснащення їх програмно-керованими радіосистемами та використання розгалуженої мережі волоконно-оптичного зв'язку.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПІДСИСТЕМИ АВІАЦІЙНОГО ПРИКРИТТЯ У СТРАТЕГІЧНІЙ ПРОТИПОВІТРЯНІЙ ТА ПРОТИРАКЕТНІЙ ОПЕРАЦІЇ

*В.М. Горбенко, к.військ.н., доц.;
Ю.А. Дзюбенко, к.військ.н., доц.; Р.М. Єршов
Національний університет оборони України*

Аналіз досвіду Повітряних Сил Збройних Сил України у відбитті масованих ракетно-авіаційних ударів в ході Війни за Незалежність України, комплексне застосування противником авіації, крилатих і балістичних ракет та БпЛА вимагає пошуку нових шляхів підвищення ефективності підсистеми авіаційного прикриття у стратегічній протиповітряній та протиракетній операції, інтегрованого підходу до побудови системи протиповітряної та протиракетної оборони.

Аналіз проблемних питань щодо підвищення ефективності підсистеми авіаційного прикриття дає можливість визначити основні напрямки підвищення ефективності її функціонування в сучасних умовах:

- оснащення сучасними винищувачами, використання високоточних ракет класу “повітря-повітря” великої дальності, оснащення літаків сучасними РЛС з активною фазованою антенною решіткою, підвищення бойової живучості літаків;
- залучення БпЛА-перехоплювачів, використання ударних БпЛА для знищення носіїв ракет, створення рою БпЛА-перехоплювачів;
- маневрування силами, розосередження авіації, застосування мобільної аеродромної інфраструктури, використання децентралізованого управління у разі ураження центрів керування;
- підготовка екіпажів за стандартами НАТО, відпрацювання сценаріїв масованих комбінованих ударів, тренування в умовах інформаційної та радіоелектронної протидії, використання сучасних авіаційних тренажерів та моделювання;
- розподіл зон відповідальності, синхронізація дій авіації з наземними системами протиповітряної оборони.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ВІЙНИ ЗА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ

*П.В. Опенько, к.т.н., ст.д.; Г.С. Степанов, к.військ.н., доц.;
В.В. Ткачов, к.військ.н., проф.; С.В. Баличев
Національний університет оборони України*

Досвід Війни за незалежність України свідчить про те, що засоби повітряного нападу (ЗПН) постійно модернізуються та вдосконалюються, змінюється тактика їх застосування. В умовах застосування противником ЗПН з гіперзвуковими швидкостями, великої кількості крилатих ракет і БпЛА різного призначення на малих та гранично малих висотах та керованих авіаційних бомб різноманітних модифікацій існуюча система протиповітряної оборони (ППО) України є недостатньо ефективною.

Автори пропонують підвищити ефективність ППО України за рахунок вдосконалення зазначеної системи з урахуванням накопиченого досвіду та

стандартів НАТО. Перспективна система ППО повинна бути складною багаторівневою організаційно-технічною системою та включати підсистеми: управління, наземної радіо- та радіотехнічної розвідки, радіолокаційного виявлення та оповіщення, виявлення балістичних цілей, логістичного забезпечення, ураження та радіоелектронної боротьби. Заходи щодо підвищення ефективності зазначених підсистем включають: побудову мережецентричної системи управління; створення “гібридної” системи логістичного забезпечення; нарощування вогневих засобів за рахунок розробки, модернізації та закупівлі зразків озброєння вітчизняного та іноземного виробництва; вдосконалення форм та способів застосування родів військ Сил Оборони України тощо. Реалізація запропонованих пропозицій дозволить суттєво підвищити ефективність ППО України та забезпечить її інтеграцію в єдину систему протиповітряної та протиракетної оборони Європейського континенту з метою створення єдиного безпекового простору.

ФОРМАЛІЗОВАНИЙ ОПИС СТРУКТУРИ СИСТЕМИ БАЛІСТИЧНОГО ОЗБРОЄННЯ ЗА КРИТЕРІЕМ МАКСИМУМУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ

*В.В. Кірсенко, к.військ.н., доц.; В.М. Горбенко, к.військ.н., доц.;
О.В. Барабаш, д.т.н., проф.; Д.Р. Ікаєв, д.філос.
Національний університет оборони України*

Широкомасштабне вторгнення російської федерації характеризується застосуванням сучасним ракетним балістичним озброєнням, що стає усе більш складним, пускові установки, ракети, системи наведення, комунікаційні канали, командні пункти тощо. Боротьба з балістичними ракетами є одним з складних завдань, що вимагає інтеграції різних стратегій. Основні підходи включають: знищення пускових платформ балістичних ракет для запобігання пуску ракет, підвищення ефективності системи протиракетної оборони за рахунок сучасних систем, таких як Patriot, NASAMS та інших для перехоплення БР, нарощування розвідувальних можливостей на території противника, що дозволить вчасно виявляти загрози ракетних ударів. Сукупність зазначених складових та взаємозв'язків між ними дає змогу представити систему ракетного балістичного озброєння (СРБО) у вигляді розподіленої інформаційної системи (РІС).

Представлення СРБО противника у вигляді розподіленої інформаційної системи, а її опис з використанням теорії графів, дозволяє виявити стани системи і зв'язки між ними, критичні вразливості, та на якому етапі, якими силами та засобами можливо максимально ефективно вплинути на її функціонування.

Аналіз функціонування СРБО показав, що відомі властивості складних систем, такі, як стійкість, надійність, живучість, відмова стійкість характеризують функціонування системи під час впливу відмов та пошкоджень, але не дозволяють в повній мірі описати процеси функціонування в умовах руйнувань, впливу потоків відмов та несправностей, а також внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів. Тому, доцільно ввести до розгляду нову властивість складних систем – функціональну стійкість.

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ УГРУПОВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ “ДЕЛФІ”

*О.Б. Титаренко, к.військ.н., доц.; Ю.О. Горобець, к.військ.н., доц.;
В.М. Горбенко, к.військ.н., доц.; Є.В. Власенко
Національний університет оборони України*

Сучасний розвиток засобів повітряного нападу, зокрема масоване застосування ударних безпілотних авіаційних комплексів та високоточної зброї, вимагає від зенітних ракетних військ (ЗРВ) забезпечення такого рівня живучості, який дозволить виконати поставлені завдання. В умовах високої динаміки бойових дій попередній досвід є недостатнім, а прийняття рішень ускладнюється невизначеністю загроз.

Для вирішення цього завдання в межах дослідження пропонується застосування модифікованого методу експертних оцінок “Делфі”, який базується на ітеративному анонімному опитуванні панелі експертів, до якої залучаються командири підрозділів із бойовим досвідом, офіцери штабів Повітряних Сил та фахівці науково-дослідних установ. Запропонований підхід передбачає п'яти-етапний цикл, від формування переліку заходів до аналізу матриці перехресного впливу факторів. Використання математичного апарату для розрахунку коефіцієнтів компетентності та конкордації Кендалла дозволяє конвертувати розпорошені емпіричні судження у верифіковану базу даних, де кожен захід отримує обґрунтовану вагу в загальній моделі забезпечення живучості угруповання ЗРВ.

Цей підхід забезпечує обґрунтований вибір пріоритетів через інтегральний показник живучості, що враховує технічні параметри та тактичну гнучкість. Отримані результати дозволяють оптимізувати розподіл ресурсів на засоби імітації та визначення доцільності маневру. Результатом є стратегія “активної живучості”, яка мінімізує втрати цільових каналів та зберігає боєздатність системи зенітного ракетного прикриття військ та об'єктів в умовах вогневої переваги противника.

ПОГЛЯДИ НА УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКРИТТЯ УГРУПОВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК

*О.Б. Титаренко, к.військ.н., доц.; Ю.А. Дзюбенко, к.військ.н., доц.;
С.В. Яременко; П.П. Бердичівський
Національний університет оборони України*

Аналіз воєнних конфліктів останніх років та досвіду застосування зенітних ракетних військ під час російсько-української війни свідчить про вагомий роль розвідки, а особливо викриття об'єктів, у будь-якій формі застосування військ. Особливий вплив на ефективність викриття об'єктів здійснюють умови бойових дій, на які, в свою чергу, впливає низка зовнішніх і внутрішніх факторів, що мають випадковий характер.

На даний час, існує значна кількість методик, які є інструментом дослідження ефективності викриття об'єктів таких, як зенітні ракетні комплекси під час відбиття ударів повітряного противника.

Однак характерним для даних методик є недостатня чутливість до опису впливу обмежень просторових показників можливостей засобів розвідки на ефективність викриття угруповання зенітних ракетних військ в цілому. Результати ефективності викриття угруповання зенітних ракетних військ визначались без урахування кількості виявлених зенітних ракетних підрозділів зі складу угруповання, що вимагає введення додаткових гіпотез та обмежень для підвищення об'єктивності оцінювання ймовірності його викриття.

Отже, аналіз існуючого науково-методичного апарату дослідження розвідувальних можливостей противника щодо викриття угруповання зенітних ракетних військ свідчить про необхідність його удосконалення. Це створить передумови до підвищення об'єктивності оцінювання розвідувальних можливостей противника щодо викриття угруповання зенітних ракетних військ в цілому і достовірності прогнозу результатів відбиття удару повітряного противника при підготовці бойових дій угруповання зенітних ракетних військ.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПРОВЕДЕННЯ АНАЛІЗУ ЗМІН У ПІДХОДАХ ПРОТИВНИКА ДО ОПЕРАТИВНОГО МИСТЕЦТВА

*Є.В. Філюнкін, д.філос.; К.М. Горбачов, д.філос.
Національний університет оборони України*

Підготовка і ведення рф у 2014-2022 роках непрямих агресивних по відношенню до України дій, не привернула достатньої уваги воєнних фахівців до проведення детального аналізу змін у підходах противника до стратегічного та оперативного мистецтва, й фактично, лише початок широкомасштабної війни став початком того відтинку часу, в ході якого експерти всього світу стали присвячувати свої дослідження рф як країні-загрози.

Результати проведеного авторами аналізу показали, що одним з перших джерел, яке започаткувало низку публікацій з результатами аналізу змін у законодавстві рф та відповідних положеннях воєнного мистецтва, був американський інститут вивчення війни (ISW), а в подальшому інші урядові та неурядові організації США такі, як Національний інститут стратегічних досліджень, аналітичні агенції Forbes та BBC.

Так, у публікаціях Національного інституту стратегічних досліджень США, основна увага приділялась розкриттю змін відкритих положень доктринальної бази рф, а не досвіду участі її збройних сил у війнах та конфліктах. Значна частина опублікованого матеріалу навіть не відображала коректну організаційно-штатну структуру військ.

Таким чином, можна зробити висновок, що особливості оперативної побудови (побудови бойового порядку), та систем, що розгортались для забезпечення ефективного виконання завдань російсько-терористичними військами у операціях (бою) практично не розглядались.

Зазначене вище, свідчить про те, що питання вивчення досвіду застосування угруповань, з'єднань та військових частин країною-агресором належним чином не досліджено, жодних обґрунтованих висновків в інтересах подальшого прогнозування імовірного характеру дій противника не наводилось.

РОЗВИТОК ФОРМ І СПОСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ У СТРАТЕГІЧНІЙ ПРОТИПОВІТРЯНІЙ ТА ПРОТИРАКЕТНІЙ ОПЕРАЦІЇ

*О.А. Вознюк; М.М. Гайовчик; М.М. Наконечний;
В.М. Горбенко, к.військ.н., доц.*

Національний університет оборони України

Масованість та зростання інтенсивності застосування противником балістичних і крилатих ракет наземного, повітряного та морського базування, ударних безпілотних літальних апаратів з метою ураження критичних об'єктів інфраструктури України, зумовлює необхідність удосконалення систем протиповітряної та протиракетної оборони (ППО/ПРО).

Одним з шляхів удосконалення форм і способів застосування сил та засобів ППО/ПРО в сучасних умовах є стратегічна протиповітряна та протиракетна операція.

Ефективність стратегічної протиповітряної та протиракетної операції залежить від своєчасності розвідки, швидкості прийняття рішень та здатності інтегрувати різномірні сили і засоби в єдину комбіновану систему протиповітряної та протиракетної оборони.

За досвідом російсько-української війни, ключовим елементом сучасної стратегічної протиповітряної та протиракетної операції є безпілотні системи. Їх застосування охоплює розвідку, вогневе ураження, радіоелектронний вплив та забезпечення живучості інших складових системи ППО/ПРО.

Застосування безпілотних систем потребує пошуку нових способів боротьби з повітряним противником тому задача оцінювання ефективності їх застосування в нових формах дій є актуальною і потребує подальших досліджень.

Рівень інтеграції безпілотних систем у єдину систему управління буде визначальним для ефективності стратегічної оборонної операції, а отже протиповітряної та протиракетної оборони України в цілому.

МУЛЬТИДОМЕННА КОНЦЕПЦІЯ УДАРНИХ ДІЙ ПОВІТРЯНОЇ КОМПОНЕНТИ

*О.Є. Блискун¹, Ph.D.; О.М. Печенко²; Я.В. Ярошенко², Ph.D.;
О.Р. Мартинюк², к.т.н., доц.*

¹Головне управління розвитку спроможностей авіації;

²Національний університет оборони України

Сучасна парадигма ведення збройної боротьби зазнає фундаментальних змін, переходячи від концепції спільних операцій (Joint Operations) до багатовимірних мультидоменних операцій (Multi-Domain Operations – MDO). Відповідно до нової концепції НАТО, затвердженої у 2023 році, MDO визначається як “оркестровка” військової діяльності в усіх доменах (повітряному, наземному, морському, космічному та кібернетичному) у синхронізації з невійськовими інструментами влади для створення конвергентних ефектів зі “швидкістю актуальності”.

Досвід бойових дій в Україні демонструє феномен “дронізації”, який французькі дослідники (IFRI) кваліфікують як потенційну “військову революцію”, де дрони формують нову “роботизовану нервову систему” поля

бою. В умовах, коли противник застосовує комбіновані удари із залученням крилатих, балістичних і аеробалістичних ракет та масованих атак БпЛА типу “Shahed” виникає нагальна потреба у трансформації тактики та оперативного мистецтва повітряних сил.

У дослідженні теоретично обґрунтовано зміну парадигми застосування повітряної компоненти у сучасній війні високої інтенсивності. Доведено, що класична концепція “завоювання переваги в повітрі” (air superiority), притаманна доктринам НАТО, в умовах насиченої ешелонованої ППО трансформується у концепцію створення тимчасових “вікон можливостей” через конвергенцію ефектів у кібернетичному, електромагнітному та фізичному доменах.

ЗАСТОСУВАННЯ МІЖВИДОВИХ МОБІЛЬНИХ ВОГНЕВИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ В ОПЕРАЦІЯХ ОБ’ЄДНАНИХ СИЛ

*Г.С. Степанов; А.О. Удовенко
Національний університет оборони України*

Досвід відсічі збройної агресії РФ проти України засвідчив, що противник активно застосовує різноманітні засоби повітряного нападу для вирішення завдань розвідки, вогневого ураження воєнних об’єктів, об’єктів критичної інфраструктури та інших спеціальних завдань.

У сучасних умовах організації протиповітряної оборони (ППО) об’єктів та угруповань військ особливого значення набуває створення ешелонованої мобільної оборони від ударів з повітря.

Необхідного ешелонування можливо досягти двома способами: перший – створення зенітних ракетних комплексів, спроможних здійснювати стрільбу зенітними керованими ракетами різної дальності дії; другий – створення та застосування мобільних вогневих підрозділів (МВП) ППО, до складу яких будуть залучені комплекси зенітних ракетних військ і військ ППО Сухопутних військ різної дальності дії.

Враховуючи необхідність відбиття першого удару повітряного противника з мінімальними втратами засобів ППО, вбачається за доцільне створювати та застосовувати саме міжвидові МВП ППО, які будуть діяти як тактичні групи (ТГр) ППО. На них може бути покладено як ведення маневреної ППО визначених об’єктів та угруповань військ так і імітація бойового застосування зенітних ракетних підрозділів з хибних позицій.

Таким чином, створення міжвидових мобільних вогневих підрозділів в сучасних умовах може забезпечити побудову ешелонованого зенітного ракетного артилерійського прикриття об’єктів та угруповань військ.

СЕРЕДНЬОДОБОВИЙ ТЕМП НАСТУПУ, ЯК ОСНОВНИЙ ПОКАЗНИК НАСТУПАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ (БОЙОВИХ ДІЙ)

*О.В. Скляр, д.філос.
Національний університет оборони України*

Як відомо наступальна операція (бойові дії) характеризується такими основними просторово-часовими показниками: ширина смуги наступу, глибина наступу та їх тривалість.

Їх тривалість в основному обумовлюється: метою операції; кількісно-якісним співвідношенням сторін; обсягом виділених на операцію матеріальних засобів; фізико-географічними та іншими умовами місцевості.

До початку Війни за Незалежність України переважна більшість військових експертів схилилась до думки, що середньодобовий темп наступу з'єднань в операції може становити до 20 км на добу.

При цьому під час подолання першого рубежу (смуги) оборони противника та у нічний час, середньодобовий темп наступу може бути значно меншим, а під час наступу в глибині оборони противника може бути більше 20 км на добу.

Аналіз досвіду Війни за Незалежність України показав, що в умовах завоювання переваги в повітрі FPV-дронами та великої щільності інженерних загороджень, ведення наступальних операцій (бойових дій) має більші часові показники.

Розглянемо декілька прикладів ведення наступальних операцій (бойових дій) Збройними Силами України у 2025 році:

перший (н.п. Добропілля) – серпень-листопад 2025 р.

другий (н.п. Юнаківка) – червень-вересень 2025 р.

Аналіз досвіду їх проведення показав, що середньодобовий темп наступу може складати від 50 м до 1000 м, а також мають місце періоди часу (від декількох днів до тижня), коли взагалі не було просування.

Даний показник має важливе значення, так як всі операції (бойові дії) проводяться відповідно до загальної мети, яка поставлена старшим начальником.

ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ППО УКРАЇНИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ СУЧАСНИМ ПОВІТРЯНИМ ЗАГРОЗАМ

С.І. Коваль

Національний університет оборони України

У 2022–2026 роках повітряні удари рф продемонстрували необхідність швидкої адаптації системи протиповітряної-протиракетної оборони (ППО-ПРО) України до інтенсивних та комбінованих атак. Ударні безпілотні літальні апарати (БпЛА) закріпилися як основний інструмент повітряного тиску, а показники їх перехоплення у певні періоди залишалися високими (переважно 75–85 %).

Крилаті ракети після піку застосування у 2022 році надалі використовувалися вибірково, переважно в складі комбінованих ударів, що було пов'язано з ресурсними обмеженнями противника. Результативність їх перехоплення підвищувалася завдяки впровадженню сучасних систем управління вогнем та новітніх зенітних ракетних комплексів.

Балістичні та аеробалістичні ракети залишалися найбільш складними цілями через високу швидкість, маневрування та обмежений час на реагування. Підвищення ефективності забезпечувалося застосуванням спеціалізованих систем ПРО та технологічних інновацій у сфері управління вогнем.

З 2024 року, із продовженням розвитку у 2026 році, значно зросла роль інтеграції наземних засобів ППО з БпЛА перехоплювачами, гелікоптерами та легкомоторною авіацією, а також сучасними технологіями розвідки та управління вогнем для протидії багатохвильовим комбінованим ударам. Такі

рішення підвищили гнучкість системи, забезпечили ефективне ешелонування вогню, оптимальний розподіл цілей між рівнями ППО, а також дозволили більш результативно перехоплювати ударні БпЛА, що є ключовим для стійкості протиповітряної оборони у складних умовах сучасної війни.

ВОЄННЕ МИСТЕЦТВО В ОНТОЛОГІЧНОМУ ПІДХОДІ ОСМИСЛЕННЯ ВОЄННО-ІСТОРИЧНОГО ДОСВІДУ

В.Ю. Тимчук, к.т.н., с.н.с.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Конкурентне протистояння є універсальною ознакою цього світу. Причини універсальності заходять далеко в глибини філософій і натурософії. Сприймаючи конкуренцію та її наслідок – протистояння – як даності, слід виявляти процеси і механізми, що мають місце у конкурентному протистоянні, з подальшим їх формалізованим описом і наслідковим оперуванням над категоріями в цілях пошуку оптимальних стратегій.

Виходячи з еволюційності, як однієї з властивостей розвитку науки, формалізацію для конкурентного протистояння доцільно вибудовувати на “найпростіших” взаєминах. Вочевидь, що на ранніх етапах розвитку людства, тобто у світі без технологій, інновацій і інших надбань у царинах “розсування меж природи”, конкурентне протистояння виглядає простіше, ніж у пізніші часи. В той же час для формалізації, структурування та іншої аналітично-розрахункової діяльності потрібен і вихідний матеріал, який наділений властивостями достовірності, який є авторитетним для осіб, зацікавлених у сфері протистояння, і який містить той чи інший опис категорій, задіяних у протистоянні.

Таким вимогам можуть відповісти авторитетні найдавніші праці з канону *Ad fontes* в царині воєнного мистецтва – трактати Сунь-цзи* [V ст. до н. е.], У-цзи* [IV–III ст. до н. е.], “Анабазис”* (“відступ десяти тисяч”) та “Гіппархик” Ксенофонта [IV ст. до н. е.], “Загальна історія” Полібія [II ст. до н. е.], “Записки про галльську війну”* та “Записки про громадянську війну”* Гая Юлія Цезаря [I ст. до н. е.], “Тактика” Асклепіодота [I ст. до н. е.], “Наука тактики” Еліана Тактика [II ст. н. е.], “Анабазис Александра” (“похід Македонського”) та “Тактика” Арріана [II ст. н. е.]. Символом (*) показано твори, доступні українською, які можна використати для сучасного трактування.

СИНЕРГІЯ У ЗАБЕЗПЕЧЕНІ БЕЗПЕКИ ПЕРСОНАЛУ

В.Ю. Тимчук, к.т.н., с.н.с.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Тривалість російсько-української війни з одночасною об’єктивною непрямою перспективою її розвитку чи завершення вимагає від кожного громадянина віднайти своє місце у секторі безпеки та оборони України (СБОУ). Стосується це наукових і прикладних кіл, навіть якщо їх безпосередньо не пов’язує відбиття воєнної агресії російської федерації – вони мають спроможність спостерігати тенденції чи інші статистичні дані з районів, охоплених війною і бойовими діями й опираючись на досвід і знання, осмислити це та виробити рішення, які можуть бути помічними для сил і

засобів зі складу СБОУ; у разі практичних (прикладних) сфер діяльності, і протестувати рішення в умовах, які з певною мірою достовірності можна прирівняти до бойових як-от щодо критичних (екстремальних) ситуацій.

До таких сфер можуть належати: забезпечення безпеки об'єктів (підприємств) з підвищеним ризиком; робота оперативного штабу щодо ліквідації наслідків стихійних лих або техногенних катастроф; пошуково-рятувальні операції тощо. Остання, мабуть, є найбільш придатною для “супутнього тестування” рішень і методик, які можуть зацікавити суб'єктів зі СБОУ, адже певні когнітивно-фізично-інформаційні паралелі з полем бойових дій існують – в обох середовищах опираються на: 1) ситуаційну обізнаність; 2) прогнозування появи позаштатних ситуацій, їх розвитку та оцінювання; 3) часові показники (щодо реакції, усунення загроз та відновлення штатних станів) та потребу-доступність-ефективність ресурсів; 4) невизначений рівень ризиків щодо фатальних випадків або іншої шкоди здоров'ю цільових (а також залучених) людей. Тож відповідно до науки великих фізичних систем, відмінні системи, у яких структури є упорядкованими та між якими є спільні ознаки, проявлятимуть аналогії у станах і поведінці. Тож проблемою досліджень є синергійні аспекти у забезпеченні безпеки персоналу.

ЗАМІНА ОСОБОВОГО СКЛАДУ НА ПОЗИЦІЯХ: ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ

О.С. Івахів, к.політ.н.; С.М. Кудимов; А.Ю. Міхін

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

В умовах ведення сучасних високотехнологічних бойових дій, заміна особового складу на позиціях набула особливого значення, оскільки стала бойовим завданням, успішне виконання якого впливає на стійкість оборони в цілому.

Проведенню заміни особового складу на позиціях передують ретельне його планування.

Планування заміни зазвичай не обмежується визначенням: термінів і загального порядку проведення заміни; завдань бойовим підрозділам із зазначенням їх складу, часу і мети їх дій, вихідного пункту, маршрутів руху, контрольних точок, пункту збору поранених, порядку переміщення тощо; завдань підрозділам підтримки і всебічного забезпечення із зазначенням їх складу, часу і мети їх дій; порядку управління, підтримання взаємодії і всебічного забезпечення на час проведення заміни.

Особливої уваги на етапі підготовки (планування) заміни особового складу потребує узгодження спільних дій розрахунків БпАК різних типів із підрозділами РЕБ. Окрім того, для ешелонування системи РЕБ і створення сприятливих умов радіоелектронної обстановки (“коридору РЕБ”), особовим складом, що спланований для проведення заміни, використовуються системи РЕБ малої дії (рюкзакового типу).

Зважаючи на умови обстановки і стан підрозділу, що обороняється, заміна може проводитися повністю або частково, одночасно або послідовно, під загальним управлінням і контролем за виконанням визначених завдань командира і штабу підрозділу, що організовує проведення заміни.

НОВІ ФОРМИ І СПОСОБИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬК (СИЛ) З УРАХУВАННЯМ ЇХ ПЕРЕОЗБРОЄННЯ

І.В. Петлюк, к.т.н., ст.д.; О.Д. Пацетник, к.т.н., с.н.с.;

С.М. Гелета; І.І. Чорняк

*Науковий центр Сухопутних військ Національної академії
сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Одним із основних чинників, які визначають масштаб та зміст форм і способів застосування військ (сил), є рівень розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ). Застосування нового озброєння та шаблонність у визначенні насамперед способів ведення воєнних дій (яка ґрунтується на можливостях застарілого ОВТ) призводить до виникнення низки проблемних питань під час виконання завдань в операції (бою). Саме це спонукає науковців до проведення дослідження основних тенденцій розвитку ОВТ видів та родів військ, уточнення напрямків переозброєння Збройних Сил (ЗС) України з урахуванням можливостей вітчизняного оборонно-промислового комплексу (ОПК).

Проведені дослідження показали, що основними тенденціями розвитку ОВТ Сухопутних військ ЗС України можна вважати: розвиток засобів тактичної супутникової системи зв'язку з метою укомплектування органів управління всіх ланок (від ротного і вище) засобами мобільного (засекреченого) зв'язку на значні дальності (більше 100 км); оснащення бойових машин більш досконалими засобами спостереження та цілевказання; підвищення вогневої могутності танків за рахунок розроблення нових снарядів, здійснення переходу на танкову гармату калібру 140 мм і більше; розробку електромагнітних гармат для збільшення початкової швидкості снаряду до 10 км/с і більше.

У виступі викладено основні напрямки переозброєння ЗС України та визначено можливість їх реалізації вітчизняним ОПК. Всі наведені в виступі результати аналізу є основою для подальших наукових досліджень за даним напрямком та виступають підґрунтям для вироблення єдиних підходів стосовно нових форм і способів застосування військ (сил).

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Я.Г. Заєць, к.т.н., ст.д.; В.Л. Живчук, к.т.н.;

С.В. Давіденко, к.т.н., доц.; І.І. Чорняк

*Науковий центр Сухопутних військ Національної академії
сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Враховуючи особливості та динаміку сучасних бойових дій та їх подальші перспективи, питання застосування сучасних технологій та інноваційних рішень для підвищення ефективності ведення бойових дій постійно набуває все більшої актуальності та відповідного рівня пріоритетності.

Забезпечення оптимізації дій військ на полі бою є основним завданням технологій штучного інтелекту у сфері оборони.

Його застосування для автоматизації вирішення одноманітних та рутинних завдань, суттєво скорочує час, що необхідний командирі (начальнику) для

оцінки обстановки і прийняття рішень, та, водночас, підвищує ефективність дій підрозділів наших військ.

Аналіз великих обсягів даних, які надходять на пункти управління, з усіх доступних джерел за допомогою платформ штучного інтелекту не тільки прискорює процес прийняття рішень щодо ураження пріоритетних цілей але також мінімізує ризик помилок, пов'язаних з людським фактором.

Крім того застосування таких технологій в інформаційних (автоматизованих) системах управління військами вирішує завдання прогнозування та оцінки ймовірних дій противника.

Технології штучного інтелекту уже сьогодні можуть приймати рішення за такий час і з такою точністю, за яку не спроможна людина. Враховуючи це є логічним і прогнозованим, що в найближчі роки технології штучного інтелекту будуть досить стрімко розвиватись. А в подальшому і озброєння та військова техніка, створені на основі його використання.

Таким чином, питання застосування сучасних технологій для підвищення ефективності ведення бойових дій має об'єктивну перспективу для вивчення та безпосереднього впровадження в усіх ланках управління сил оборони України.

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗС УКРАЇНИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Ю.А. Чаган; О.Ю. Федоров; Ю.В. Варванець

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Захист українського неба в умовах сучасної війни це поєднання спроможностей західної зброї та українського військового досвіду, який надає можливість ефективно збивати ворожі цілі в рази дешевше та ефективніше, ніж це передбачено керівними документами.

Складові успішності у захисті повітряного простору:

Екосистема IT-рішень, за допомогою якої Україна першою у світі реалізувала концепцію мережецентричної ППО. Розвідувальні дані збираються з радарів, супутників, акустичних датчиків та цивільних спостерігачів на єдину цифрову карту. Це надає можливість виявлення ворожого дрона за 20 км та заздалегідь вийти на його перехоплення.

Акустична мережа виявлення вирішує проблему виявлення малорозмірних дронів радаром, за рахунок розгортання мережі з великої кількості акустичних сенсорів. Вказана система пасивна, відсутнє випромінювання, що призводить до складнощів у її пеленгації та знищенні протирадіолокаційними ракетами противника.

Штучний інтелект у перехоплювачах дронів дозволяє здійснити самостійне “захоплення” ворожого дрону у приціл та здійснення його тарану на висотах до 3-4 км.

Система РЕБ “Покрова” та Smart-спуфінг підміняє супутникові координати GPS що надає можливості примусити працювати ворожим дронам по хибним цілям.

Отже, в умовах сучасної війни сучасні системи управління вогнем є не просто технічним інструментом, а складовою цифрової трансформації Збройних Сил, що відкриває шлях до створення повністю інтегрованих бойових мереж нового покоління.

ШЛЯХИ ПОДОЛАННЯ ТАКТИЧНОГО ТУПИКА В УМОВАХ СУЧАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПАРИТЕТУ

*І.Г. Пономарьов; С.Я. Лібрुक-Ліпкевич, к.і.н., с.н.с.; В.Т. Швай
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Розвиток сучасних технологій призвів до того, що воєнне мистецтво перебуває у глибокій трансформації. Оборона настільки переважає над наступом, що жодна з сторін не може здійснити стратегічний прорив. Через тотальне спостереження (спутники, БпАК) неможливо приховати концентрацію або переміщення військ. Причинами виникнення кризи є: швидка інформативність, скоротився час від виявлення цілі до її ураження. Це робить неможливим групування техніки і особового складу перед атакою; використання FPV-дронів: ведеться постійна розвідка і будь-який рух неможливий; мінування: дистанційне мінування перед переднім краєм і в тилу противника; еволюція засобів РЕБ: дрони стають неефективними через кілька тижнів; вразливість тилу: дрони-камікадзе, ракети змушують до нової логістичної структури.

Володіння однаковим рівнем технологій в засобах розвідки та ураження, призвело до технологічного паритету. Саме технологічний паритет і є основною складовою “позиційного тупика”. На кожен “меч” швидко знаходиться “щит”. Головна небезпека в тому, що цей паритет може тривати роками. Війна на виснаження потребує від держави стійкості тилу і відповідних можливостей ВПК.

Тактичний тупик у сучасній війні це паритет розвідки та засобів ураження противника. Він може бути подоланий через сучасні технології які зроблять наступ успішнішим за оборону. Подолання кризи відбудеться не через появу “диво-зброї”, а через комплекс технологій, які будуть синхронізовані.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВОГНЕВОЇ ЗАСІДКИ МАЛИМИ ГРУПАМИ ПІХОТИ

*О.О. Фуртес, к.іст.н., с.н.с.; Р.В. Юрченко; О.М. Рудковський
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Ефективна засідка характеризується раптовістю дій і короткочасністю бою, вона триває лічені хвилини, після чого особовий склад групи, призначений у засідку, має відійти ще до того, як противник зрозуміє що сталося.

Об'єктами нападу малої групи піхоти, що діє у вогневій засідці можуть бути: поодинокі військовослужбовці противника; невеликі за чисельністю групи піхоти, що діють в пішому порядку або на транспортних засобах (ББМ); зразки ОВТ противника, що рухаються.

Задля успішних дій групи піхоти, що діє із засідки, є дотримання нею: прихованості дій – використання сприятливих умов навколишнього середовища при виборі позиції; виключення будь-яких демаскуючих ознак; раптовістю дій – суворе дотримання вимог тактичного маскуванню, визначення моменту відкриття вогню; чіткого розподілу завдань і обов'язків між особовим складом групи; організації ефективної взаємодії; зосередження основних зусиль у вирішальний момент; короткочасності вогневого контакту із противником; готовністю до дій в разі різких змін в обстановці; швидкого

відриву від противника. Після виконання завдання підрозділ повинен намагатися діяти максимально швидко, безшумно і приховано.

Отже варто зазначити, що ефективній вогневій засідці притаманні раптовість, короткочасність та прихованість дій. Вона може організовуватись у всіх видах бою, на місцевості, що забезпечує приховане розташування та сковує маневри противника та проводитися за будь-яких обставинки.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Г.А. Антонов; Ю.А. Чаган; М.В. Зотов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

У сучасних умовах розвитку високих технологій особлива увага приділяється підвищенню ефективності управління бойовими підрозділами. Однією з основних проблем є ефективне управління вогнем. У цьому контексті все більшого значення набувають технології штучного інтелекту (ШІ), які здатні аналізувати великі обсяги даних, прогнозувати розвиток подій та оптимізувати процес прийняття рішень.

Інтегровані СУВ відкривають перспективи використання автономних систем, безпілотних платформ та прогнозованої аналітики для управління бойовими операціями у реальному часі.

У сучасних умовах розвитку воєнних технологій системи управління стали ключовим елементом ефективності підрозділів. Їх еволюція від традиційних аналогових рішень до інтегрованих цифрових платформ зумовлена потребою у швидкому прийнятті рішень, точності ураження цілей. Цифрові системи управління вогнем поєднують можливості супутникової навігації, сенсорних мереж, автоматизованих каналів зв'язку та інтелектуальної аналітики, що дозволяє командирам отримувати повну ситуаційну картину у реальному часі.

Використання елементів штучного інтелекту уже сьогодні дає змогу прогнозувати поведінку противника, здійснювати автоматичну ідентифікацію цілей та оптимізувати розподіл вогневих засобів. Таким чином, сучасні системи управління вогнем є не просто технічним інструментом, а складовою цифрової трансформації Збройних Сил, що відкриває шлях до створення повністю інтегрованих бойових мереж нового покоління.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ – ПРІОРИТЕТНИЙ ФАКТОР УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ, В СУЧАСНИХ ВОЄННИХ КОНФЛІКТАХ

С.В. Бокачов; Ю.В. Варванець; М.В. Зотов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Динаміка розвитку обчислювальної техніки, технологій програмування, науки в сфері моделювання різноманітних реальних процесів, визначили також великий прорив в моделюванні процесів у військовій сфері. Насамперед процесів, що пов'язані з питаннями створення моделей і різноманітних імітаційних систем, а відповідно і в сферах їх застосування – планування бойових дій, виробленні концепцій застосування сил і засобів.

В попередні роки спеціалісти у військовій сфері визначали три основні групи моделей: моделі, що застосовуються з метою аналізу і оцінки (забезпечення оперативної роботи); моделі в сфері створення ОВТ і моделі, що призначені для навчання особового складу військ і штабів. Кількість цих груп постійно зростає і сьогодні пропонується вже більша кількість груп моделей з виділенням більшого спектра функціональних сфер моделювання, що потребує проведення їх класифікації за системами. Архітектура систем моделювання на сучасному етапі є стандартизованою і включає бібліотеки стандартних програмних модулів – генерування випадкових чисел, форматування специфічних доповідей, виконання складних математичних розрахунків, управління ходом моделювання та інші.

Виходячи з викликів сьогодення своє місце повинно зайняти моделювання бойових дій і захист зразків БТТ від БпС. Таким чином, виходячи з сучасних тенденцій розвитку розбудови збройних сил розвиток систем моделювання в ЗС України має бути одним з пріоритетних факторів забезпечення розбудови ЗС України і їх застосування.

СУМІСНІСТЬ КОМПЛЕКСІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИХ ТА ІНШИХ ЧАСТИН

В.І. Мокоївець; О.Ю. Федоров; П.М. Циганков

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Керівництво держави і ЗС України приділяє значну увагу удосконаленню функціонування системи управління військами. Одним з пріоритетних напрямків визначено її модернізація на основі новітніх інформаційних технологій.

На сучасному етапі система управління військами будується на основі комплексного підходу до автоматизації процесів управління різномірними силами і засобами. З огляду на це дуже актуально постає питання інформаційної сумісності між собою засобів автоматизації управління всіх рівнів та приналежності.

Досвід показує, що намагання поєднати в загальну систему вже існуючі різномірні комплекси і засоби не завжди призводить до позитивного результату. Альтернативою такому шляху є запровадження принципу єдиного планування і застосування всіх сил і засобів частин (з'єднань) під загальним керівництвом.

Комплекси автоматизації управління авіаційних та інших частин (з'єднань) повинні функціонувати в єдиному інформаційному середовищі системи управління. Будучи самостійними елементами, вони повинні повністю інтегруватися у загальну структуру системи управління військами та бути спроможними адаптуватися у вертикаль управління засобами вогневого ураження інших структур.

Таким чином, принцип інтеграції різномірних елементів, що виконують самостійні функції в єдиному процесі управління, повинен забезпечувати скорочення часу на виконання завершеного циклу управління різномірними силами і засобами та підвищення ефективності їх бойового застосування шляхом повної сумісності всіх засобів розвідки, планування і здійснення вогневого ураження противника.

АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ У СИСТЕМІ “ЄППО”

Ю.В. Варванець; С.В. Бокачов; В.В. Совік

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Використання III має вирішальне значення для надійного захисту українського неба в умовах сучасної війни. “ЄППО” – це унікальний приклад коли штучний інтелект опрацьовує та перетворює суб’єктивні дані від тисяч людей на точні координати цілей для військових.

Складові системи:

Геолокаційна верифікація перевіряє дійсність передавачі інформації, система автоматично зчитує його координати GPS та напрямок смартфона. Алгоритм одразу перевіряє, чи не є це “фейковим” запитом із-за меж України або з окупованих територій.

Кластеризація та фільтрація здійснює узагальнення інформації, яку отримує від декількох інформаторів, об’єднує ці сигнали в одну ціль по принципу чим більше сигналів надійшло на одну ціль тим пріоритет її вищий. І навпаки, якщо сигнал лише один, система визначає його як низько пріоритетний.

Побудова вектору руху здійснює аналіз часу та місця послідовних натискань у різних населених пунктах, за рахунок чого III вираховує швидкість та ймовірний маршрут цілі.

Інтеграція з мапою “Віраж-Планшет” здійснюється оброблення інформації, яка миттєво з’являється на моніторах сил ППО як “непідтверджена ціль”.

Отже, алгоритм розпізнавання цілей надає можливість надійного захисту українського неба в умовах сучасної війни.

ЩОДО УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ У СУЧАСНІЙ ВІЙНІ

С.М. Жук, к.військ.н.; А.С. Попов

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасна війна характеризується високою динамікою, багатовимірністю простору бойових дій та стрімким розвитком технологій.

Мета дослідження полягає у визначенні ключових особливостей управління військами в умовах сучасної війни та обґрунтуванні напрямів його вдосконалення з урахуванням досвіду збройної боротьби в Україні.

Управління військами у сучасній війні базується на принципах безперервності, оперативності, стійкості та прихованості. Проте сьогодні до них додається ще один принцип – адаптивність. Командир будь-якого рівня має діяти в умовах невизначеності, інформаційного переважання та постійної загрози ураження пунктів управління. Внаслідок цього особливого значення набуває децентралізація управління та делегування повноважень на нижчі рівні.

Одноєю з ключових тенденцій є перехід до мережево-центричної моделі управління. Інформація стає головним ресурсом, а швидкість її обробки – критичним фактором успіху. Системи ситуаційної обізнаності, використання розвідувальних безпілотних комплексів, супутникового моніторингу та автоматизованих систем управління дозволяють скорочувати цикл “виявлення – рішення – ураження”.

Управління військами у сучасній війні трансформується від жорстко ієрархічної моделі до гнучкої, мережево-орієнтованої системи. Подальший розвиток систем управління має здійснюватися шляхом інтеграції цифрових технологій, удосконалення підготовки командирів і зміцнення морально-психологічної складової.

ПРОБЛЕМИ ВОЄННОГО МИСТЕЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ В СУЧАСНИХ КОНФЛІКТАХ

О.О. Дудка; О.О. Пшенична, д.філос.

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Богдана Хмельницького*

Сучасні війни, зокрема повномасштабна агресія Російської Федерації проти України, підкреслюють складність управління військами у високотехнологічних умовах. Використання безпілотних літальних апаратів, високоточної зброї, засобів радіоелектронної боротьби та масованих ударів вимагає від командирів швидкого прийняття рішень, точного прогнозування ситуації та гнучкого маневру підрозділів.

Основними проблемами залишаються інтеграція різнорідних сил, забезпечення стійкості систем управління, оперативність обміну інформацією та ефективна координація підрозділів на всіх рівнях. Важливу роль відіграє підготовка особового складу до дій у стресових умовах та застосування сучасних цифрових і автоматизованих систем управління.

Успішне вирішення цих проблем визначає ефективність оборонних операцій, оптимізацію використання ресурсів і підвищення боєздатності військ у сучасних конфліктах, забезпечуючи адекватну відповідь на збройну агресію.

СТІЙКІСТЬ ТА БЕЗПЕРЕРВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ У СУЧАСНИХ ВІЙНАХ ПІД ЧАС ВІДСІЧІ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ ПРОТИ УКРАЇНИ

Т.С. Метельська; А.О. Федик, к.психол.н., доц.

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасні війни характеризуються високою динамічністю, технологічністю та комплексним характером застосування сил і засобів. Воєнне мистецтво сьогодні зазнає суттєвих змін під впливом розвитку безпілотних систем, високоточної зброї, засобів радіоелектронної боротьби та інформаційно-психологічних операцій. Досвід відсічі збройної агресії російської федерації проти України засвідчив, що класичні підходи до ведення бойових дій потребують переосмислення з урахуванням нових форм і способів збройної боротьби. Метою тез є узагальнення ключових проблем управління військами (силами) в умовах сучасних війн та визначення пріоритетних напрямів їх мінімізації з урахуванням досвіду відсічі збройної агресії проти України.

Методологічну основу становлять аналіз, синтез, порівняння та узагальнення відкритих джерел і практичних уроків ведення бойових дій. Однією з ключових проблем воєнного мистецтва є забезпечення стійкого та безперервного управління військами в умовах постійного вогневого впливу противника. Ураження пунктів управління, порушення логістики,

застосування засобів радіоелектронної боротьби та кібервпливу ускладнюють процес прийняття рішень і доведення наказів до підлеглих. Обґрунтовано, що підвищення стійкості управління вимагає розосередження органів управління, створення резервних каналів зв'язку, підвищення живучості пунктів управління та впровадження автоматизованих рішень.

Важливою тенденцією є децентралізація управління та зростання ролі ініціативи командирів тактичної ланки. У сучасних умовах швидкість проходження циклу “виявлення – рішення – ураження” визначає ефективність бойових дій. Перевагу отримує той, хто здатний оперативно інтегрувати розвідувальні дані, координувати дії різномірних сил і адаптуватися до змін обстановки. Визначено, що скорочення управлінського циклу посилює вимоги до командирів тактичної ланки щодо прийняття рішень за неповних даних, організації взаємодії та автономності підрозділів при деградації зв'язку.

Узагальнено, що морально-психологічна стійкість виступає системоутворювальним чинником боєздатності, а управління має включати заходи підтримання дисципліни, згуртованості та відновлення ресурсу особового складу.

У висновку встановлено, що ефективність управління в сучасних війнах визначається поєднанням технічної стійкості систем зв'язку й управління, організаційної гнучкості командних структур та готовності командирів до децентралізованого управління в умовах високого темпу бойових дій.

АДАПТАЦІЯ ВІЙСЬКОВОГО УПРАВЛІННЯ ДО СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Є.О. Балта

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасні воєнні конфлікти відзначаються високою динамікою, активним застосуванням безпілотних систем, високоточної зброї та інформаційних технологій. Це створює необхідність трансформації систем військового управління. Досвід країн-членів НАТО та практичні уроки війни в Україні, пов'язані з агресією Російської Федерації, підтверджують зростання значення автоматизованих систем управління, мережево-центричних підходів і міжвидомчої взаємодії.

Для Державної прикордонної служби України важливими завданнями залишаються забезпечення стійкого управління, цифровізація процесів, підвищення автономності підрозділів та вдосконалення підготовки органів управління до дій у складних умовах інформаційно-бойової ситуації. Це є ключовою передумовою для ефективного виконання завдань із захисту державного кордону в умовах сучасних загроз.

ІНФОРМАЦІЙНА ПЕРЕВАГА ЯК ФАКТОР УСПІХУ ОПЕРАЦІЙ

Є.О. Балта

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Інформаційна перевага є ключовим фактором ефективності сучасних військових операцій, оскільки вона забезпечує своєчасний збір, обробку та використання даних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Досвід ведення бойових дій демонструє, що швидкість обміну інформацією, достовірність розвідувальних даних та їх інтеграція в автоматизовані системи управління безпосередньо впливають на динаміку операцій і досягнення стратегічних цілей.

Практика країн-членів НАТО та досвід України у протистоянні з Російською Федерацією підтверджують зростаючу роль інформаційних технологій, розвідки, безпілотних систем і захищених каналів зв'язку.

Для підвищення ефективності застосування військових сил та засобів у сучасних умовах критично важливим є подальший розвиток систем інформаційного забезпечення, їхня стійкість до кіберзагроз і забезпечення безперервного функціонування управління.

ТРАНСФОРМУВАННЯ ТАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ І ТАНКОВИХ ВІЙСЬК У СУЧАСНІЙ ВІЙНІ

*І.Ф. Ролін, д.військ.н., проф.; А.Ю. Тулуб; В.І. Бабенко
Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету "Харківський політехнічний інститут"*

Російсько-українська війна має яскраво виражені риси високотехнологічної війни, що повністю змінила характер сучасних операцій і трансформувало сучасний бойовий простір. Перемога на полі бою тепер повністю залежить від можливостей випереджати противника в технологічному розвитку. Втім основне бойове навантаження, як завжди, припадає на Сухопутні війська ЗС України, ядром яких є механізовані та танкові війська. Їх основне призначення – ведення загальновійськового бою, прорив оборони противника, розвиток наступу, забезпечення маневреності та вогневої переваги на полі бою. У ході повномасштабної війни вони залишаються вирішальним компонентом під час наступальних та оборонних дій. Водночас, застосування механізованих та танкових військ у російсько-українській війні набуло низку особливостей, що визначають їхню роль у сучасних бойових діях.

1. Маневреність та мобільність. Механізовані та танкові підрозділи відіграють ключову роль у швидкому просуванні та контратаках. Вони забезпечують швидке перекидання сил на критичні ділянки фронту, гнучкість у веденні бойових дій, що дозволяє оперативно реагувати на зміни обстановки, захист особового складу, (оскільки бронетехніка значно знижує втрати від артилерійських та мінометних ударів). Маневрений підхід ставить на перший план ситуаційну обізнаність, використання вразливих сторін противника, маніпулювання його психікою, застосування оригінальних способів дій та мінімізацію своїх втрат. В основу концепції маневреного підходу покладено mission command (MC). У широкому розумінні MC є філософією досягнення цілей операцій, на відміну від філософії виконання наказу за будь-яку ціну.

2. Взаємодія з артилерією, РЕБ та БПЛА. Сучасні бойові дії вимагають інтеграції механізованих військ з іншими видами озброєння: артилерія забезпечує вогневу підтримку; БПЛА коригують вогонь та проводять розвідку, що дозволяє танковим підрозділам діяти більш ефективно; РЕБ допомагає нейтралізувати ворожі дрони та комунікаційні системи.

3. Протидія тактиці дрібних груп противника. Російські війська активно використовують мобільні групи для атак на фланги та тиллові позиції. Українські механізовані війська адаптуються до цього шляхом: створення

мобільних ударних груп, які швидко реагують на загрози; посилення розвідки та ситуаційної обізнаності, що дозволяє виявляти дрібні групи противника; використання мінних загороджень та інженерних споруд для обмеження маневру противника.

4. Зміна традиційного застосування бронетехніки під впливом панування БПЛА, великої щільності мінних загороджень та наявності сучасних протитанкових засобів. Бронетехніка рідко висувається першою через велику вразливість. Вона використовується як мобільна вогнева платформа для підтримки механізованих штурмових груп, вогневого подавлення цілей, маневру на відкритих ділянках фронту. Широко використовується тактика “танкових засідок” та “удару-відходу”.

5. Автоматизація та цифровізація управління дозволяє значно підвищити ефективність механізованих і танкових військ за рахунок того, що системи управління боєм інтегрують дані з різних джерел, забезпечуючи оперативне прийняття рішень; цифрові карти та навігаційні системи допомагають координувати дії підрозділів; автоматизовані системи наведення підвищують точність вогню.

Таким чином, бойові дії набули характеру високоінтенсивного протистояння технологічних систем на тактичному рівні. Сухопутні війська активно адаптуються до нових викликів, використовують сучасні технології і стають більш мобільними, технологічними та інтегрованими.

ПРОБЛЕМИ В УПРАВЛІННІ ПІДРОЗДІЛАМИ І ЧАСТИНАМИ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ ПІД ЧАС НАСТУПАЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ В 2023 РОЦІ

*В.П. Варакута, к.військ.н., доц.; М.В. Варакута
Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”*

Під час наступальної операції СоУ у 2023 році стало очевидно, що успіх тактичних дій значною мірою залежав не лише від озброєння чи можливості особового складу, але й від якості і ефективності процедури управління і контролю (С2) військами, в якій з'явилася низка проблем. У доповіді визначено основні з них, а саме:

- кадрова підготовка середніх командирів, які не мали бойового досвіду і достатньої підготовки з прийняття самостійних рішень у динамічній ситуації;
- наявність “культурних” залишків радянської системи, що сповільнювали процес модернізації управління.
- організація комунікацій і передачі інформації через недостатньо розвинуту автоматизацію системи управління, розвідки та обміну даними, що уповільнювало ситуаційну обізнаність командирів на різних рівнях;
- недостатня логістична підтримка і транспортна інфраструктура з поганими дорогами, вузькими маршрутами постачання, обмежена кількість резервів та оперативний тиск на лінії постачання, змушувало командирів ухвалювати рішення в умовах невизначеності, що додавало навантаження на систему управління;
- низька адаптація до сучасних засобів ведення війни, де російські засоби РЕБ і БпЛА суттєво впливали на здатність швидко координувати дії.

Таким чином, вирішити ці проблеми доцільно системними реформами командної структури, інтеграцією сучасних технологій та впровадженням стандартизації процедури управління і контролю (C2) військами.

ORGANIZATION OF UNIT PROTECTION AGAINST UNMANNED AERIAL VEHICLES

*D. Dyachenko, Ph.D., Senior Researcher; O. Bryksin; A. Tulub
Military Institute of Tank Forces of the National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”*

The modern stage of the development of means of armed struggle is characterized by the total “dronization” of the theater of military operations, which has transformed unit tactics and made protection against unmanned aerial vehicles (UAVs) a fundamental requirement for the survivability of troops. UAVs have evolved from auxiliary tools into the primary instrument of reconnaissance, artillery fire adjustment, and direct fire engagement, operating almost continuously along the entire line of combat contact. All this requires commanders to implement new management algorithms and adopt a comprehensive approach to countering hostile UAVs.

The commander’s management activity regarding the organization of unit protection against UAVs must be continuous and combine organizational, technical, and engineering measures. Based on the analysis of combat experience, the following algorithm of the commander’s work is proposed, which includes: 1. Assessment of the situation and threat analysis. 2. Organization of observation and identification systems. 3. Establishment of a subsystem of warning and interaction. 4. Management of active counteraction means. 5. Organization of passive and engineering protection. 6. Control of radio discipline and prevention of personnel concentration.

Thus, protection against UAVs represents a complex system in which no single measure (Electronic Warfare or Air Defense) guarantees complete safety; success is achieved only through the combination of technological solutions, engineering ingenuity, and tactical discipline. Early detection and operational management of fire and electronic means are critical factors that provide the unit with time for maneuver or concealment. Critical thinking by the commander and rejection of templates in the choice of routes and positions are mandatory conditions for maintaining combat capability in a high-technology conflict environment.

ПЕРЕШКОДИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНСТРУМЕНТІВ МДМР У ПРАКТИКУ ПЛАНУВАННЯ ДІЙ БАТАЛЬЙОНУ (БРИГАДИ) ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*А.В. Пугач, к.т.н.; О.М. Бриксін; С.В. Баранов
Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”*

З початку повномасштабного вторгнення рф до України у 2022 році і до теперішнього часу штаби батальйонів (бригад) ЗС України та інших складових Сил оборони України все частіше використовують різноманітні інструменти

штабної процедури НАТО MDMP (Military Decision Making Process) в ході планування бойових дій.

Незважаючи на те, що процес імплементації стандартів та доктринальних документів НАТО розпочався задовго до повномасштабного вторгнення РФ, а сучасні підходи до роботи штабу досліджувалися в ході міжнародних навчань (наприклад у 2016 році за участі Литовсько-польсько-української бригади LITPOLUKRBRIG та інш.), практичному використанні MDMP в повному обсязі дотепер перешкоджає низка таких факторів:

1. Недостатня ступінь укомплектованості штабів фаховими офіцерами відповідно функціонального розподілу S (G)-структур штабу НАТО, що приводить до зниження якості та оперативності планування дій.

2. Застосування процедури MDMP потребує розробки великої кількості додаткових документів, окрім тих, що визначені Бойовими статутами в поточних редакціях (які визначають порядок прийняття рішень фактично за радянським стандартом), що викликає необхідність збільшення штатних структур штабів.

3. Якісна реалізація MDMP передбачає високий рівень навченості штабного персоналу, наявність критичного та креативного мислення, уникнення шаблонності у рішеннях, що приймаються. Натомість рівень фахової підготовки більшості наявних офіцерів є недостатнім та потребує підвищення на спеціалізованих курсах (причому бажано відразу у повному складі секцій штабів відповідних батальйонів (бригад)).

МЕТОД МІНІМАЛЬНИХ ПЕРЕСТАНОВОК ЯК ЕВРИСТИЧНИЙ МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ АГЕНТІВ ПО ГРУПАХ

А.Л. Яловець, д.т.н., с.н.с.

*Інститут проблем математичних машин і систем
Національної академії наук України*

Досліджується проблема протидії роїв дронів з точки зору мультиагентного підходу, де кожен дрон розглядається як мобільний реактивний агент, а під роями дронів розуміються два протидіючі рої (рій атакуючих дронів та рій дронів-перехоплювачів, метою яких є знищення атакуючих дронів).

В доповіді розглядається проблема оптимального розподілу по групах агентів, що відповідають дронам-перехоплювачам, з метою найшвидшого знищення ними агентів, що відповідають атакуючим дронам, де для знищення атакуючих агентів агенти-перехоплювачі використовують деякі методи наведення.

Сутність задачі оптимального розподілу агентів по групах полягає в наступному: існує n переслідувачів та m утікачів (де $n \geq m$). Треба сформувати m груп (що не перетинаються) агентів-переслідувачів, необхідних і достатніх для знищення всіх агентів-утікачів за мінімальний час.

Зазначено, що досліджувана задача належить до класу задач про призначення та є NP-повною задачею у сильному сенсі і для її розв'язання доцільно використовувати евристичні методи.

У доповіді виконано аналітичний огляд відомих евристичних методів розв'язання задач про призначення та показано, що ці методи не завжди дозволяють вирішити досліджувану проблему розподілу агентів. Наведено

постановку задачі розподілу агентів по групах та запропоновано метод мінімальних перестановок як новий евристичний метод розв’язання задач про призначення.

Для демонстрації ефективності метода мінімальних перестановок розглянуто приклад формування груп агентів-переслідувачів в рамках вирішення проблеми мультиагентного переслідування/утікання на площині.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ СКРИТОГО УПРАВЛІННЯ АРМІЙСЬКИМИ КОРПУСАМИ

*С.П. Фриз, д.т.н., проф.; В.Я. Шельвестер
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Перехід Збройних Сил України на корпусну структуру вимагає модернізації системи управління військами (силами), в тому числі й скритого. Зміна загальної системи управління за рахунок додавання нових ланок всередині структури застосування військ (сил) та одночасна ліквідація тимчасових з’єднань (об’єднань) повинна не допустити зриву управління та взаємодії з іншими складовими сил оборони, які ведуть бойові дії.

У доповіді проаналізовано порядок розгортання системи скритого управління військами за рахунок штатних сил та засобів армійських корпусів зі складу Сухопутних військ Збройних Сил України, особливості її інтеграції у вже діючу систему скритого управління військами (силами) Збройних Сил України.

Окремими питаннями розглянуто порядок заміни ланцюгів управління за умови недопущення його зриву та порядок організації взаємодії з приданими військовими формуваннями інших складових сектору безпеки та оборони України.

Наведені порівняльні розрахунки сил та засобів залучених для виконання завдань за попередньою та новоствореною системами. Проведено аналіз можливостей системи скритого управління військами армійських корпусів, угруповань військ (сил) та надані відповідні рекомендації щодо перспектив нарощування спроможностей з метою підвищення її живучості та надійності реалізації завдань.

Висунуті пропозиції щодо напрямків розвитку та вдосконалення скритого управління військами в ланці: армійський корпус – бригада – окремий батальйон. Запропоновані зміни дозволять підвищити ефективність скритого управління військами (силами).

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОНІТОРИНГОВОГО ЦЕНТРУ (З ПРОТИДІЇ ТЕХНІЧНИМ РОЗВІДКАМ) АРМІЙСЬКОГО КОРПУСУ

*Ю.М. Кулініч; Д.С. Костерев
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Головним завданням протидії технічним розвідкам є недопущення виявлення противником відомостей діяльності військ (сил) та унеможливлення застосування безпілотних літальних апаратів.

Перехід Збройних Сил України на корпусну структуру привів до необхідності, в тому числі й до розгортання мереж протидії технічним розвідкам безпосереднього підпорядкування та необхідності моніторингу їх роботи в зоні відповідальності.

Також необхідно налагодити взаємодію цих новосформованих (переформованих структур) з сусідами справа (зліва) та інтеграцію їх в загальну систему моніторингу та вогневого ураження.

Специфічним моментом такого розгортання є те, що не усі сили та засоби які залучаються до виконання завдань протидії є структурно-штатними підрозділами, що ускладнює процедури навчання особового складу та забезпечення засобами озброєння та військової техніки.

У доповіді проаналізовано порядок розгортання сил та засобів протидії технічним розвідкам в армійському корпусі, порядок інтеграції розгорнутої систему у діючу систему роботи моніторингового центру з протидії технічним розвідкам Командування об'єднаних сил, в частині організації взаємодії та планування завдань мобільним групам озброєним засобами типу НОТА та НОТА-СВ; порядку несення бойового чергування на моніторинговому центрі, збору та аналізу отриманої інформації; взаємодії та обміну інформацією з бойовими підрозділами; управління діями мобільних підрозділів протидії та вогневого ураження; контролю за станом виконання завдань та узагальненням досвіду.

ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ ЗІ ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ ПІД ЧАС РОБОТИ ПІДРОЗДІЛІВ СИЛ ОБОРОНИ В ЗОНІ ДІЇ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

*Т.І. Кухарець; Н.А. Павлюк; І.С. Павлюк; С.В. Буханевич
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

У сучасних умовах ведення бойових дій зростає роль технічної розвідки противника, яка здатна виявляти активність підрозділів за допомогою інтенсивного застосування радіотехнічних, електронних та оптичних засобів. За таких обставин організація заходів щодо мінімізації ризику витоку інформації стає важливою складовою забезпечення безпеки діяльності підрозділів.

Організаційні заходи охоплюють систему дій, які спрямовані на обмеження демаскувальних ознак та зниження ймовірності перехоплення інформації. Серед них основне місце займає чітка регламентація доступу до чутливих відомостей, контроль за їх передаванням, визначення обсягу інформації, допустимого до використання на кожному етапі виконання завдання. Ці процедури дають змогу мінімізувати наслідки можливої компрометації та зменшити цінність даних для противника.

Важливим елементом є обмеження інформаційної активності підрозділу. Для цього впроваджуються правила раціонального використання радіообміну, обмеження часу передачі та скорочення змісту повідомлень, що зменшує ймовірність виявлення та аналізу перехоплених сигналів.

У підсумку комплекс організаційних заходів дає змогу сформувати безпечне інформаційне середовище підрозділу, забезпечити збереження секретних і службових відомостей та зменшити ризик їх отримання противником. Чітке планування інформаційної діяльності, регламентація доступу, контроль передачі даних та підготовка особового складу є основою для підвищення стійкості підрозділу до технічної розвідки в умовах сучасної обстановки.

ПРОБЛЕМАТИКА ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В СУЧАСНИХ БОЙОВИХ УМОВАХ

*Д.В. Шадура; Н.А. Павлюк; А.М. Романчев
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

В умовах ведення бойових дій однією з умов успішного виконання поставлених завдань є забезпечення оперативного, безперервного, стійкого та безпечного зв'язку. Від швидкості та якості передачі інформації залежить злагодженість та ефективність дій наших підрозділів, надійний зв'язок є основою для координації, прийняття рішень і контролю за ситуацією.

Вирішенням такої задачі може бути створення системи зв'язку, яка об'єднує роботу радіостанцій, захищених каналів, супутникового зв'язку та окремих елементів автоматизованих систем. Це дає змогу командирам оперативно отримувати дані про ситуацію, вчасно віддавати розпорядження і узгоджувати взаємодію між підрозділами та військовослужбовцями незалежно від умов на полі бою.

Попри важливість і технологічний розвиток систем зв'язку, існує достатня кількість проблем: перешкоди, які створюють засоби РЕБ противника, недостатній кіберзахист окремих елементів цифрової інфраструктури, "людський фактор", який приводить до помилок та зниження безпеки зв'язку.

Для підвищення ефективності та нейтралізації наявних проблем можна впровадити низку комплексних рішень: модернізація та оновлення обладнання; впровадження адаптивних антен, шифрованих каналів новітнього покоління та використання стійких до засобів РЕБ систем (LPI/LPD – low probability of intercept/detection); використання систем моніторингу кіберзагроз у реальному часі.

Підвищення рівня професійної підготовки зв'язківців, регулярні тренування, імітація роботи в умовах РЕБ, навчання управлінню багатоканальними системами і дотриманню радіодисципліни є не менш важливим заходами нейтралізації проблем та загроз.

СЕКЦІЯ 2

НАУКОВЕ СУПРОВОДЖЕННЯ, РОЗВИТОК, БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЄЮ ТА ПРОТИПОВІТРЯНОЮ ОБОРОНОЮ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

Керівники секції: полковник Пучков Є.І.;
к.т.н. с.н.с. підполковник Александров О.В.
Секретар секції: прац. ЗС України Лавров А.Ю.

APPLICATION OF SOFTWARE-DEFINED NETWORKING TECHNOLOGIES IN THE DEVELOPMENT OF MODERN NETWORK- CENTRIC MILITARY COMMAND AND CONTROL SYSTEMS

*O. Aleksandrov¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Ye. Puchkov²; S. Panchenko²; D. Grabenko²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

Modern network-centric architectures of air and missile defense command and control systems possess inherent advantages that enable resilient, responsive, and continuous command of forces and combat assets during military operations. Such architectures eliminate single points of failure whose destruction could disrupt control of the entire system. One of the advanced technologies that enables centralized control of routing policies, security mechanisms, and performance management across geographically distributed networks – alongside traditional MPLS solutions, conventional IPsec-based VPNs (Internet Protocol Security), and standalone Software-Defined Networking implementations – is SD-WAN (Software-Defined Wide Area Network). Modern distributed military networks impose stringent requirements on security, reliability, and manageability. This paper identifies the key advantages provided by SD-WAN technology in this domain.

The identified advantages indicate that SD-WAN is a promising technology for distributed military networks, providing high fault tolerance, effective support for ISR processes, enhanced security, and flexible network management. It enables more efficient utilization of available communication links, reduces exposure to cyber threats, and supports rapid adaptation to infrastructure changes. These characteristics position SD-WAN as a critical enabler within modern military C4ISR systems capable of sustaining operational and strategic resilience of armed forces in the context of repelling armed aggression by the Russian Federation, including within cyberspace.

A UNIFIED APPROACH TO CONVERTING RADAR DATA FROM PROPRIETARY RADAR STATION PROTOCOLS

*S. Leshchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor; P. Tsiupka;
S. Sidchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; Yu. Shevchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

To ensure timely detection of enemy air attack means, it is necessary to create a single radar field formed on the basis of the integration of heterogeneous radar stations. The formation of a single radar field involves the standardization of data exchange formats.

In modern conditions of countering armed aggression in Ukraine, various types of radar stations are used, in particular modern foreign-made locators. They differ in data exchange formats and often use proprietary information transmission protocols, which complicates their integration into a single information space. This problem becomes particularly relevant in cases where such radar stations must simultaneously transmit radar data to several information and communication (automated) systems. This requires the implementation of appropriate data exchange protocols in each of these systems.

It is proposed to solve this problem by developing and implementing converters to convert radar data from proprietary locator protocols into a single unified protocol. As a single unified protocol, it is advisable to use, for example, ASTERIX cat. 62. It provides the transmission of target coordinates in the geographic coordinate system without the need to transmit the coordinates of the locator location.

Alternative options for implementing the unified protocol are proposed. The report provides several examples of implementing software converters and summarizes the experience of their practical application.

METHODOLOGICAL APPROACH TO INFORMING ABOUT THE USE OF GUIDED AIRCRAFT BOMBS IN INFORMATION SYSTEMS

*S. Leshchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor; P. Tsiupka;
S. Sidchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Baturynskiyi, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

During the Russian-Ukrainian war, the enemy significantly increased the intensity of the use of guided aerial bombs (GAB) along the entire line of combat contact. Recently, the use of these weapons has become systematic. They are used on front-line positions of the Defense Forces of Ukraine and on settlements in the operational depth of defense. The massive use of GAB allows the enemy to strike from a safe distance, outside the zone of attack of most air defense systems. The increase in the number of such strikes requires the improvement of the detection, warning and operational response system.

Therefore, there was a need to implement in the air situational awareness systems the functionality of automatic calculation and display of the predicted area of GAB fall.

For the calculation, it is proposed to use a unified model of conditional proportion, according to which each unit of decrease in the height of the bomb corresponds to a certain horizontal distance of its flight. The accuracy of determining the area depends on the accuracy of determining the flight parameters of the GAB by means of location, namely, determining the speed, altitude and flight course of the GAB and timely changing these characteristics.

The report provides proposals for implementing the functionality of automatically displaying the areas of predicted fall of air targets with the GAB sign, as well as options for alerting troops about the threat of their use.

The proposed approach increases the efficiency of alerting troops and provides a reserve of time for responding to the threat.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF AN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEM ACCORDING TO THE STAGES OF THE LIFE CYCLE

*S. Sidchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
S. Burkovskiy, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;*

S. Kuznetsov; L. Polshyna

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Recently, the Defense Forces of Ukraine have been actively developing and implementing a significant number of new information and communication systems (ICS) for various purposes. Their creation is due to the need to automate the processes of combat management and ensure the daily activities of the troops. In particular, the speed of data exchange is increasing and the integration of heterogeneous sensors and weapons into a single information space is ensured.

In the Ministry of Defense of Ukraine, the development of ICS for the period of the martial law legal regime is carried out according to the stages of life cycle management, defined by the order of 29.05.2024 № 355/nm. The order determines the procedure, but does not detail the features for each individual type of ICS. The life cycle provides for five main stages, namely initiation, concept, development, operation (use) and maintenance, and removal.

The report examines the features of implementing the first four stages of life cycle management using the example of the air situational awareness ICS. Particular attention is paid to the issues of implementing an information protection system in the ICS. It is noted that the ICS manager and the information protection service created by him are responsible for its development. The features of forming a target security profile in accordance with the requirements of regulatory documents on technical information protection are also analyzed. For its development, it is proposed to choose an industry-specific system security profile approved by order of the Ministry of Defense of Ukraine.

METHODOLOGY FOR ASSIGNING SPECIAL DESIGNATIONS TO AIR TARGET IN THE AIR SITUATIONAL AWARENESS SYSTEM

*S. Leshchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor;
S. Sidchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Baturynskiy, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;*

P. Tsiupka

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the war, the enemy uses a significant number of different types of air attack means.

Often they are used simultaneously throughout the entire territory of Ukraine. Under such conditions, the screens of automated workstations from the information and communication (automated) systems simultaneously display the marks of a large number of detected air targets. This significantly increases the workload on operators, complicates the decision-making process and places increased demands on the productivity, reliability and ergonomics of software and hardware for displaying and processing radar information.

The report proposes a methodology that defines a single procedure for assigning marks to air objects in order to ensure timely and well-founded decision-making by

management bodies in conditions of significant information load. The assignment of special marks to air targets is carried out on the basis of a comprehensive analysis of radar data, intelligence data and electronic support. The marks are set manually by the operator with the possibility of their correction at higher levels of processing.

Information about the assignment of a special designation is automatically transmitted to all subscribers of the air situational awareness information and communication system, including other systems with which it is integrated.

This provides quick visual distinction of certain special types of air targets among others through the use of special information designations, which allows users to pay increased attention to such targets.

PROSPECTS FOR IMPLEMENTING CROSS-DOMAIN SOLUTIONS IN THE INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

O. Lavrov, Candidate of Technical Sciences;

D. Zapara, Candidate of Military Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of modern high-tempo warfare, the speed of data exchange between military units and command-and-control (C2) nodes at the tactical, operational, and strategic levels is critical. Currently, the Armed Forces of Ukraine operate both local and wide-area electronic communications networks, including open networks as well as networks with various classification and access restriction levels. Traditional data transfer methods between heterogeneous networks, based on manual file copying and physical transfer by operators, significantly slow down information exchange and create risks of delayed decision-making. To interconnect isolated networks, Cross Domain Solutions (CDS) are employed. The primary functions of CDS include protocol filtering, content inspection of files and data streams for malicious code, and prevention of confidential data leakage in accordance with defined security policies and release rules.

The deployment of CDS enables near real-time delivery of data from open sources and external systems into classified command-and-control environments. For implementation within the Armed Forces of Ukraine, it is advisable to consider solutions already certified and operationally deployed in NATO member states.

The large-scale adoption of CDS technologies within military information and communication systems will enable the Defense Forces of Ukraine to establish a unified information environment without compromising cybersecurity requirements, thereby creating conditions for achieving technological superiority over adversary forces.

USE OF PRECISE TIME SYSTEMS IN MILITARY LOCAL AREA NETWORKS

O. Lavrov, Candidate of Technical Sciences;

N. Korolyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At present, automated command and control (C2) systems, weapon systems, and information and communication systems (situational awareness systems) require accurate time synchronization among distributed system elements and network

nodes. Precisely synchronized time across system components is required for real-time fire coordination, operation of electronic intelligence systems (particularly for multilateration tasks), electronic warfare applications such as GNSS coordinate spoofing, and information cryptographic protection mechanisms (certificate validation, IPsec operation), as well as for post-mission analysis and objective control of actions processed by multiple heterogeneous systems. A standard approach to general time synchronization of C2 systems, information and communication systems, and their individual components is the deployment of time servers operating the Network Time Protocol (NTP) service. NTP typically operates at the application or operating system kernel level in UNIX-like operating systems and utilizes the UDP transport protocol. This approach enables synchronization of hosts (C2) within electronic communications networks of the Armed Forces with an accuracy typically ranging from 10–30 ms, depending on network equipment characteristics and communication link conditions. However, such accuracy is insufficient for air defense and missile defense (AD/MD) systems, where timing precision at the microsecond level is mission-critical. Therefore, systems operating within air and missile defense domains that require extreme timing accuracy are recommended to employ the Precision Time Protocol. These approaches enable synchronization of mission-critical network devices at the sub-microsecond level, without deployment of additional specialized equipment, critical network elements may be synchronized with millisecond-level accuracy.

THE ROLE OF AUTOMATED COMMAND AND CONTROL IN ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF COUNTERING GUIDED AERIAL BOMBS

*A. Romaniuk; Z. Zakirov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
E. Pershyna*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of the Russian-Ukrainian war is characterized by an unprecedented escalation and increasing complexity of aerial threats. One of the main challenges for air defense units is the enemy's use of aerial bombs equipped with a unified gliding and guidance module (GAB). Guided aerial bombs are employed by the enemy's tactical aviation aircraft, typically without entering the engagement zone of our air defense systems, against targets with pre-determined coordinates. They are characterized by high speed and long range, which significantly limits reaction time, as well as by substantial destructive power and resistance to electronic warfare countermeasures. This imposes increased requirements on the responsiveness, coordination, and overall effectiveness of the entire chain of forces and assets involved in countering guided aerial bombs, which must operate according to a unified concept with the use of automated command and control systems. The current procedures for organizing the command and control cycle do not ensure the required response speed under conditions of the mass employment of guided aerial bombs.

Enhancing the level of integration and functional capabilities of automation complexes and information and communication systems within a unified automated command and control framework can ensure reduced response time, improved targeting accuracy, increased reliability of air situation awareness, and greater resilience of command and control under electronic warfare conditions.

Future research prospects are associated with the development of formalized models for assessing the effectiveness of automated command and control, as well as with the implementation of intelligent decision-support algorithms.

AUTOMATIZATION OF MOBILE AIR DEFENSE FIRE GROUP CONTROL PROCESSES IN A SINGLE INFORMATION SPACE

A. Lavrov; O. Vozny

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analysis of the experience of repelling massive air attack attacks indicates the importance of mobile fire groups (MGF). The main armament of such units is ZU-23-2 anti-aircraft guns, Browning, Canik, Viktor machine guns, MANPADS. In conditions of intensive use of Kamikaze UAVs, the transition from voice control to full or partial automation of combat control at the tactical level becomes critically important. The relevance of automation is due to the need to quickly solve a number of tasks: real-time control of the location of the MGF to ensure dynamic target assignment and the exclusion of “friendly fire”, monitoring the status of combat readiness and the remaining ammunition, which allows the automated control system to predict the depletion of the unit’s fire capabilities.

At the present stage, the Air Force integrates and uses such software (hardware and software) solutions as “SkyMapa”, “9C905 Krechet”, “Virazh Planshet”, “Grafit”, ICS “Delta”, ACS aviation air defense 9C162. All these systems are based on the aggregation of information from a network of radar sensors and visual observation posts.

The main advantage of such integration is the ability to issue digital target designation directly to the terminal (tablet) of the MVG fire weapon. Unlike voice trunking radio communication, digital data transmission allows you to simultaneously transmit azimuth, height “angle of elevation”, speed, course and type of target, which reduces the response time of the service to a minimum, provided that the air target tracks are accurate.

Thus, the creation of an integrated digital environment for air defense not only allows you to monitor the air situation, but also turns disparate firepower into a single coordinated organism capable of effectively intercepting targets.

APPLICATION OF MAVLINK PROTOCOL AND ADAPTIVE NAVIGATION METHODS FOR CONTROL OF UAV INTERCEPTORS

A. Lavrov; E. Pershyna

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Effective counteraction to massive attacks by barrage munitions requires the introduction of the latest interception means (UAV-interceptors). The key task in the development of such systems is the standardization of data exchange and ensuring high accuracy of targeting an air target. The most promising solution to these tasks is the use of the MAVLink protocol, which allows integrating the on-board equipment of the UAV-interceptor into an automated air defense control system.

One of the effective algorithms for automated targeting is the adaptation of the “Follow Me” mode. In the classic version, this mode ensures that the drone follows an object that broadcasts its coordinates. In the context of intercepting air targets, the coordinates of the object obtained from external sensors (radar or optoelectronic stations) are programmatically converted into dynamic waypoints. Using MAVLink commands allows you to adjust the interceptor’s motion vector in real time, directing it directly to the air target using GPS coordinates. This minimizes the impact of the human factor and reduces the system’s response time.

In conditions of intensive use of electronic warfare means, the problem of suppression or substitution of satellite navigation signals arises. To ensure the system’s operability in the absence of GPS, it is worth considering alternative positioning methods, for example, based on pre-installed beacons. Thus, combining the flexibility of the MAVLink protocol with “Follow Me” algorithms and backup navigation systems allows you to create a jamming-resistant interception system.

DEVELOPMENT OF ASYMMETRIC ENCRYPTION MECHANISMS FOR MILITARY RADIO NETWORKS AND COMMUNICATION ENVIRONMENTS UNDER CONDITIONS OF COMMUNICATION DEGRADATION AND GPS DISRUPTION

O. Perepelytsia¹, Candidate of Technical Sciences;

O. Aleksandrov², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Limited Liability Company “System Electronic Export”;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Under combat conditions, modern military radio networks operate in highly contested electromagnetic environments characterized by intensive electronic warfare, spectrum scarcity, high node mobility, and partial infrastructure degradation. An additional critical factor is interference with and spoofing of satellite-based positioning and timing signals, which disrupt synchronization, routing processes, and the operation of control-plane protocols. In such conditions, centralized trust and key distribution models lose effectiveness, creating the need for asymmetric cryptographic mechanisms specifically adapted to degraded and disrupted communication environments. It is noted that a hybrid cryptographic approach is the most practical and efficient. In this model, asymmetric cryptography is used for node authentication, digital signatures, and secure session key establishment, while symmetric cryptography is employed for bulk data encryption to ensure acceptable computational overhead and throughput performance. To maintain temporal robustness in the absence of an external time reference, the use of local high-stability oscillators operating in holdover mode is proposed, together with relative time synchronization protocols that enable inter-node event coordination without reliance on an absolute time scale.

Implementation of the proposed approach enables enhancement of the network’s cryptographic resilience, ensures the autonomy of trust establishment mechanisms, and reduces dependence on external synchronization services, which is critical for the operation of C2 systems under conditions of active electronic warfare interference.

**ANALYSIS OF WAYS TO ENHANCE THE EFFECTIVENESS
OF COUNTERING GUIDED AERIAL BOMBS THROUGH
THE AUTOMATION OF FORCES AND COMBAT
ASSETS EMPLOYMENT PROCESSES**

V. Kapranov¹, Candidate of Technical Sciences; K. Trifonenko¹; M. Tarasiuk²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Defence Intelligence Research Institute

The deployment of guided aerial bombs (GABs) by the Russian Federation in the war against Ukraine has become a defining factor in changing the nature of modern warfare. Their increased precision, the ability of launch platforms to operate beyond the range of most tactical air defense systems, and relatively low cost make them an effective tool for delivering fire impact at both tactical and operational depths.

The specific nature of the enemy's use of GABs lies in the low observability and high velocity of these modified aerial munitions. This necessitates increased requirements for the responsiveness and effectiveness of the GAB countermeasure subsystem, covering the entire cycle from detection to destruction.

Automation of the employment processes of forces and combat assets for countering GABs is achieved through the deployment at command posts of integrated automation systems and information and communication systems, which must ensure the development and implementation of capabilities for effective situational assessment and decision-making.

For the automated command and control of forces and combat assets at the command posts of the Ukrainian Air Force units, the 9S162 and 9S905 automated control systems are utilized, alongside information systems such as "DRDP", "Virazh", and others.

The report identifies one of the areas for developing and improving the capabilities of tactical-level command and control units regarding the use of the GAB countermeasure subsystem.

**IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF TARGET DISTRIBUTION IN
THE CONDITIONS OF A COMBINED STRIKE BY AIR ATTACK MEANS**

S. Seleznev; E. Pershyna; T. Kulieshova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The target distribution algorithms which were implemented in the complexes of command post automation tools (CCPAT) that are currently in service were developed taking into account the conditions and experience of conducting air battles.

The effectiveness of target distribution was evaluated based on the analysis of the obtained value of the selected management quality indicator (MQI) for various variants of the source data. Usually the MQI was represented as a mathematical expectation of the number of destroyed targets. At the same time, the costs of the own means of destruction and (indirectly) the damage caused by air defense systems (ADS) to the enemy were taken into account quantitatively.

The implemented algorithms showed a fairly high efficiency for conditions when the resources of the warring parties and the time to replenish them are approximately the same.

Combined enemy air strikes are characterized by the simultaneous use of a large number of different types of air attack means. In some cases, this leads to an unjustified consumption of ADS, the resource of which is quite limited.

The way of increasing the effectiveness of target distribution in the conditions of a combined strike of air attack means is the introduction of additional restrictions on the process of solving the target distribution problem. The restrictions take into account the correspondence of the types of ADS assigned to the target to a specific type of target. This correspondence is defined as a possibility of destroying a specific target by the ADS that have a capability of doing so, but are less effective than the other ADS.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MULTITHREADED VIDEO DATA TRANSMISSION MODELS IN UAV NETWORKS WITH MULTIPLE AIRBORNE SOURCE NODES

*S. Semenov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor;
O. Chernykh², Candidate of Technical Sciences, Professor;
Jian Yu²; Jiang He²*

¹University of the National Education Commission, Krakow, Poland;

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Self-organizing UAV networks are increasingly used for monitoring, search-and-rescue operations, and emergency response, where fast transmission of video data to a ground station is required. Moving from a single source to multiple airborne source nodes enables parallel area coverage and reduces mission time; however, it increases the load on routing paths, leads to receiver input-buffer overflow, and deteriorates application-layer Quality of Service (QoS) metrics.

First, increasing the number of sources increases application-layer goodput: when moving from 1 to 5 source nodes, goodput rises approximately from 0.8–1.5 Mbit/s to 4.1–5.3 Mbit/s (depending on HHH), which increases the risk of receiver buffer overflow and PDR degradation. Second, NC-F reduces application-layer load by combining packets at the relay: the goodput gain is about 1.529–1.248× in the 1.25–5 Mbit/s rate range; however, due to buffering, PDR may degrade when using coding alone. Third, MS-AL-ARQ compensates the PLR increase via NACK/retransmissions: at a distance of 500 m, PLR reduction reaches 0.067 (static relay) and 0.037 (mobile relay) compared to the scheme without MS-AL-ARQ when jointly used with NC-F. Fourth, in experimental scenarios with a shared input buffer, MS-AL-ARQ improves PDR: for 2 sources, the average improvement is about 10 % in the 50–60 m range; for 3 sources, about 22 % in the 35–60 m range; the relative PDR gain reaches 1.13–1.15× (2 sources) and 1.2–1.7× (3 sources). MOS confirms the practical effect: with 2 sources, MOS≈5 for MS-AL-ARQ (vs. MOS≈4 for UDP), while TCP exhibits unacceptable delay up to ~5 s.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVE THROUGHPUT OF MODERN CRYPTOGRAPHIC PROTECTION MECHANISMS UNDER REAL-WORLD TRAFFIC LOADS

P. Aleksandrova¹; O. Kudrynskyi²;

Z. Zakirov², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Limited Liability Company “Mynetfair AG”, Kehl, Federal Republic of Germany;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Current trends in the development of information systems and automated control systems are characterized by a steady transition toward distributed data processing architectures, including the processing of sensitive and restricted-access information. This approach is widely adopted in governmental, corporate, and critical infrastructure systems due to its scalability, flexibility, and ability to ensure operational continuity under dynamic workload conditions. At the same time, distributed processing inherently involves intensive exchange of large data volumes between geographically dispersed nodes, significantly increasing the requirements for securing data transmission channels. This issue becomes particularly critical in the context of protecting restricted-access information, where compromise of confidentiality, integrity, or availability may result in severe consequences for system operations. This paper presents the results of an analysis of the impact of cryptographic mechanisms on data channel throughput under high and peak traffic loads. It is noted that, under real-world operating conditions, software-based cryptographic protection solutions provide only 45 % to 65 % of effective throughput at nominal link speeds of approximately 1 Gbps. In contrast, hardware-based IP encryptors supporting Authenticated Encryption with Associated Data modes maintain more than 80 % of effective throughput, making them suitable for backbone and high-capacity data transmission links.

The obtained results may be applied in the design and modernization of secure distributed control systems, as well as in substantiating the selection of cryptographic protection solutions for information systems with increased performance requirements.

METHOD OF ADAPTIVE TELEMETRY RECOVERY IN DISTRIBUTED SENSOR NETWORKS UNDER UNSTABLE POWER SUPPLY CONDITIONS

D. Karlov¹, Dr hab. Professor; S. Semenov²

¹Kharkiv National University of Radio Electronics;

²University of the National Education Commission, Krakow, Poland

Ensuring continuous monitoring of ground support facilities and critical infrastructure of military airfields requires reliable data transmission systems capable of operating in unstable power supply conditions. A critical vulnerability of distributed Internet of Things (IoT) networks is the so-called “avalanche effect” that occurs when power is restored to a large number of sensors simultaneously.

In such scenarios, thousands of devices attempt to synchronize with a network server at the same time. This synchronization burst leads to massive packet collisions and a self-inflicted denial of service (DOS) . of Service , DoS), which effectively “blinds” the automated control system during the critical recovery phase.

The paper proposes a method for adaptive telemetry recovery based on a deterministic queue management algorithm. Unlike standard protocols with random delay (back-off), the proposed approach implements strict traffic shaping at the gateway level. The algorithm dynamically limits the size of the request queue and sets the maximum residence time of connection packets. This mechanism filters out stale data and prevents buffer overflows.

The novelty of the developed solution lies in the ability to transform a chaotic surge of reconnections into a controlled sequential wave of recovery. This ensures that the command center maintains situational awareness and receives critical notifications about the status of systems immediately after power is restored, which significantly increases the survivability of the monitoring segment in combat conditions.

**EVALUATION OF DATA TRANSMISSION EFFICIENCY
IN ATMOSPHERIC-OPTICAL AND FIBER-OPTICAL LINES
OF COMMUNICATION BASED ON SINGLE-MODE
MULTIFREQUENCY WITH SYNCHRONIZATION
OF LONGITUDINAL MODES OF LASER RADIATION**

*O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Komarov², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Liubchenko¹; V. Kolomiitsev¹*

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

*²Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunication
and Information Technologies*

The report proposes improved methods of data transmission in atmospheric optical communication lines for last mile technology and fiber optic cable technology. Unlike existing methods, these methods use both longitudinal modes (where their number is $N \geq 10$) and their combinations from the single-mode multi-frequency spectrum with synchronization of the longitudinal modes of laser radiation.

This approach allows the formation of laser information signals that are emitted at carrier frequencies (intermodal bit frequencies), as well as the creation of a general system for increasing the speed and volume of multichannel data transmission to consumers. The essence of improved methods and features of corresponding devices for forming data transmission channels is revealed.

The use of laser radiation with longitudinal mode synchronization in atmospheric optical and fiber optic communication lines requires the superimposition of an electrical information signal containing the necessary data onto the carrier frequency. Modulation of laser radiation leads to a change in one or more radiation parameters according to a given law in space and/or time.

The results of mathematical modeling of the capabilities of a laser radiation transmitter for advanced communication lines according to various indicators are presented, confirming the validity of the improvement.

CALCULATION OF THE OPTIMAL COMBINATION OF INFORMATION MEASURING SYSTEMS TO ENSURE THE TESTING OF MODERN AIRCRAFT MODELS

*O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Pavlii², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Bespalko²; L. Pavlii²*

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

When testing modern (promising) aircraft models, it is necessary to use several radar and optical systems for various purposes as part of a single complex of electronic devices. Such a complex can be a single mobile single-point combined information and measurement system.

Currently, there are two types of multiplexing: hardware multiplexing and signal multiplexing. Signal multiplexing refers to the transmission of different information (data) for different applications using a single multiplexed (composite) signal. Hardware multiplexing refers to the processing of a multiplexed signal for different purposes by one part of the system in a single frequency band, which is a multiplexed channel.

Thus, calculating the optimal alignment of channels in information and measurement systems to ensure the testing of modern aircraft models is a pressing scientific task.

The report analyzes the basic composition of the functional elements of a mobile single-point combined information and measurement system. It reveals the features of calculating the optimal combination of system channels. Such a calculation is associated with the selection of the optimal measurement structure for each channel of the system and its optimization in terms of both technical parameters according to a conditional quality criterion and combination parameters. The technical parameters of the system, which are part of its energy potential, quantitatively describe the corresponding quality of its blocks, nodes, and circuits. It is shown which system blocks can be described by which technical parameters for optimal channel alignment.

NEURAL NETWORK MODEL FOR CORRECTING THE FLIGHT PATH OF A GROUP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO AVOID OBSTACLES IN URBAN AREAS

*O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Pustovarov², Candidate of Technical Sciences; I. Rudakov¹; V. Panchenko¹*

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Adjusting the flight path of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs) in urban areas requires ensuring safe flight around obstacles with minimal deviation from the selected flight path to the destination point. In other words, the algorithm must dynamically change the direction or altitude of the UAV in such a way as to avoid collisions without significantly increasing the length of the route and the time required for the selected flight.

Thus, the development of a neural network model for adjusting the flight path of a group of UAVs to avoid obstacles in urban areas is a relevant scientific task.

The report analyzes the main types of obstacles, both static and dynamic. It reveals the peculiarities of applying reinforcement learning methods, which allow agents to improve their behavior through interaction with the environment, based on rewards and punishments.

A neural network model for adjusting the flight path of a group of UAVs to avoid obstacles in urban areas has been proposed, combining the advantages of actor-critic architecture with a specialized set of input features optimized for their navigation in urban areas. This model learns optimal behavior based on simulation experience and is capable of generalizing UAV evasion behavior for different obstacle configurations (with different numbers and dynamics), which is difficult to achieve with traditional methods. The model architecture is selected and configured to ensure high training convergence and policy quality. A neural network controller has been developed, which is new to the field of autonomous UAV control.

METHOD FOR FORMING THE CHART OF COORDINATION OF EFFORTS

*D. Rieznik, Ph.D., Associate Professor; H. Mylnikov, Ph.D., Associate Professor
National Defence University of Ukraine*

The effectiveness of an Air Defense system is determined by the level of coordination of its active assets during the repulse of an air attack. The principal instrument for organizing interaction is the Chart of Coordination of Efforts (CCE), which defines the allocation of forces and assets by tasks, directions, and time of execution. The formation of the CCE becomes particularly complex when Ground Based Air Defense (GBAD) units and Air Defense Aircraft operate jointly within an integrated Air Defense system.

The current practice of CCE formation lacks a comprehensive mathematical formalization and is mainly based on expert procedures. This limits optimization capabilities and complicates operational adjustment of decisions under dynamically changing conditions.

In this study, the process of CCE formation is, for the first time, interpreted as a scheduling theory problem, where the objects of ordering are the processes of employing Air Defense forces and assets under spatial, temporal, resource, and organizational constraints. Unlike traditional applications of scheduling theory focused primarily on manufacturing or transport systems, the proposed approach adapts its mathematical framework to operational military command and control tasks. The formalization enables representing the CCE as a multicriteria optimization problem, ensuring consistency between local criteria of GBAD and Air Defense Aircraft subsystems and the global effectiveness criterion of the Air Defense system.

The scientific novelty of the obtained results lies in the application of scheduling theory to formalize the CCE formation process within an Air Defense system; in the development of a decomposition-based approach to solving the multicriteria problem with subsequent coordination of local and global criteria; and in establishing the methodological foundations for automated generation and real-time updating of the CCE.

The practical significance of the proposed method consists in the possibility of its implementation within decision support software, which increases the validity of command decisions and reduces the labor intensity of forming the Chart of Coordination of Efforts during military operations.

USE OF SIMULATION MODELS TO OPTIMIZE THE DEVELOPMENT OF SPECIALIZED SOFTWARE FOR WEAPON CONTROL SYSTEMS

S. Simonov¹; S. Aleksandrov², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Limited Liability Company "System Electronic Export";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of development of C2 systems within the Armed Forces of Ukraine is characterized by the integration of fire engagement systems and radar surveillance systems of both domestic and foreign origin into the command and control loop. These systems operate using proprietary information exchange protocols, many of which are implemented in accordance with NATO standards. Their integration into the national C2 environment requires addressing a range of organizational and technical challenges. The report presents the main stages involved in solving the problem of information and technical interoperability between automated command and control systems of the Armed Forces of Ukraine and the specified controlled assets. Effective integration of automated command and control systems with fire engagement assets requires the availability of adequate simulation and emulation tools capable of reproducing system behavior within a controlled environment. Considering the diversity of fire engagement systems supplied to Ukraine, the simulation framework architecture should be modular and include a set of configurable simulation platforms. Each platform is intended to emulate the operational behavior of a specific weapon system. Such a platform shall include modules for input data reception and processing, modules responsible for data generation and transmission to the consumer (command post), as well as a set of coordination modules providing internal synchronization and overall management of information exchange processes within the platform. The development of an integrated simulation model framework makes it possible to test and validate interoperability protocols between automated command and control systems and newly introduced domestic and foreign fire engagement systems without the involvement of real combat assets.

AIR-AND-SEA ROBOTIC VEHICLES AS THE IMMEDIATE FUTURE OF AUTONOMOUS WEAPON SYSTEMS

S. Karpov

*Center of the Joint Staff of the Joint Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine*

Advances in robotics have significantly changed researchers' understanding of the conceptual framework of weapons and military equipment (WME). In addition, designers are devoting significant attention to the paradigm of collective deployment of robotic systems. This raises a number of pressing scientific challenges: controlling a collective (swarm) of robotic systems, coordinating the collective during the execution of a special mission, dynamically assigning roles during the execution of a special mission, and routing and distributing tasks among the members of the collective.

These tasks become significantly more complex when managing robotic systems that can operate in different domains (for example, maritime and aerial, or aerial and ground-based robotic systems). In such cases, one can speak of the polymorphism of a fleet of robotic systems.

The term “polymorphism” originates from a biological term and means “the existence within a single species of two or more groups of individuals with markedly different characteristics”. The application of polymorphic structures represents a new direction in the development of military robotics and the creation of hybrid robotic systems capable of operating in diverse environments.

The design of polymorphic devices faces a number of challenges related to: the need for structural compatibility among components, the requirement for effective operation in mutually exclusive environments (such as air and water), and the use of technologies capable of transforming these devices into true transformers.

The report presents an improved method for developing a polymorphic air-sea robotic drone using new technical solutions. The drone design process is based on the mathematical framework of fuzzy sets and fuzzy logic.

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE EFFECTIVENESS OF CLASS I UAS GROUP EMPLOYMENT

*Yu. Kolomiets, Ph.D.; A. Tkachenko
National Defence University of Ukraine*

In modern warfare, classical planning methods and intuitive decision-making are becoming ineffective due to rapid technological development (with an update cycle of 2–3 months). Successful employment of Class I UAS in a saturated enemy defense environment requires a transition to “evidence-based planning”. This necessitates the use of mathematical and stochastic combat models, enabling commanders to calculate the required force superiority with mathematical precision rather than relying on intuition.

The methodology for calculating the effectiveness of Class I UAS group employment is based on the comprehensive “Swarm Saturation” model, which synthesizes probability theory, queuing theory, and a modified salvo combat model. It integrates several fundamental laws and theories:

1. Lanchester's Laws and the Salvo Model:

Lanchester's Square Law (the “N-square” principle): The combat power of a coordinated “swarm” is proportional to the square of its size. It is more advantageous to mass drones for a concentrated strike, where a group of 4 drones is four times more effective than 2 drones.

Salvo model (for kamikaze drones): Since FPV drones are expendable, success is achieved only when the number of drones in the salvo exceeds the enemy's defensive potential (Air Defense/Electronic Warfare). If this condition is not met, the attack will be completely repelled.

2. Network-Centric Warfare and the Concept of “Information Aging”: Time compression of the command and control cycle is taken into account. A time-dependent exponential decay function for accuracy is introduced. For maneuvering targets, every 60 seconds of intelligence delay can reduce the probability of a hit by 40–50%. If the command and control cycle exceeds 2–3 minutes, the strike becomes ineffective.

3. Game Theory in the “Drone vs. EW” Confrontation: This dynamic is described as a zero-sum antagonistic game (the drone's gain equals the EW's loss). The analysis of payoff matrices indicates that transitioning to optical navigation (AI/Machine Vision) is the “dominant strategy” ensuring success regardless of enemy EW. Additionally, cost asymmetry (Economic game) is calculated, mathematically proving that the swarm saturation strategy is a win-win:

the cost of a swarm of cheap drones is hundreds of times less than the cost of a destroyed target (e.g., a tank).

The application of this methodology will allow:

- abandoning “trial and error” methods and transitioning to the precise calculation of the required “force apportionment” (number of drones) for the guaranteed destruction of a specific target, taking into account its EW and AD capabilities;

- determining critical time windows for striking before the information “ages”;

- economically justifying the feasibility of an attack (calculating the profitability index) prior to expending ordnance;

- optimizing tactics (e.g., transitioning to massed strikes instead of sequential launches).

The methodology is intended to justify the decisions of unmanned systems unit commanders (Strike UAS Companies, UAV platoons) regarding the feasibility, force composition, and means when planning strikes against enemy targets.

Based on the Foresight methodology, further research and training in the field of Class I UAS employment should focus on forecasting “wild cards” and plausible futures:

- Full autonomy: researching the operations of fully autonomous, AI-driven drone swarms acting without operator communication. This represents a mathematical “Nash Equilibrium” that completely neutralizes classical EW.

- Operations in a technological blackout: developing action protocols in the event of a total loss of access to satellite navigation (GPS) or Starlink communication, which is currently a vulnerability of the network-centric model.

- Countering new weapons: researching tactics to overcome mobile laser systems and microwave weapons capable of instantly burning out swarm electronics.

- Working with “weak signals”: systematizing data regarding atypical behavior of enemy assets (through the maintenance of “Technical Anomaly Logs”) for the early detection and preparation for new threats (e.g., the mass use of fiber optics or subterranean warfare).

PERSPECTIVES ON AIR AND MISSILE DEFENCE EFFICIENCY

O. Hloba, Ph.D.

National Defence University of Ukraine

The most appropriate indicators for assessing the quality of the air and missile defence system functioning to use are the following:

- cost and quantitative effectiveness of destroying the enemy’s means of air attack;

- efficiency of destroying the enemy’s means of air attack;

- quantitative effectiveness of high-value asset coverage;

- quantitative effectiveness of saving the air and missile defence system.

The experience of conducting air and missile defence indicates that only through the comprehensive integration of the capabilities of surface-to-air missile forces and missile defence, aviation from various branches and services, air defence fire units from Land Forces, from other Defence Forces components, and unmanned air defence systems, can be sustained the destruction of the aerial adversary with a high effectiveness under modern conditions of warfare.

Today, Ukrainian air defence and air component commanders fully understood all proposed indicators and used them intuitively. Applying the proposed indicators to evaluate the functioning of the air and missile defence system makes it possible to define the next set of updated requirements for its development and contributes to shaping the vision of the system as it currently exists:

when the system is creating the planners need to combine indicators of quantitative and cost effectiveness;

the system must be effective in destroying the air enemy, giving priority to destroying first of all the most expensive means of air attack with the cheapest means of destruction;

to echelon fire impact on the air enemy for guaranteed destruction;

to provide a high degree of cover for high-value assets;

to save its own forces and means (elements) as much as possible.

ЙМОВІРНІСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСОВИХ РИЗИКІВ ВИРОБНИЧИХ ОПЕРАЦІЙ АВІАЦІЙНИХ ОПЕРАТОРІВ

*Ю.В. Сікірда, к.т.н., проф.; І.О. Сироїжка; А.С. Зеленський
Українська державна льотна академія*

Проаналізовано операційне середовище авіаційних операторів (пілоти, авіадиспетчери, інженери) та показано, що в умовах дефіциту часу й людського фактору навіть детерміновані алгоритми (стандартні процедури) мають змінну тривалість виконання. Для моделювання цієї варіабельності обрано β -розподіл, який коректно відображає асиметрію між оптимістичними та песимістичними оцінками тривалості. Запропоновано комбінований підхід: класичний метод PERT для визначення параметрів критичного шляху поєднано з імітаційним моделюванням методом Монте-Карло для врахування ймовірності відхилень та неполадок. Реалізація імітаційної моделі на Python автоматизувала генерацію сценаріїв виконання операцій та виявила приховані ризики затримок.

На прикладі типової наземної технічної операції (підключення допоміжного агрегату до літака) розраховано часові характеристики процесу з урахуванням можливих позаштатних ситуацій. Встановлено очікуваний середній час процедури 11,67 хв із середньоквадратичним відхиленням 1,02 хв. Методом Z-аналізу встановлено нелінійну залежність між запасом часу та ймовірністю успішного виконання операції. При стандартному ліміті 15 хв ймовірність успіху становить $\approx 99,9\%$, а при скороченні ліміту до 12 хв падає до $\approx 62,5\%$, що свідчить про неприйнятно високий ризик зриву операції за жорстких часових обмежень. Моделювання методом Монте-Карло ($N = 10000$) виявило “важкі хвости” в розподілі часу виконання операцій. Хоча середня затримка невелика, в 5% найгірших сценаріїв з’являються затримки, здатні критично вплинути на регулярність польотів. Це підтверджує необхідність переходу до ризик-орієнтованого планування в рамках системи управління безпекою польотів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО НАРОЩУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ (СИЛАМИ)

*І.О. Чернозубкін, к.т.н., доц.; А.О. Сергієнко, к.військ.н.; О.А. Потрап
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України*

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій, змін оперативних потреб і тактики застосування військ (сил), озброєння та військової техніки автоматизовані системи управління військами (силами) (АСУ) потребують постійного вдосконалення. Одним із ключових напрямів такого розвитку є нарощування функціональності АСУ, що передбачає розширення їх можливостей без порушення базової працездатності та архітектурної цілісності.

На думку авторів, доцільно виділити такі групи заходів щодо нарощування функціональності АСУ:

- модернізація наявних функціональних складових АСУ;
- упровадження нових програмно-технічних комплексів (комплексів засобів автоматизації), функціональних модулів;
- розширення математичного, інформаційного та програмного забезпечення АСУ;
- інтеграція АСУ з іншими автоматизованими (інформаційними, інформаційно-комунікаційними) системами;
- удосконалення методичного забезпечення АСУ, зокрема, розроблення нових методик, інструкцій для оперативного складу та технічного персоналу;
- підвищення кваліфікації, сертифікація оперативного складу та технічного персоналу АСУ.

Запропоновані рекомендації дозволяють кількісно обґрунтувати пріоритетність упровадження заходів на етапі життєвого циклу експлуатація (використання) та підтримання АСУ. Це дає змогу оптимізувати використання фінансових, часових і виробничо-технологічних ресурсів при плануванні розвитку систем управління військами (силами).

НАУКОВЕ СУПРОВОДЖЕННЯ ТА БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЄЮ ТА ПРОТИПОВІТРЯНОЮ ОБОРОНОЮ

О.О. Дудка

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Ефективність Повітряних Сил значною мірою залежить від наукової підтримки, впровадження та бойового застосування автоматизованих систем управління авіацією і протиповітряною обороною. Ці системи сприяють інтеграції розвідувальних, навігаційних, зв'язкових і бойових компонентів, що підвищує швидкість прийняття рішень та забезпечує точність ураження повітряних цілей.

Розвиток таких систем передбачає застосування сучасних цифрових технологій, штучного інтелекту для допомоги у прийнятті рішень, створення надійних каналів зв'язку та автоматизованої обробки великих масивів даних.

Науковий супровід і постійна модернізація цих систем забезпечують підвищення босздатності авіаційних підрозділів, ефективну координацію ресурсів і засобів, а також стабільність управління в умовах сучасних високотехнологічних конфліктів.

IMPROVED AND DEVELOPED MATHEMATICAL MODELS FOR FORMING TEST SCENARIOS FOR C++ LIBRARIES BASED ON AN AGENT WITH Q-LEARNING

M. Hulevych

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

In modern information and computer systems, C++ libraries are used as basic components of software for data processing, computer graphics, etc. During software development, test scenarios for C++ libraries are created gradually, as new Application Programming Interface functions are added and software defects are corrected.

Such libraries have broad and diverse application programming interfaces containing hundreds of functions that can be called in various combinations. Therefore, over a long period of time, large test sets accumulate during software development, in which a significant portion of the test scenarios are redundant because they duplicate their behavior. This accumulation leads to an increase in the time required to execute test sets and complicates the timely detection of software defects in computer systems. Thus, the improvement and development of mathematical models for forming test scenarios for C++ libraries based on an agent with Q-learning is relevant.

The report proposes an improved mathematical model of a greedy algorithm for generating test scenarios for C++ libraries, which takes into account the future usefulness of a test scenario in the objective function and applies the softmax rule to select an action, allowing for a high compression ratio of test scenarios while maintaining (increasing) branch coverage of the library code being tested with the original test suite. as well as developed – the formation of test scenarios for C++ libraries based on an agent with Q-learning, which describes the state of the agent taking into account the suffixes of the test scenario of different lengths, the coefficient of influence of shorter test scenario suffixes when updating the utility function and taking into account the generalized Q-score when selecting an action, which allows to increase the efficiency of agent training in a sparse state space.

IMPROVED AND DEVELOPED MATHEMATICAL MODELS OF ADAPTIVE REQUEST PROCESSING FOR THE SIDE CAR COMPONENT IN DISTRIBUTED MICROSERVICE SYSTEMS

S. Nosko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Currently, modern distributed microservice systems are actively being implemented in corporate environments. Microservice architectures require effective data flow management mechanisms to ensure stable operation under high and unstable loads. Sidecar components, located next to each microservice, play a key role in processing HTTP requests. However, they face problems of RAM overload when there is a massive influx of parallel requests with large amounts of data.

Thus, improving and developing known mathematical models of adaptive query processing for the sidecar component in distributed microservice systems is a relevant scientific task.

The report analyzes adaptive query processing for sidecar components in distributed microservice systems. It improves the mathematical model of adaptive caching of sidecar component data, which differs from the known model in that it takes into account the tenant activity parameter in the priority control formula, thereby increasing the hit rate for multi-tenant environments.

Mathematical models of an adaptive routing graph for processing sidecar component requests based on Dijkstra's algorithm with dynamic edge weights are proposed, which takes into account the state of the network infrastructure, the load on the microservice of a distributed microservice system, and multi-tenancy requirements, allowing for the adaptive selection of the optimal route for a request to a microservice of a distributed microservice system in real time. as well as adapted data flow management in the sidecar component, which dynamically scales their queue and resumes request processing depending on the current load of the sidecar component, allowing for faster request processing in unstable conditions.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ МЕРЕЖЕЦЕНТРИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В СИТУАЦІЙНОМУ ЦЕНТРІ ЩОДО БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

*С.М. Чумаченко, д.т.н., с.н.с.; В.О. Перескоков; М.М. Логвиненко
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Сучасні повітряні операції характеризуються високою динамічністю та дефіцитом часу на прийняття рішень. Перехід від ієрархічних структур до мережецентричних дозволяє скоротити цикл підтримки прийняття рішення (OODA loop).

Ситуаційний центр (СЦ) виступає ядром, що інтегрує потоки даних від розвідки, супутників та БПЛА для ефективного планування авіаційних засобів ураження (АЗУ). Для ефективного застосування авіації в СЦ мають бути реалізовані такі принципи:

1. Інформаційна перевага: збір даних з усіх доступних джерел у реальному часі.

2. Спільна обізнаність (Shared Situational Awareness): кожен учасник мережі (від оператора СЦ до пілота в кабіні) бачить ідентичну оперативну картину.

3. Самосинхронізація: здатність підрозділів авіації діяти автономно на основі єдиного задуму командування без потреби в постійних детальних наказах.

Для управління авіаційними засобами ураження через СЦ критично важливими є: інтеграція протоколів передачі даних з використанням стандартів типу Link 16 для обміну цілевказуваннями; автоматизація обробки даних з використанням алгоритмів ШІ для пріоритизації цілей та вибору оптимального типу АЗУ (ракети, керовані авіабомби тощо); хмарні технології для розподіленого зберігання даних, що забезпечує живучість системи управління при ураженні окремих вузлів.

Завдяки мережецентричності досягається:

1) дистанційне цілевказування (Third-party targeting) що надає можливість запуску ракети одним літаком, тоді як наведення здійснюється іншим бортом або наземним СЦ;

2) гнучкість перенацілювання надає можливість змінити польотне завдання для АЗУ безпосередньо в повітрі при зміні пріоритетності цілей.

Висновки: впровадження мережецентричних принципів у СЦ перетворює авіацію з набору окремих одиниць на гнучку бойову систему. Головним результатом цього є скорочення часу реакції та підвищення точності ударів при зниженні ризиків для особового складу. Перспективним напрямком є подальша інтеграція в мережу безпілотних систем (Loyal Wingman) під управлінням СЦ.

КОНТРОЛЕПРИДАТНІСТЬ ЯК СКЛADOVA СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

*О.В. Кушніренко; Д.В. Сиворакиа; Д.Т. Шевченко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Сучасна військова техніка функціонує в умовах підвищених навантажень і складної структурної організації, що зумовлює необхідність комплексного забезпечення її надійності. Важливою складовою цієї системи є контролепридатність – здатність виробу до своєчасного виявлення та локалізації відмов із використанням установлених засобів контролю й діагностування.

Відповідно до стандартів ДСТУ у сфері надійності (ДСТУ 2860-94, ДСТУ 2863-94, ДСТУ 3278-95), надійність охоплює безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збережуваність. Контролепридатність безпосередньо впливає на ремонтпридатність і коефіцієнт технічної готовності, оскільки скорочує час виявлення та усунення несправностей.

Особливої актуальності ця властивість набуває під час модернізації літальних апаратів та їх оснащення. Інтеграція нових авіонічних систем, засобів зв'язку, навігації, прицільно-навігаційних комплексів, бортового озброєння або розвідувальних модулів змінює функціональну архітектуру та структуру можливих відмов. За таких умов необхідно забезпечити сумісність оновленого оснащення із системами контролю, достатність діагностичних параметрів і можливість оперативної локалізації несправностей у базових та польових умовах.

Отже, урахування вимог до контролепридатності під час модернізації літальних апаратів і їх оснащення є необхідною передумовою підтримання надійності, технічної готовності та ефективності застосування військової техніки.

СЕКЦІЯ 3

ПІДГОТОВКА, БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) АВІАЦІЇ, БОЙОВЕ МАНЕВРУВАННЯ ТА ЛЬОТНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Керівники секції: полковник Дяків О.Ю.;
д.п.н. доц. Невзоров Р.В.
Секретар секції: майор Невойса А.В.

FEATURES OF THE COMBAT USE OF THE AIR AND SPACE FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*R. Nevzorov¹, Doctor of Pedagogic Sciences, Associate Professor; O. Diakiv²
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;
²Command of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*

The Russian Aerospace Forces (RAF) aviation has not been able to achieve air superiority, but this trend does not mean that the RAF has abandoned this task. Aviation may have a temporary advantage in the air in certain areas where it is possible to quickly deploy air defense systems: Su-30, Su-35, S-400.

There's no real-life use of aviation for stuff like air assault operations or coordinated missile strikes by tactical and army aviation. Tactical aviation is limited to single, group, and concentrated air strikes, including in cooperation with UAV reconnaissance aircraft that provide target designation. No classic air assault operations are being conducted, and there are no signs of active and coordinated operational-tactical and army aviation actions in conjunction with missile strikes; the practical implementation of such forms of aviation use has encountered problems of management, coordination, and planning.

However, the following components of air offensive operations are being implemented: destruction of air defense systems; destruction of critical infrastructure elements throughout the entire depth of the operational structure and in the deep rear; air defense by fighter aviation forces to defend (cover) their troops. During operational-tactical aviation operations, concentrated suppression of air defense systems is carried out using high-intensity active jamming from two directions simultaneously; interference is mainly carried out from the combat formations of strike groups, which mainly perform bombing (launching guided missiles) at maximum distances from high altitudes without entering (entering for a minimum time) the air defense zone; aircraft operations are controlled by A-50U aircraft; reconnaissance is carried out by Il-22 aircraft; jamming is carried out by Il-22PP aircraft and Mi-8 helicopters; follow-up reconnaissance, target designation, and strike results monitoring are carried out by UAVs.

The actions of Su-30, Su-34, and Su-35 aircraft groups are conditionally divided into the following main options: after takeoff, patrolling along the line of combat engagement; after receiving target designation, performing the assigned task; the task is assigned to the crews at the base airfield, and execution begins after takeoff. Strike groups are accompanied by cover (demonstration) groups, which operate at specified distances from the main group. During air strikes, two waves of strike aircraft groups can be organized, operating at time intervals. Ambush actions in the air can also be used: one fighter aircraft takes up an ambush position in the air at low altitude (using the terrain for cover). The demonstration group continues to fly at medium altitudes.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DEEP STRIKE UNMANNED AIRCRAFT

T. Potiahach¹; O. Odosii¹; S. Puzhai-Chereda²; O. Korobetskyi²

¹Aviation Command Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Since the beginning of the full-scale invasion of the Russian Federation into the territory of Ukraine, the defense complex for effective conduct of armed struggle has been transformed and becomes flexible. Given the superiority of the Russian Federation in the size of the territory, population and military resources, the main goal of armed struggle is to inflict maximum damage on the enemy while minimizing our own.

One way to achieve this goal is to develop and create Deep Strike unmanned aerial vehicles (UAVs), designed to strike targets at distances of over 1,000–2,000 km deep behind enemy lines. The direction of development of Deep Strike UAVs is currently key in the strategy of asymmetric warfare.

Transferring combat operations hundreds and thousands of kilometers behind enemy lines to systematically destroy their military and economic potential.

Taking into account the experience, it is possible to conclude that the use of Deep Strike UAVs transforms UAVs from an auxiliary reconnaissance tool into an independent type of strategic weapon. This allows countries without a powerful fleet or expensive aviation to project power over long distances and influence the enemy's policy through its economy.

THE USE OF TRANSPORT AIRCRAFT TO SUPPORT THE OPERATION OF TEMPORARY LANDING SITES

A. Sushko; O. Leontiev, Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. Vovk, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; A. Nevoisa

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Amidst full-scale aggression, where stationary airfields are primary targets, the strategy of dispersed basing takes on strategic significance. The ability of aviation to utilize highway strips (HWS) and unpaved sites is a critical factor for maintaining combat readiness, ensuring unit mobility, and providing rapid response to threats.

The employment of temporary landing sites and public roadways by tactical aviation for conducting air strikes and relocating assets to evade enemy fire imposes rigorous demands. These apply not only to pilot proficiency but also to the capacity of ground services to provide a full maintenance cycle – from refueling to rearming – at austere locations. This creates a significant burden on mobile logistics and command-and-control systems, which currently serves as the primary limiting factor for such operations. In this model, transport aviation becomes a critical link, serving as a “mobile warehouse” for the continuous supply of resources.

Modern US and NATO aviation doctrine has evolved from basic logistics toward the “Maneuver” concept, where transport aircraft are viewed as combat units capable of operating under active opposition. Prioritizing Contingency Locations on damaged runways, highways, or unpaved surfaces over vulnerable large airbases allows for rapid force deployment and medical evacuation via the Global Air Mobility Support System (GAMSS). This approach is integrated into the strategies of the United Kingdom, which adapts the A400M for operations on unprepared

strips, and France (the “Base 2025” plan), which envisions dispersing aviation to civilian facilities and using highways as operational maintenance points for Rafale fighters.

Consequently, the success of the overarching concept of utilizing temporary landing sites and highways by tactical aviation depends on the modernization of transport aircraft. This necessitates substantial improvements to their flight performance and takeoff-and-landing characteristics for reliable operation on restricted and unprepared surfaces, specifically: increasing flight range and endurance; reducing takeoff and landing distances; and positioning engine nacelles at a distance that prevents Foreign Object Debris (FOD) ingestion into the air intakes.

To address these challenges, this study proposes examining the configuration of an An-72-type transport aircraft with over-wing engine nacelle placement. The report analyzes the advantages and disadvantages of such a configuration.

USE OF HELICOPTER INDUCED FLOW TO COUNTER UAVs

S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

S. Pchelnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Grytsyshyn, Candidate of Technical Sciences; A. Suchko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The abstract presents the concept of using induced flow and the accompanying wake of a helicopter rotor as a means of neutralising unmanned aerial vehicles (UAVs). The physical parameters of the airflow are analyzed, the stability limits of small UAVs are determined, and tactical maneuvers for aircraft self-defense in close-range engagements are proposed. The study demonstrates that aerodynamic interaction can serve as an effective method in situations of ammunition depletion or during close combat with small UAVs.

The primary influencing factor is the dynamic pressure of the airflow generated by the main rotor. The speed of the induced flow beneath the helicopter is calculated based on impulse theory. For a helicopter with a mass of 11 tons, the flow speed directly under the rotor can reach significant levels (taking into account hovering and maneuvering conditions). For a small UAV, such a flow generates an aerodynamic load that is 2–3 times greater than its own lift force, resulting in loss of stability.

A UAV loses controllability when the external aerodynamic moment exceeds the capacity of its stabilisation system, making it impossible to maintain a horizontal orientation. The effective engagement zone for a medium helicopter extends approximately 30–40 m vertically, depending on altitude and flight mode.

The report considers the following tactical application scenarios:

1. Countering reconnaissance UAVs (“Pressure”).

The pilot positions the helicopter directly above the target, creating an “air cushion” effect that causes the UAV to descend uncontrollably or collide with an obstacle.

2. Emergency action against FPV kamikaze UAVs:

– “Air Wall.” A rapid increase in the overall pitch of the main rotor generates an instantaneous rise in dynamic pressure, deflecting the UAV’s trajectory;

– “Tail Strike.” The rotation of the fuselage allows the use of the tail rotor jet (with a speed of up to 70 m/s) to deflect the target away in the final stage of the attack.

The method of aerodynamic neutralisation of UAVs is effective; however, it involves certain risks, including:

- the possibility of UAV debris entering the helicopter engine;
- high pilot skill requirements during low-altitude operations.

Furthermore, implementing the aerodynamic neutralisation method requires automated target detection and recognition systems to reduce reaction time to approximately 1 second.

METHOD FOR DETERMINING THE REQUIRED NUMBER OF AIRCRAFT WEAPONS BASED ON THE ENERGY APPROACH

*S. Yarosh, Doctor of Military Sciences, Professor; P. Hrytsenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A method for determining the required number of aircraft weapons based on an energy approach with consideration of application accuracy has been developed.

The substance of substantiating the required weapon load using this method includes: selection of targets; determination of the required level of target damage; calculation of the required quantity of different types of aircraft weapons to accomplish the target engagement mission with a specified degree of damage; determination of the number of aircraft sorties required to deliver the calculated quantity of weapons to achieve the specified level of target damage (for different weapon loadout configurations).

The proposed method expands the capabilities of comparative assessment of heterogeneous aircraft weapons by accounting for the physical mechanisms of target damage, which are determined by the realization of explosive, kinetic, and penetration effects of aircraft munitions on the target.

Application of the energy approach provides a quantitative determination of the required number of aircraft weapons based on a unified energy scale and enables correct comparison of aircraft munitions of different classes according to their energy potential.

Consideration of accuracy characteristics through the probability of damage ensures the transition from potential to effective damage energy and increases the adequacy of the proposed method.

Accounting for penetration effects extends the applicability of the method to hardened targets, whose engagement is possible only if engineering or armored protective structures are overcome.

Further research should be focused on calculating the required number of aircraft weapons for engaging various types of targets using the developed method.

COMBAT TURN PERFORMANCE PARAMETERS: A DIGITAL SIMULATION STUDY

*S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor; M. Shkurman
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern close air combat, tactical advantage is dictated by the pilot's ability to minimize the space-time metrics of maneuvering. The combat turn is a fundamental element of spatial maneuvering; however, classical execution methodologies often neglect the potential of dynamic powerplant management to alter the aircraft's

spatial orientation. Selecting rational performance parameters for this maneuver via throttle adjustments is a critical task for securing tactical superiority.

Based around the model of F-16C fighter, the interaction of aerodynamic forces and moments during the combat turn was analyzed. The study examined the impact of thrust manipulation on reducing the trajectory radius and developed recommendations for rational energy management at the maneuver's extremum.

Through energy maneuverability (EM) analysis and verification within the DCS World environment, it was established that a controlled energy deficit at the apex is a critical factor for turn optimization. It was proven that a momentary reduction of thrust to "Idle" immediately prior to reaching the maneuver's midpoint allows for overcoming the gyroscopic "stiffness" of the F110 engine rotor. This minimizes the adverse effects of precession and enables gravity to more effectively initiate the nose-down pitch rate.

This approach yields a trajectory radius reduction of 15–18 % compared to execution at constant afterburner (AB) thrust. Furthermore, the effects of precession were identified: due to the clockwise (CW) rotation of the rotor, a left-hand combat turn is characterized by a higher instantaneous pitch rate.

A rational algorithm involves: maximum afterburner to compensate for induced drag at high angles of attack (AoA), throttling back during the second half of the spatial maneuver to achieve a sharp "hook" in the trajectory, re-engaging afterburner to stabilize airflow and recover energy.

A promising direction for further research is the analysis of Thrust Vector Control (TVC) in rationalizing energy-intensive spatial maneuvers in close combat.

DESIGN OF A LOW-TURBULENCE WIND TUNNEL WITH A CENTRIFUGAL FAN

S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Kozak; M. Shkurman; H. Brovdi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern experimental research in aerodynamics, acoustics, heat transfer, biomechanics, and laminar-to-turbulent transition requires a flow turbulence intensity (Tu) of less than 0.20 %. Traditional closed-circuit low-turbulence wind tunnels provide high flow quality ($Tu \approx 0.015 - 0.08$ %), but they are characterized by large dimensions, high costs, and manufacturing complexity. An open-circuit configuration with a centrifugal fan housed in a separate room serves as a compromise solution, allowing for $Tu \approx 0.08 - 0.20$ % at significantly lower costs.

The high-pressure centrifugal fan is located in an isolated adjacent room. Air is supplied to the test section through a long duct with a large hydraulic diameter. This spatial separation ensures substantial decay of vortex structures, pressure pulsations, and velocity fluctuations, while also significantly reducing the transmission of vibrations and acoustic noise from the rotor and electric drive to the wind tunnel's working area.

The developed design offers the following advantages:

- Achievable turbulence intensity: $Tu \approx 0.08 - 0.20$ % at flow velocities of 30–50 m/s;
- Low acoustic and vibrational impact on the test section;

- Capability to generate flow with specified spectral, scale, and energy characteristics using modular controlled turbulization systems;
- Significantly lower cost and smaller dimensions compared to classic closed-circuit low-turbulence tunnels;
- High layout flexibility due to the placement of the fan in a separate room.

The proposed scheme provides an optimal balance between flow quality, noise levels, and implementation costs, making it a promising solution for medium-scale laboratories requiring $Tu < 0.20$ % under budget constraints.

ANALYSIS OF AERODYNAMIC CONFIGURATIONS OF CURRENT AND PERSPECTIVE INTERCEPTOR UAVs

*S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor; O. Miroshnichenko;
V. Kozak; M. Shkurman*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aerial threats are characterized by high speeds, intensive maneuvering, and mass employment. This places high demands on interceptors regarding maximum speed, maneuverability, and energy efficiency. Traditional designs featuring large wings and mechanical control surfaces no longer face these challenges due to inertia and actuator delays. Hybrid and innovative configurations that combine aerodynamics with active flow control and adaptive technologies are becoming increasingly promising.

One of the most effective solutions for head-on and cross-course interceptions remains the canard configuration. It ensures a rapid response to target maneuvers and generates additional lift at the front, allowing for a reduction in the main wing size and a decrease in overall drag. This layout is intended for high-speed kinetic-kill interceptor UAVs.

The joined-wing (closed-wing) design demonstrates significant potential. By connecting the tips of the upper and lower planes, this structure practically eliminates wingtip vortices, resulting in a substantial reduction in induced drag and enhanced aerodynamic efficiency. The high structural rigidity is ideal for kinetic effectors or net-deployment modules.

The cruciform (X-wing) configuration, featuring four symmetrical planes, provides identical controllability in all directions, allowing for hovering, rapid braking, and instantaneous acceleration. This layout represents an evolution from FPV drones into missiles. When combined with thrust vector control (TVC), this scheme is optimal for dynamic close-quarters combat against highly maneuverable targets.

An integral (blended wing body) configuration, where the fuselage transitions smoothly into the lifting surface, utilizes the entire body volume to generate lift. This increases mass-specific energy capacity and reduces radar cross-section (RCS). It is most effective for long-endurance patrolling and covert approaches.

The future development of interceptor UAV aerodynamic configurations lies in hybrid solutions. The highest potential is shown by the cruciform layout equipped with thrust vectoring and active flow control; it provides maximum adaptability in the real-world combat conditions of modern warfare. Current leading trends include:

- adaptive wing geometry based on deformable materials.
- ducted-fan engines to increase efficiency at low speeds and protect the blades.
- active boundary layer control using micro-jet systems, which eliminates the need for mechanical control surfaces and increases the aircraft's survivability.

ADVANTAGES OF USING FLIGHT SIMULATORS FOR THE INVESTIGATION OF LIMITING AIRCRAFT FLIGHT REGIMES

*S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Oliinyk; A. Haichev; S. Papushak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The application of highly adaptive modeling complexes (simulators) opens opportunities for the systematic study of supercritical states, which are strictly limited or prohibited under real flight conditions.

The primary factors justifying the use of a digital environment for analyzing critical regimes include:

- Ensured Research Safety: The capability to model aerodynamic processes at supercritical angles of attack, asymmetric thrust conditions, or control system failures.

- High-Precision Flight Data Recording: Continuous monitoring of an expanded array of parameters (angles of attack, sideslip, control surface deflections, angular velocities) for subsequent engineering analysis.

- Statistical Reliability and Verification: The ability to repeatedly reproduce identical experimental scenarios to obtain a representative data sample and eliminate random errors.

- Within the framework of the proposed approach, a transition is realized from the empirical description of aerobatic maneuvers to a deterministic analysis of their structure.

The use of simulation tools allows for the quantitative determination of:

- The justification of minimum safe flight speeds depending on the aircraft configuration.

- The development and practical verification of pilot emergency protocols based on objective telemetry data rather than subjective sensations.

The simulation results serve as the foundation for developing piloting recommendations, significantly minimizing the impact of the human factor. Thus, the modern aviation simulator is transformed from a training tool into a powerful research platform, ensuring a qualitatively new level of flight safety and combat training effectiveness.

CONCEPT OF A NEW-GENERATION AUTONOMOUS INTERCEPTOR WITH AN INTELLIGENT AERODYNAMIC CONTROL SYSTEM

*O. Miroshnichenko; S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
M. Shkurman; M. Kolisnik
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern aerial threats – highly maneuverable UAVs, drone swarms, and hypersonic targets – exceed the capabilities of classical interception systems due to the inertia of wing mechanization and actuator delays (10–50 ms), which is critical during the terminal guidance phase at speeds exceeding 300 km/h.

The thesis considers the concept of a new-generation autonomous interceptor, based on the synergy of two technological directions: deep reinforcement learning (such as Deep Reinforcement Learning/PPO) and active micro-aerodynamic boundary layer control. Abandoning traditional control surfaces in

favor of retractable micro-elements allows for a significant reduction in control system inertia and a shorter response time.

The intelligent component is based on the Actor-Critic architecture, trained in a multi-agent environment. Unlike classical guidance laws, the neural network is capable of generating aperiodic maneuvers, making the interceptor's trajectory unpredictable for the target's electronic warfare (EW) systems and autopilots. The reward function is built on maximizing the relative closing velocity while simultaneously minimizing energy consumption for micro-corrections. To provide real-time feedback, the "smart surface" concept is applied – a distributed network of high-precision MEMS pressure sensors, supplemented by high-frequency gyroscopes (32–128 kHz) and thermally stabilized inertial units. Such a sensor system allows for a holistic picture of the aerodynamic flow even at load factors up to 20 g.

Expected advantages of the concept include: a significant reduction in response time compared to traditional systems, the ability to perform maneuvers with high load factors, increased resistance to EW due to unpredictable behavior, and reduced energy consumption for trajectory correction.

The integration of artificial intelligence with micro-aerodynamic actuators opens the way for creating adaptive, almost biomimetic interceptors capable of effectively countering the latest aerial threats for the decades to come.

ASSESSMENT OF THE CAPABILITIES OF THE ARMY AVIATION OF THE ARMY AS A BASIS FOR FORECASTING THE UPGRADE OF THE HELICOPTER EQUIPMENT FLEET

V. Shmakov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

P. Onypchenko, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor;

O. Kolodiazhnyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

D. Lytvynchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the main tasks of defense planning is to determine the list of necessary capabilities of the defense forces components that will meet their needs (quantitative and qualitative indicators of weapons and military equipment) taking into account the state's resource capabilities and the formation of the need for their resource provision. Therefore, assessments of the capabilities of the defense forces components are carried out constantly. During the assessment of capabilities, tasks, conditions and standards necessary for their achievement are determined, the shortcomings associated with them are determined, and decisions are developed to eliminate them in the specified capabilities or reduce their impact.

The introduction of the principle of necessary sufficiency into military construction changed the arms buildup scheme to a balanced scheme for solving the problems of technical equipment of troops according to the "efficiency-cost" criterion with legally limited defense costs. In turn, this necessitated the revision of the systems of criterion assessments when determining concepts and directions for the development of helicopters and filled the relevant systematic studies with new content and the level of development of the methodology for their conduct.

An analysis of the current state of the helicopter fleet of the Army Aviation will allow us to assess changes in their capabilities in the depth of medium-term defense planning and obtain initial data for predicting the development of the capabilities of the Army Aviation based on the renewal of its helicopter fleet.

THE USE OF MODERN SIMULATOR TECHNOLOGIES IN THE TRAINING SYSTEM OF TRANSPORT AVIATION CREWS AS AN ELEMENT OF AIRSPACE PROTECTION

*O. Rohozhynskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Kashko, O. Kucheriavyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The quality of transport aviation crew training is a key factor in ensuring effective airspace protection under rapidly changing operational conditions and high information load.

The aim of this study is to substantiate the integration of a transport aviation simulator into the training process in order to develop crew readiness for operations in complex conditions. The objectives include analyzing the training potential of the simulator, developing training scenarios, and establishing criteria for evaluating training effectiveness.

The transport aviation simulator enables the modeling of flights at any airfield worldwide with realistic terrain, navigation support, and weather conditions. Stepwise scenario complexity and scenario-based training allow crews to practice actions during system failures, limited visibility, and adverse meteorological conditions, enhancing decision-making speed and crew coordination.

The use of satellite navigation (GNSS) in simulators ensures high-precision flight modeling with integration into onboard flight management systems in accordance with modern air navigation standards. This makes it possible to develop crew skills in operating high-accuracy positioning systems within a digitalized airspace environment.

The implementation of simulator-based training reduces adaptation time to real flights, decreases common errors, and increases the professional readiness of crews. The scientific novelty lies in a comprehensive approach to the use of a transport aviation simulator as a factor in improving training efficiency and strengthening airspace protection.

FEATURES OF THE FIRST TRAINING FLIGHTS OF CADET PILOTS

*D. Sinenko, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor;
O. Vovk, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
V. Lenets; A. Sushko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the conditions of military aggression of the Russian Federation against our state, the training of future military pilots acquires special importance. The main result of this training is the mastery of training aircraft by graduates, that is, the performance of training flights.

Training flights are a crucial stage in the formation of a cadet as a pilot. The first training flight of a cadet, which is performed independently, is usually called an independent flight.

Training flights develop initiative, ingenuity, self-confidence, resourcefulness and courage in cadets. The quality of the first training flights of a cadet largely determines his further success in mastering flight practice and improving his flying skills.

The release of a cadet on his first independent flight and the management of his further training are very responsible moments in the work of an instructor.

The mistakes of a cadet on his first training flight cannot be reacted to with harsh remarks. When analyzing the flight, the instructor must begin the analysis of the flight with the positive actions of the cadet, and then give a detailed description of the deviations and errors made, typical of other pilots, thereby creating a favorable impression of the future pilot about his first independent flight.

If they have made gross deviations or violations that threaten the safety of flights, further flights are prohibited until the causes are identified and eliminated.

During independent flights, it is necessary to constantly monitor the cadet's preparation for the upcoming flight task, increase the demands on the performance of subsequent flights, comprehensively analyze their quality, and take timely measures to prevent gross errors in piloting techniques.

Cadets are allowed to fly on all aircraft of the same type in the brigade, with the exception of the first two or three training flights in a circle, which are performed on the same aircraft.

When planning flights, it is necessary to take into account the presence of aircraft of different series with different layouts of cockpit equipment, study these features during the cadet's preparation for flights, and conduct additional training in the cockpit.

EVOLUTION OF UNMANNED AIRCRAFT DURING THE ARMED AGGRESSION OF THE RUSSIAN FEDERATION AGAINST UKRAINE

P. Onypchenko¹, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor;

O. Kazimirov², Candidate of Military Sciences, Associate Professor;

O. Gromyko¹, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Academy of the National Guard of Ukraine

Russia's armed aggression against Ukraine has demonstrated the strategic importance of UAVs in modern warfare. Their cost-effectiveness, operational flexibility and survivability make them indispensable in combat operations.

In the Russian-Ukrainian war, a UAV model with a built-in first-person view system (FPV drone) was used for the first time. An FPV drone is a UAV that implements high maneuverability, low video signal latency and maximum control sensitivity.

A fiber-optic UAV was the next step in conducting combat operations. Such a UAV is equipped with a fiber-optic coil that unwinds during flight. It is through this cable that all data is transmitted between the UAV and the ground control point (operator): control commands, telemetry data and video signal from the camera.

An important stage in the development of UAVs was the introduction of artificial intelligence (AI). UAVs with artificial intelligence allow AI to transfer important tasks from the operator.

If artificial intelligence is a general technology that imitates human intelligence, then machine vision is a whole complex of methods, among which AI is present. We can say that machine vision completely imitates the functions of human vision and the part of the brain responsible for processing visual information.

Work on improving existing UAVs continues. Based on AI and machine vision technologies, more effective tactical methods and techniques for using UAVs in military affairs are being developed. One of the innovations is a swarm of UAVs (drones).

THE IMPACT OF ICING ON HELICOPTER FLIGHT SAFETY

S. Pchelnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. Kalkamanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Shtanko; O. Zasimovych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The climatic conditions for helicopter operations in Ukraine create a significant risk of in-flight icing, making this issue an important area of research, particularly in view of the growing number and diversity of aircraft currently in operation. Icing remains one of the most serious threats to flight safety.

This problem is especially critical for helicopters, as the blades of the main rotor and tail rotor rotate at high speeds and are therefore susceptible to icing under certain atmospheric conditions. Ice accretion alters blade geometry, increases aerodynamic drag, reduces lift, and may result in loss of stability and controllability.

Furthermore, ice formation in the air intake and on compressor blades can cause mechanical damage, thrust reduction, compressor surge, and unstable engine operation.

A key parameter characterising ice formation on lifting surfaces is the ice accretion rate, measured in millimetres per minute at the leading edge and classified as follows: light icing (up to 0.5 mm/min), moderate icing (0.5–1.0 mm/min), and severe icing (more than 1.0 mm/min).

The factors influencing icing include: meteorological conditions (liquid water content in clouds, droplet size, and ambient temperature); flight regime parameters (airspeed, rotational speed of the main and tail rotor blades, and airfoil thickness); thermal effects (kinetic heating at high speeds may reduce icing; however, helicopters typically operate in regimes where this effect is negligible); types of ice accretion (clear ice and rime ice, differing in density, are considered the most hazardous because they significantly distort the aerodynamic profile); flow characteristics around lifting surfaces (ice accumulates more rapidly on main and tail rotor blades than on fixed-wing surfaces, stabilizers, or fuselage elements due to higher relative velocities); anti-icing system condition (non-uniform heating may leave the leading edge free of ice while other areas accumulate ice, degrading aerodynamic performance and causing vibration or thrust reduction); and operational factors (flight in clouds or precipitation, including freezing rain, drizzle, and wet snow; ice accumulation on the windshield; and noticeable decreases in indicated airspeed).

Forecasting and preventing icing conditions is particularly important for light helicopters equipped with limited ice protection systems. Analysis of meteorological data indicates a higher probability of icing in frontal cloud systems, especially during autumn and winter. This underscores the need to investigate existing anti-icing and de-icing methods under various meteorological conditions in Ukraine and to evaluate their effectiveness.

Therefore, understanding the mechanisms of ice formation, its intensity, and the influencing factors is essential for predicting hazardous conditions and ensuring the safe operation of helicopters in adverse weather conditions.

A MODEL OF HELICOPTER CREW COGNITIVE LOAD UNDER CONDITIONS OF DETECTING THREATS FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES

*A. Krasnorutsky, Ph.D.; S. Nemynushchyi; O. Okhotenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The realities of the Russian-Ukrainian war are evidenced by the rapid development of unmanned aerial vehicles, which radically changed the nature of modern hostilities. The use of unmanned platforms from different classes allows the enemy to effectively conduct reconnaissance, adjust fire, perform strikes and exert informational and psychological impact on the enemy. The use of kinetic deception technologies becomes especially dangerous – the creation of false targets that divert air defence resources, cause premature use of weapons and reduce the combat effectiveness of helicopter crews to destroy low-speed air targets. The growing role of expendable UAVs and Swarm AI technologies in the realisation of kinetic deception allows the enemy to simulate massive raids, create multiple radar reflections or light signals, and deliberately overload the means of observation and decision-making of helicopter crews. Helicopter crews operating at low altitudes perform under conditions of intense fire and information impact. That is why, in conditions of critically limited response time, helicopter crews are forced to act in a state of high uncertainty and increased cognitive load. This causes an urgent need to develop a toolkit that will simulate and predict the threats of kinetic feints, as well as formalise the optimal tactical algorithms of the crew's response to it.

An alternative model of the cognitive load of the helicopter crew in the conditions of detection of threats from unmanned aerial vehicles is provided. The model allows to estimate the reaction time, the probability of errors and the degree of reduction in the effectiveness of the combat mission by the helicopter crew. Simulating probabilistic classifications can reduce the overall reaction time of the helicopter crew by 30–40 % and halve the number of incorrect decisions. This has positive potential to increase the survivability of crews in massive attacks.

MINIMUM EQUIPMENT LIST AS A TOOL FOR ENHANCING MILITARY AVIATION OPERATIONAL READINESS IN CONTEMPORARY WARFARE

*V. Grytsyshyn, Ph.D.; O. Kruts; O. Lytvyn; O. Melnykov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern conditions of high-intensity warfare, helicopter aviation of the Armed Forces of Ukraine performs critical missions including troop mobility, medical evacuation, logistics support, and fire support. The intensive employment of Mi-8 and Mi-24 helicopters significantly increases the probability of system malfunctions and necessitates the transition to flexible, risk-based operational approaches. The concept of the Minimum Equipment List (MEL), widely applied on Western platforms such as the UH-60 Black Hawk, enables standardized and risk-informed decision-making regarding aircraft airworthiness in the presence of partial equipment failures, thereby enhancing combat readiness, operational resilience, and flight safety.

A comparative analysis of approaches to the operation for Mi-8 and Mi-24 helicopters and Western platforms demonstrates the feasibility of combining the

flexibility of the Soviet operational system with formalized NATO procedures. The study considers NATO standards, particularly STANAG 4671 concerning airworthiness requirements, as well as modern approaches to flight safety management, risk assessment, and aviation system survivability.

An adapted MEL model for combat conditions, an implementation algorithm for the Armed Forces of Ukraine, and directions for integration into the training of flight personnel at Kharkiv National Air Force University are proposed. Special attention is paid to the use of training complexes, digital failure analysis systems, and the formation of a unified operational database. The implementation of these measures will contribute to enhancing aviation effectiveness, optimizing resources, ensuring interoperability with partners, developing a modern risk management system, and forming a new flight safety culture in the state aviation of Ukraine.

WAYS TO IMPROVE THE PROFESSIONAL TRAINING OF FLIGHT MANAGEMENT PERSONNEL

I. Mazhara, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Given the importance of the human factor in flight safety during air traffic control and the special role of decision-making processes in the professional activities of flight management personnel, a model has been developed that takes into account factors of uncertainty, cognitive complexity, time constraints, and stress in the process of resolving air traffic situations.

The report defines the nature of information used in air traffic management systems. It considers the concept and indicates ways to ensure working conditions for flight management personnel in active operator mode, as well as methodological recommendations for organizing their professional training, taking into account the specified decision-making factors.

During professional training, training with trainees can be effective only if the basic principle of the training methodology “from simple to complex” is followed.

When modeling an exercise, at the first stage it can be carried out in a simplified mode, practicing some specific procedure or situation, for example, a special case in flight (engine or radio failure) or a potentially conflict situation. For cadets, this stage can be held in the classroom in the form of role-playing and role-playing games.

Gradually, new factors should be added to the scenarios, complicating the task, reducing the time for its solution, and from the third or fourth stage, the stress factor should be simulated by increasing the background information load.

The transition to the next stage of training should be carried out only when, according to pre-established criteria, it can be concluded that the level planned for the previous stage has been achieved.

Special attention should be paid to ensuring the gradual increase in stress. The transition from classroom training, where stress is low, to a simulator in itself increases stress, as it provides greater realism of the exercises. At the same time, in the final stages, it is important to determine the level of strong excitement and the moment of its transition to panic in order to record it and use it as a control for subsequent training cycles.

Thus, the activities of flight management personnel are viewed as a continuous chain of decisions that are made and implemented in explicit and implicit forms. Incorrect decisions are the main threat to flight safety, but insufficient attention is

paid to their systematic study. The issue of clearly defining the optimal workload for aviation operators in the context of increasing automation of aircraft control procedures in flight and air traffic control processes also remains relevant. This workload must take into account the characteristics and factors of uncertainty, cognitive complexity, and time constraints in the professional activities of pilots and flight management personnel.

INTELLIGENT DECISION-MAKING SYSTEM FOR ADAPTIVE ALGORITHM SELECTION IN SAFE ROUTE PLANNING THROUGH UXO-CONTAMINATED TERRITORIES

*I. Kliushnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Oliinyk¹; M. Kasatkin²*

¹National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Unexploded ordnance (UXO) are a global problem and a constant threat due to the fact that they can remain active and unpredictable and potentially explosive even decades after the end of hostilities in liberated territories.

The purpose of this work is to develop methods and means of augmented reality and digital twins for intelligent decision-making system for adaptive algorithm selection in safe route planning through UXO-contaminated territories.

There is already a solution using augmented reality for searching and manual demining in the form of a smartphone application. The existing solution is called UXO-AID and is an application for mobile devices, which is able to determine exactly what type of UXO the operator sees based on the existing database of objects through the smartphone camera.

After the analysis, it was established that a solution is needed that can provide intelligent algorithm selection using multiple optimization criteria. The application will process data that will be provided by the UXO locating system in the form of a database from a drone or using Computer Vision. The input data are as follows: the location of the object (GPS coordinates and depth level, if available); predicted type of UXO. The system processes this information and provides automatic selection of the most appropriate pathfinding strategy based on multi-criteria evaluation. The application also has an augmented reality mode, where the user can see information about UXO in real time through the camera.

Thus, such a system can provide information about UXO quickly and conveniently.

METHODS FOR ENSURING CYBERSECURITY OF THE PACS ADD-ON "DOSE ADVISOR" DURING ANALYSIS OF DICOM/RDSR DATA

*I. Riabko¹; I. Kliushnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Kolmykov², Candidate of Technical Sciences*

¹National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Picture Archiving and Communication System (PACS) infrastructures and channels for sharing medical images and metadata based on the Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) standard process personal medical data and support critical clinical processes. Compromising "confidentiality – integrity –

availability” can have both legal and clinical consequences. An additional attack surface is formed through the integration of REST API, service containerization, and analysis/ML modules. DICOM RDSR are particularly critical, as their substitution or leakage affects dose monitoring and privacy. This necessitates the justification and systematization of cybersecurity requirements and countermeasures for the PACS add-on “Dose Advisor”.

The use of threat modeling – STRIDE/PASTA, is proposed to formalize attack scenarios and convert them into verifiable requirements. The minimum protection configuration includes: channel encryption – TLS for DICOM/DICOMweb and API; RBAC/SSO and resource-level authorization checks; auditing of access events and administrative changes with event correlation between components; REST API protection according to OWASP; hardening of the container environment according to NIST 800-190.

Thus, the integration of regulatory documents: DICOM PS3.15, ATNA, NIST CSF/RMF/800-53; with API and container security practices allows building a manageable set of controls for Dose Advisor. The effectiveness of the approach is proposed to be confirmed by the link “threat scenario → control → test → metric → conclusion”, including detector quality metrics and non-functional indicators (reliability, delay, false alarm rate).

RELIABILITY ASSESSMENT OF LOCAL, CLOUD, AND HYBRID ARCHITECTURES FOR DEPENDABLE UAV-UGV MULTI-AGENT SYSTEMS

*I. Kliushnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
A. Serediuk¹; S. Martynenko²*

¹National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The research study offers a comparative analysis of the reliability of multi-agent systems, with a focus on the utilization of unmanned aerial vehicles and ground robotic complexes. The pertinence of the present study is determined by the necessity of ensuring the reliable operation of robotic groups within environments that are characterized by component failures and unstable communication.

The objective of this study is to assess the influence of architectural structure and redundancy on mission reliability. The methodology under consideration is predicated on the use of reliability block diagrams and probabilistic modeling, with the incorporation of mean time between failures parameters for hardware, software, and communication channels. The objective of a mission is considered to have been fulfilled if it has been executed without incident over the course of a designated time period.

In the context of local architecture, agents function autonomously, employing onboard processing and peer-to-peer communication. This approach ensures autonomy from external infrastructure but is constrained by computational resources. In the context of cloud architecture, coordination and intensive processing are typically delegated to replicated cloud services. While scalability is enhanced, overall reliability becomes contingent on effective communication and the availability of the cloud. The hybrid architecture under discussion combines local autonomy with cloud coordination. The modeling results demonstrate that it attains

a more balanced trade-off between robustness and scalability in comparison to another ones.

The findings can be utilized in the design of reliable cloud multi-agent robotic systems for operation in dynamic and high-risk environments.

ANALYSIS OF THREATS IN FLYING AD-HOC NETWORKS AND UAV SYSTEMS: THREATS, ATTACK PREVENTION, SECURITY MODELING, ML AND DL TOOLS

*I. Kliushnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
I. Didenko¹; V. Ralko²*

¹National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern monitoring and observation unmanned aerial vehicle (UAV) systems have long branched into more complex systems, recent trends spanning from internet of drones to more dynamic solutions. In tasks far from the combat zone these systems prove themselves to be a promising tool for explosive ordnance detection and emergency response missions.

Recent researches and studies showed a stable rise in flying Ad Hoc network (FANET) and integrating artificial intelligence tools in their security, utilizing their strong sides for both intrusion detection systems and security and predictive risk assessment in these networks. This dynamic shows a broader trend towards intelligent systems with high reaction speed logistics and security.

With all the benefits to using FANETs, they also come with their share of security challenges and vulnerabilities, given their dynamic topology and decentralized communication architecture. These particular characteristics significantly amplify vulnerabilities traditional UAV systems, allowing for convoluted attacks to occur and gain access to confidential information the network gathers and transmits without any prevention from common security designs.

Future development needs to integrate formal threat modelling with a robust cryptographic mechanism(s), secure routing protocols, and adaptive routing protocols to create a unified solution. By creating a synergy between the intelligent analytics, resilient network design, and an ongoing evaluation of risks to distributed aerial systems, researchers and engineers can improve the reliability and trustworthiness of all forms of distributed aerial systems.

ANALYSIS OF AIRCRAFT FLOW FORMATION FOR ENSURING AIR TRAFFIC SAFETY

V. Bezdielnyi¹ Ph.D.; O. Shulha²

¹National Security and Defense Council of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In accordance with current ICAO requirements the use of collaborative decision-making models (CDM) by air traffic controller is relevant for improving the effectiveness of decisions in the ATC system.

Modeling individual decision-making in emergency situations during flight is already developed by scientists.

In decision-making by the pilot and air traffic controller in the event of an emergency during flight (using the example of one engine failure and a fire in

another on one side during takeoff on a multi-engine aircraft) for maximum synchronization of the operators' technological procedures. A conceptual model of a system for managing and predicting actions in emergencies has been developed based on deterministic and stochastic models of decision making by a human operator of air navigation system, considering the influence of professional and non-professional factors.

Neural network model is used for evaluating the risk of making wrong decisions by the pilot and air traffic controller in case of emergency. It allows to reduce factors which concern aviation safety based on dynamic data with agreed time standards and the standard sequence of actions. Individual deterministic or non-deterministic decision-making models for air navigation system operators are used for (pilots, air traffic controllers, UAV operators, etc.) in case of emergency. In addition to professional factors (knowledge, skills, abilities, experience) these models also consider non-professional factors (individual, psychophysiological, and socio-psychological).

The problem of optimizing the operational interaction between the pilot and the air traffic controller in special cases in flight has been studied using consolidated deterministic, stochastic, and non-stochastic models.

FEATURES OF THE JOINT EMPLOYMENT OF MANNED AND UNMANNED AERIAL VEHICLES AS PART OF MIXED HETEROGENEOUS AVIATION GROUPS DURING THE EXECUTION OF COMBAT MISSIONS

O. Kashchyshyn, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The principles of tactics for the joint employment of manned and unmanned aerial vehicles in combat operations as part of mixed heterogeneous aviation groups during the execution of combat missions are considered.

It is determined that the main form of their employment remains combat operations, which include the delivery of air strikes, execution of special combat flights, and conduct of air combat. Joint actions may be carried out simultaneously or sequentially against pre-planned or newly detected enemy targets.

It is substantiated that the choice of combat employment method depends on the operational situation, force composition, flight-tactical characteristics of aircraft, and selected tactical techniques. A distinctive feature of joint employment is the performance of supporting functions by unmanned aerial vehicles, including reconnaissance, additional reconnaissance, target designation, suppression of enemy air defense, and electronic warfare.

It is established that the combat formation of mixed groups includes the main group, support groups, and a reserve, while its quantitative and qualitative composition and parameters are determined by the mission, execution conditions, and flight phase. The dispersed formation is the primary type, which increases survivability of the formation.

It is shown that effective joint employment requires integration of unmanned aerial vehicle control systems into the automated command and control system of aviation and air defense with the creation of a unified information space.

Further research should be aimed at refining the parameters of mixed combat formations and interaction methods between manned and unmanned aerial vehicles when performing various combat missions.

FLEXIBLE USE OF AIRSPACE FOR FLIGHT SAFETY

A. Dubnyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Sheigas, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Shulha; B. Telyatnik

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern conditions of airspace use (ASU), it is vital to implement measures to improve the efficiency and regularity of flights. The Flexible Use of Airspace Concept (FUA) is currently being implemented across the board. The European air traffic management programme sets out this concept clearly: airspace is to be used as a single entity, without its permanent division into civil and military, and its daily distribution among users is to be exclusively temporary, depending on current needs.

Airspace management (ASM) is inextricably linked to the concept of flexible use of airspace. Airspace management is a planning function. Its main objective is to ensure the most efficient use of available airspace. This is achieved through its dynamic allocation by time intervals. Certain parts of it are also reserved for different categories of users. This is done in order to meet short-term needs. These needs are taken into account and established priorities are followed.

The FUA concept clearly defines a set of measures for the use of airspace at three levels of management:

The categories are as follows:

- strategic;
- pre-tactical;
- tactical.

The implementation of these measures is aimed at ensuring the most efficient use of airspace in accordance with the actual needs of users. The practical implementation of the concept is carried out through the organisation of joint civil-military strategic planning, as well as pre-tactical and tactical allocation of airspace.

Scientific research shows that the application of the concept of flexible use of airspace ensures:

- The air traffic management system has been upgraded to increase throughput capacity.
- This has led to a reduction in delays in general air traffic (GAT), as well as an increase in the efficiency of civil-military coordination in real time.
- The need for constant spatial separation of airspace has been reduced, and there has been an increase in the efficiency of separation between operational air traffic (OAT) and general air traffic (GAT).

COMBAT APPLICATION OF TACTICAL AVIATION UNITS AND COMBAT MANEUVERING OF AIRCRAFT

O. Sheygas, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

E. Eliseev; O. Kovalenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analysis of combat experience of performing tasks by tactical aircraft crews indicates that direct combat collisions with enemy aircraft were avoided. This is due to the outdated aviation aiming and navigation complex (APrNK) of the brigade's aircraft and the lack of long-range AZU, modern equipment of enemy aircraft (weapons control system and radar with the ability to detect air targets at a

distance of up to 320 km) and their long-range ground-based air defense systems. In particular, the air battle was conducted due to the complexity of the maneuvering capabilities of the aircraft compared to the maneuvering capabilities of the missile. There are only two options here: either not to enter the missile's range of attack and abandon the battle; or to maneuver the aircraft (sharp changes in the trajectory with a significant increase in speed), which increases the missile's distance traveled. An established system of interaction between the crew and the PNA is also actively used for the timely arrival of the command for maneuver or ejection. The use of aircraft as a relay of control signals to the crews allows to increase the efficiency of performing anti-missile maneuvers.

The disadvantage is the lack of long-range air-to-air anti-aircraft missile systems, which makes it impossible to intercept enemy strike aircraft when using KAB and AB with universal planning modules. But increasing the level of interaction of fire units (pairs of combat aircraft) with closer interaction of the PNA with air defense units allows to better perform the assigned tasks, to prevent the enemy from gaining air superiority, and significantly limits the enemy's capabilities to fire at ground targets.

The experience of the Russian-Ukrainian war confirms that the success of combat operations, along with other factors, will be with the side that makes decisions more quickly and organizes their implementation in a timely manner. Resolving the contradictions between the increase in the number and volume of management tasks and the constant reduction in the time for their solution by management bodies leads to automation (computerization) and the use of information and management programs in their activities. Thus, the military decision-making process is a planning methodology that integrates the activities of the commander, headquarters, subordinate, attached and interacting headquarters in order to understand the situation and the combat mission, develop and compare options for combat actions (COAs – Courses of Action), choose a combat action option, as well as develop an operational plan or order to perform a combat mission. This process facilitates joint and parallel planning, when the higher headquarters constantly needs data and continuously exchanges information on future operations with subordinate, interacting units and units, which are provided with support and which support the planning of combat orders, orders and other means.

THE NORDIC AIRPOWER CONCEPT (NAPC) – A NEW DEVELOPMENT IN NATO REGIONAL COLLABORATION

*V. Fedorchak, Ph.D., Docent, Associate Professor and Senior Lecturer
Swedish Defence University, Stockholm, Sweden*

The Russian full-scale invasion of Ukraine triggered various changes in European security; one of the developments was the change of Swedish and Finnish neutrality status, followed by their NATO membership. This process also opened a plethora of opportunities for collaboration, one of which was the joint statements of the Nordic Chiefs of Air Forces, which resulted in the establishment of the Nordic Airpower Concept (NAPC).

This is one of a kind regional collaboration within the wider NATO framework, aiming at strengthening NATO integration through preliminary regional integration and collaboration across various segments in the aerial domain. Furthermore, this concept encourages rapid response through the improvement of interoperability at the inter-state and regional levels.

The core four pillars of the NAPC include the following:

- I. Joint Planning & Command.
- II. Mutual employment of bases across the Nordic countries, using varied degrees of agile, dispersed basing to achieve 'flexible and resilient deployment of the national air forces'.
- III. Enhanced Situational Awareness through the joint monitoring of the airspace and employment of interoperable platforms.
- IV. Joint Education & Training, with Nordic Response and Arctic Challenge Exercises as the focal points. (LOI, 2023).

Besides the improvement of daily tactical-level collaboration between the Nordic air forces, the NAPC resulted in the establishment of the Norwegian Joint Air Operation Centre (JAOC) in Bodø (Norway) and increased the number of exercises and training with involvement of various Nordic air forces.

The NAPC illustrates an unusual bottom-up military initiative aiming at collaboration prior to the political readiness for coming up with similar suggestions. Although political support soon followed, the driving force was the common views of the Chiefs of the Nordic Air Forces.

The suggested presentation aims at illustrating the various aspects of the NAPC as a model for the regional aerial interoperability and integration within NATO and beyond. Both internal and external factors contributing to this collaboration are discussed, paying attention to the extent of potential replication and adjustment for other regions of the Alliance and beyond.

USE OF AVIATION BOMBS WITH A MODERNIZED UNIVERSAL PLANNING AND CORRECTION MODULE

*O. Hromyko, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor;
O. Karachov*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of large-scale and high-intensity combat operations, modern air warfare increasingly requires the capability to deliver precision strikes against both stationary and mobile targets located deep within enemy defensive systems. Such targets may include fortified positions, command and control centers, concentrations of military equipment, logistics hubs, and artillery units. A key operational requirement in such conditions is the ability to conduct strikes without exposing carrier aircraft to the effective range of enemy air defense systems.

The development and operational deployment by the adversary of the new-generation UMPC-PD (modernized module with extended range) represents a significant step in enhancing the effectiveness of conventional aerial munitions. The modernization primarily focuses on increasing the flight range of standard free-fall bombs through the integration of deployable wing systems and improved aerodynamic characteristics.

One of the principal advantages of the UMPC-PD module is the increased operational range, which is estimated at approximately 90–100 km or more when employed in optimal flight profiles and at appropriate release altitudes and speeds. This extended range significantly reduces the exposure of carrier aircraft to enemy air defense engagement zones and allows strikes to be conducted from safer distances. Additionally, the module is adaptable to various types of aerial munitions,

including FAB-500T bombs and other weight categories, thereby broadening its practical applicability and operational flexibility.

Another important advantage of the system is its all-weather and day-and-night capability. Since guidance does not depend on optical or laser designation systems, the munition remains effective in conditions of limited visibility, adverse weather, smoke, or battlefield obscurants. This independence from external illumination or visual tracking systems enhances operational reliability and reduces environmental constraints on mission planning.

From an operational perspective, the UMPC-PD provides increased flexibility in strike planning. Target coordinates can be programmed prior to release, and the munition can approach targets from various trajectories and attack angles depending on the tactical situation. Such flexibility enables more adaptive mission execution and increases the likelihood of successful engagement in complex battlefield environments.

Overall, equipping aviation munitions with next-generation UMPC-PD modules substantially expands their tactical and operational potential. Conventional free-fall bombs are effectively transformed into high-precision air-to-ground weapons capable of stand-off engagement.

VIEWS ON WAYS TO IMPROVE THE MODEL FOR STRIKING ENEMY TARGETS

V. Petrov, Candidate of Military Sciences;

V. Afanasiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Kudriavtsev; O. Marchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improvements to the model for performing combat missions by tactical aviation (TA) of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine at the stage of striking enemy targets are prompted by the experience gained in combat operations and the receipt of aviation equipment and weapons from partners. To increase the effectiveness of combat operations, it is proposed to create different types of aviation groups from the existing and received aircraft.

The methods of combat operations of such groups do not change significantly, but based on the experience of war, the following restrictions are imposed on the stage of striking targets: a reduction in the number of aircraft participating in strikes, limited use of closed combat formations, and strikes without entering the enemy's air defense zones. It has been proven that the main direction for improving the model of destroying enemy targets is the development of new tactical techniques for firing at targets with the aim of stopping their functioning for a specified period of time.

The procedure for firing at the target will depend on the selected rational force arrangement (combination of "aircraft type-type of aviation weapons") for performing a specific combat mission and the distribution of available flight resources from the aviation groups created for combat missions. When developing tactical methods for striking targets, several options should be considered and the most effective one selected through modeling. It is proposed that the probability of hitting a ground or air target be used as an appropriate criterion for effectiveness. As an example, various combinations of combat methods and improved tactical techniques for destroying enemy ground and air targets are given.

VIEWS ON IMPROVEMENTS TO THE MODEL FOR THE USE OF TACTICAL AVIATION, TAKING INTO ACCOUNT THE ARRIVAL OF AIRCRAFT AND WEAPONS

*V. Petrov, Candidate of Military Sciences;
B. Kruk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
A. Kudriavtsev; O. Marchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The article considers ways to improve the model for performing combat missions by tactical aviation (TA) of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, taking into account combat experience and the arrival of new aircraft and weapons, as one of the factors in increasing the effectiveness of aviation units and subunits.

It is proposed to improve the existing model of task execution in a comprehensive manner by modernizing the organizational and staffing structure of the Air Force and the principles of aviation use, which must comply with NATO standards (in accordance with Ukraine's strategic course towards membership in the Alliance). It was emphasized that the organizational and staffing structure is gradually being updated in accordance with the adopted plans, and that the conceptual principles for the use of TA are being transformed in line with NATO standards and moving away from outdated forms and methods of its application.

To compensate for the lack of resources and increase the combat capabilities of TA units and subunits that have different types of aircraft and aviation weapons, including those received from partners, aviation groups are being created to carry out joint combat missions.

In this scenario, the use of forces and means to improve the combat mission execution model, which takes place at the stage of its creation, can be achieved through: the selection of rational options for forces and means (crews) from a mixed aviation group; the optimal distribution of available flight resources from the created aviation groups; the sequence and methods of destroying enemy targets.

MILITARY AIRWORTHINESS DURING WAR IN UKRAINE

*M. Kasatkin, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The dynamic and increasingly contested security environment – marked by the return of high-intensity warfare, technological convergence, and hybrid threats – has renewed focus on operational readiness, resilience, and interoperability. In this context, military airworthiness has emerged as a strategic capability, central to ensuring safe, effective, and sustained air operations across the Air Force.

The outbreak and conduct of war in Ukraine have underscored the limitations of peacetime-centric airworthiness frameworks when faced with prolonged, large-scale conflict. Nations supporting air operations are challenged by the need to sustain mission-capable aircraft under high operational tempo, resource constraints, and infrastructure degradation – all while managing acceptable risk. These conditions demand more agile, harmonized, and context-sensitive airworthiness policies and mechanisms.

In such environments, maintaining airworthiness – a standard traditionally governed by peacetime protocols that emphasize maximum safety and rigorous certification – becomes increasingly difficult to uphold when operational demands

exceed support capacity, technical personnel are strained, and maintenance must occur under time pressure, physical threat and degraded infrastructure conditions. On the other hand, maintenance and potential battle damage repair standards and procedures need to be harmonized in order to maintain full interoperability, particularly when involving transport of personnel and equipment of cooperating combat units.

A lack of standard airworthiness in combat framework, tailored to the needs and operational reality of symmetric high-intensity conflicts, particularly regarding Aircraft Battle Damage Assessment and Repair design, implementation and approval procedures, as well as fragmented training, and outdated policies, can negatively impact the interoperability and readiness of Ukrainian and foreign Air Forces in times of full-scale conflicts.

An initial Food-For-Thought triggered the discussion which showed high interest in the subject and agreed to pursue work with particular focus on aircraft cross servicing and cross maintenance. To that effect, a team Airworthiness in Times of Conflict is need to establish with the participation of Allies.

To resolve this issue there is an idea to create the Centre of Excellence (COE) dedicated to Military Airworthiness.

By institutionalizing airworthiness knowledge and fostering cooperation across partners, the COE will strengthen collective air power and operational resilience.

The COE will provide world-class education and training to Air Force personnel. It also will offer advanced training capabilities by integrating learners into a virtual training range where they will act with simulated participants controlled by artificial intelligence.

EXPLANATION OF THE FEASIBILITY OF USING GYROCOPTERS BY THE DEFENSE FORCES OF UKRAINE

*A. Yerilkin, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
V. Afanasiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Sapelnykov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Gyrocopters are rotary-wing aircraft in which the lifting force is created by a rotor located above the fuselage and freely rotating under the action of oncoming air flow (the phenomenon of autorotation).

The world experience in the creation and operation of gyrocopters was studied by analyzing the qualitative and quantitative indicators of such aircraft as “Air & Space 18A” and “Carter PAVE” (USA), “Kalydus” and “Kavalon” (Germany), “Hunting Eagle” (PRC).

Ukrainian LLC “Giroprakt” created the gyrocopter “Sapphire 3”. It can carry two passengers or a payload weighing 330 kg. It has a speed of 190 km/h. The flight range is 350 km. It needs a platform of only 60-90 meters for takeoff, and 10 meters for landing.

Motor Sich Joint Stock Company has created a gyrocopter of its own design. Its weight is 320 kg, it can reach speeds of up to 160 km/h, its flight range is 750 km and its maximum flight height is 2,500 m.

The report substantiates that gyrocopters should be used by the Defense Forces of Ukraine to perform such tasks as landing and evacuating fighters, conducting aerial reconnaissance, transporting cargo, and engaging ground (surface) targets, as well as solving other problems using unprepared sites of limited size in areas that are difficult to access for other modes of transport.

CODIFICATION OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES OF THE AIR FORCE OF UKRAINE

*A. Yerilkin, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
O. Shmyhlenko; K. Bezhettskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Codification of the unmanned aerial vehicles (UAV) of the Air Force of Ukraine – this is an official procedure for classifying, describing technical characteristics, assigning a nomenclature (inventory) number NSN (NATO Stock Number) and entering a new sample into the Catalog of Supply Items. NSN is a 13-digit code, the first four digits of which are the NATO Supply Classification Group (NSCG) code, the next nine are the National Item Identification Number (NIIN), which is assigned to a specific product.

The purpose of codification of UAVs is to ensure their compatibility, simplify logistics and accounting with NATO member countries. Therefore, it is based on a number of standard agreements, such as STANAG 3151; 4177; 4199; 4438. and the ACodP1 Manual.

According to paragraph 26 of the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 11, 2022 No. 1275, the codification of UAVs is carried out by the Ministry of Defense of Ukraine, in which this task is assigned to the Main Department for Ensuring Support of the Life Cycle of Armaments and Military Equipment.

he report proves that when choosing a UAV for the Ukrainian Air Force, it is important and mandatory to assess whether it has an NSN nomenclature number.

JUSTIFICATION OF THE OBLIGATION TO ASSESS THE DEGREE OF LOCALIZATION OF UAV PRODUCTION WHEN PROCUREMENT FOR THE AIR FORCE OF UKRAINE

*A. Yerilkin, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
S. Smyk, Candidate of Technical Sciences; O. Gurin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report substantiates the necessity of assessing the degree of localization of UAV production when purchasing them for the Ukrainian Air Force.

According to the Law of Ukraine “On Public Procurement”, the degree of localization of production (DLP) is an indicator of the local component in the specific weight of the cost of raw materials, materials, assemblies, units, parts, components and component parts, works, services and other components of domestic production in the cost of the goods that are the subject of procurement. The same law establishes the basic requirements for DLP.

Resolution of the Ukraine Cabinet of Ministers No. 861 of 02.08.2022 determined the mechanism for confirming the DLP, which should be 30 % in 2026 and gradually increase to 40 % by 2028.

Resolution of the Cabinet of Ministers No. 782 of 02.07.2025 approved the updated “List of goods with a confirmed degree of localization”, which include UAVs of the Ukrainian Air Force.

The DLP assessment is applied to mechanical engineering goods worth UAH 200 thousand or more. Therefore, the assessment of the DLP of UAV is mandatory when purchasing them, since they cost more than this amount, are included in the above list of goods and are purchased with budget funds.

REQUIREMENT FOR AQAP CERTIFICATES IN UNMANNED AERIAL VEHICLES OF THE UKRAINIAN AIR FORCE

*A. Yerilkin, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
S. Puzhai-Chereda; O. Korobetskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report substantiates the requirement for UAVs of the Ukrainian Air Force to have AQAP certificates.

The need for an AQAP (Allied Quality Assurance Publications) certificate in UAVs selected for the Ukrainian Air Force is due to the fact that the Constitution of Ukraine enshrines a strategic course for Ukraine to gain full membership in the EU and NATO. This requires measures to achieve interoperability of the Ukrainian Armed Forces and NATO.

The mandatory presence of an AQAP certificate for defense products in Ukraine is determined by Article 17 of the Law of Ukraine “On Defense Procurement”,

AQAP certification is a key standard developed by NATO to ensure the requirements for quality management systems in the defense industry. Obtaining this certificate by a manufacturer of BPA indicates its compliance with international quality standards, which makes its products competitive and opens access to participation in government tenders.

Certification according to AQAP standards not only increases the level of trust in the manufacturer, but is an important step for expanding the sales market and participating in national defense projects. Assessments of the capabilities of the UAV manufacturer to meet AQAP requirements must be carried out in accordance with the procedure established by the Resolution of the CM of Ukraine dated April 15, 2025 No. 452 “Procedure for conducting work on state quality assurance of goods, works and services for defense purposes”. This Procedure determines the mechanism for organizing and conducting work on state quality assurance of goods, works and services for defense purposes, which, in accordance with the Law of Ukraine “On Defense Procurement”.

FROM PASSIVE PRESENCE TO GAMIFIED ENGAGEMENT: THE GOAL OF DIGITAL TRANSFORMATION IN TEACHING

*I. Oliinyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under the conditions of martial law (air raid sirens, power outages) and blended learning, one of the key challenges is the cognitive gap between the instructor and higher education students. Traditional methods of engagement and monitoring – especially in large-scale classrooms – are losing their effectiveness, necessitating a transition toward immediate feedback tools and micro-learning. Furthermore, the education of aviation specialists today extends beyond the mere transfer of knowledge; it involves fostering psychological readiness for professional responsibility.

The report examines various ways to enhance learner engagement, including the following:

- implementation of tools such as Kahoot or Canva Live directly into the lesson structure. Each learning objective concludes with a 60-second express test. This forces the student's mind to "return to the classroom" as results are visualized instantly, creating an element of healthy competition;

- creation of educational tests with an unlimited number of attempts. The learner is not afraid to make mistakes, they learn by correcting their mistakes until they achieve a 100 % result;

- enhancing the "reference signals" ("mental maps", scaffolding) method for the digital age by creating visual charts and logical diagrams (infographics) that learners can download to their mobile devices. This simplifies the comprehension of complex formulas and fosters a sense of "I can understand this" which is the first step toward active participation;

- problem-based learning through real combat experience. Instead of abstract tasks, real cases are considered, where cadets see that formulas are tools for survival, and their motivation shifts from "sitting it out" to "mastering it".

RESEARCH ON THE IMPACT OF S-5 ROCKET AND OFAB-100 DRAG ON THE FLIGHT PERFORMANCE AND MANEUVER PARAMETERS OF AN AIRCRAFT

V. Kozak; M. Samoylenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The effectiveness of engaging ground targets directly depends on the accuracy of calculating attack parameters, which are significantly influenced by the installed aviation weapons. External stores create additional aerodynamic drag, leading to changes in the flight performance and maneuvering characteristics of the aircraft.

The paper presents the results of simulation modeling in the DCS World environment. The execution of spatial maneuvers in various planes with different armament options for the L-39 aircraft was investigated.

Primary attention is paid to determining the increase in the drag coefficient (ΔC_x) caused by the suspension of S-5 rockets (in UB-16 pods) and OFAB-100 aerial bombs, as these data are not fully presented in available technical literature. To verify the impact of drag, a series of steady horizontal flights and acceleration regimes were conducted under conditions of constant takeoff weight, altitude, and engine thrust. To perform the calculations, flights were carried out at the same engine operating mode for all types of pylons, which allowed for obtaining the difference between acceleration and flight speeds (minimum, most favorable, cruise, maximum) and ultimately obtaining ΔC_x .

The difference in acceleration and speed range (minimum, most favorable, and maximum) for various armament configurations was established experimentally. The obtained data allow for a more accurate assessment of the aircraft's energy capabilities when performing maneuvers in the vertical plane (dive, climb, loop) and provide initial data for improving the accuracy of the mathematical model of the L-39 aircraft's flight.

Thus, the use of simulation modeling tools provides an opportunity to obtain refined aerodynamic characteristics of an aircraft with various types of weapons, which is a necessary condition for improving the accuracy of combat application and flight safety.

DETERMINING THE IMPACT OF HELICOPTER OPERATIONAL TACTICS ON THEIR AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

*V. Bezpalyy; O. Pidlisnyi; H. Brovdi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Investigating the impact of helicopter operational tactics on their aerodynamic characteristics is critical for ensuring flight efficiency and safety, particularly in high-intensity combat environments or complex terrain.

The close coupling between maneuver and flight physics defines the performance envelope of a helicopter.

Nap-of-the-earth flight (a tactic for evading air defense systems) involves flying within the ground effect zone.

When approaching the ground (at an altitude of less than the main rotor diameter), a “ground effect” occurs. This increases lift at a constant engine power; however, it renders the aircraft sensitive to terrain irregularities. Obstacles may trigger turbulent vortices, which in turn can lead to a sudden loss of stability.

Sharp turns, pull-ups, and accelerated climbs alter the angles of attack of the incoming airflow. Consequently, flow separation (stall) may occur on the retreating blade of the main rotor, which limits maximum speed and maneuverability, causes a sharp increase in the drag coefficient, and leads to changes in the pitching moment.

The use of vertical takeoff tactics in forested or urban areas often leads to the vortex ring state (VRS). The helicopter enters its own induced downwash, causing a sharp drop in lift and rendering the controls ineffective. The rate of descent becomes comparable to the induced velocity of the air displaced by the rotor.

Special measures must be implemented to mitigate adverse effects.

STUDY OF THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING SENSOR TECHNOLOGIES INTO THE FLIGHT PERSONNEL UNIFORMS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE WITH REGARD TO COMBAT EXPERIENCE

*R. Viedienieva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat conditions and intensive operation of aviation equipment impose increased requirements on the health, performance, and safety of flight personnel. One of the most promising ways to improve the effectiveness of combat missions is the implementation of advanced sensor technologies into the flight personnel uniforms.

The use of integrated sensors for monitoring physiological indicators of pilots (heart rate, fatigue level, body temperature), as well as environmental parameters, enables continuous assessment of the pilot's condition during flight and combat missions. The collected data can be used for timely decision-making, increasing flight safety, and reducing the risk of emergency situations.

An analysis of the combat experience of the Armed Forces of Ukraine aviation, as well as the practices of leading armed forces worldwide, confirms the feasibility of integrating smart uniform elements into flight equipment. The introduction of such technologies will enhance the combat capability of aviation units, improve service conditions for flight personnel, and adapt support systems to modern warfare challenges.

RESEARCH OF LIMITING MANEUVERING MODES AND AIRCRAFT CONTROLLABILITY MARGINS IN A BANKED TURN USING FLIGHT SIMULATION TOOLS

*M. Osovytskiy; V. Nevmerzhytsky; V. Tyshevsky; V. Domskey
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A coordinated (correct) turn is a fundamental element of piloting that determines the quality of aircraft controllability and maneuvering safety, particularly during flights with high bank angles and increased aerodynamic loads. A flight simulator (DCS World integrated with VR technologies) provided the capability to adequately replicate aircraft aerodynamics and investigate the behavior of forces and moments during a turn. Modeling was performed for bank angles of 15°, 45°, and 60°.

The research was conducted in the following sequence: flight execution – parameter registration (objective control) – playback (replay) – engineering analysis of flight data. This approach ensured the gradual elimination of errors and refinement of the required deflection angles for the elevator, rudder, and engine thrust corrections to maintain a steady flight regime.

Training beyond standard flight practice became a vital stage:

- research of piloting characteristics at high angles of attack;
- identification of stall precursors in a turn due to loss of airspeed or excessive load factor;

- quantitative assessment of controllability margins in limiting regimes.

Since performing limit turns in actual flight involves a high risk of stalling, the use of a simulator allows for the safe and effective training of pilot procedures during critical aerodynamic states specifically in the horizontal plane. Particular attention is paid to preventing altitude loss and maintaining a constant turn radius at significant bank angles.

Thus, a modern flight simulator should be regarded as an educational and research platform. It ensures the transition from a cadet's subjective sensations to a deep engineering analysis of flight parameters, enables the refinement of precise flight control coordination, and significantly improves the quality of performing basic horizontal maneuvering maneuvers.

IMPACT OF INITIAL FLIGHT PARAMETERS ON THE DYNAMICS OF THE “LOOP” MANEUVER ON THE L-39 AIRCRAFT

*Y. Chaun; V. Kozak; O. Shkardybarda; Y. Kravchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The study of the impact of operational factors on the dynamic characteristics of aircraft is critical for ensuring the safety and effectiveness of combat training.

This paper presents an analysis of the correlation between store configurations and the specifics of performing one of the basic figures of aerobatics – the “Nesterov Loop” – on the L-39 trainer aircraft against the background of various initial data. The research was conducted using modern training equipment. The goal was to quantitatively determine changes in the parameters of the maneuver when external factors change.

An increase in aircraft mass due to external stores and full fuel load reduces the thrust-to-weight ratio and increases induced drag; additionally, the presence of

external stores themselves increases parasitic drag, which significantly impairs the aerobatic capabilities of the relatively low-thrust L-39.

To mandatory account for the negative impact of external factors and to understand the need for compensation of variable dynamic characteristics, the use of flight simulators is proposed and justified. The main advantages of using simulators lie in the possibility of varying operational factors, the repeatability of tasks, the accessibility of flight visualization, and safety during the investigation of critical regimes.

The research methodology involves the collection and analysis of detailed telemetry at all phases of the maneuver. The analysis allows for the assessment of the required energy state of the aircraft at the entry point and the minimum required speed at the top of the loop to prevent stalling or loss of control.

Thus, the use of flight simulators as a research tool allows for a shift from a generalized understanding of aerodynamics to a deep engineering analysis of flight parameters, ensuring an increase in the level of professional training of pilots and flight safety during the execution of complex aerobatics.

PARADIGM SHIFT IN TRAINING: FROM PILOTING TECHNIQUES TO DIGITAL AIRMANSHIP

I. Oliinyk; V. Liashenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Traditional aviation education systems often prioritize the prevention of “negative motor skills” frequently overlooking the critical importance of cognitive readiness. In modern high-intensity warfare, the gap between theoretical knowledge and the real-world execution of specialized combat missions has become critical.

While obtaining a Private Pilot License (PPL) or a type rating is a relatively short-term process (ranging from 2 months to 2 years), the development of “Airmanship” – as defined by Tony Kern – is a multi-year evolutionary journey. The integration of high-fidelity simulators, such as Digital Combat Simulator and Microsoft Flight Simulator, allows this process to commence long before the first actual flight.

It is essential to differentiate between “physical manipulation of flight controls” and “managing the aircraft as a complex integrated combat system”. The virtual environment is not merely a tool for muscle memory development but a laboratory for forming neural pathways responsible for high-stakes Decision-Making.

Cadets utilize simulations as a research platform to analyze the impact of operational factors (Mach number, center of gravity, meteorological conditions) on the aircraft’s flight and tactical performance. This transforms learning from passive memorization into active scientific inquiry.

Virtual environments enable the repetitive practice of procedures for both standard and emergency situations, which is vital for future military pilots. By the time a cadet enters a real cockpit, their cognitive capacity is not overwhelmed by “technical noise” but is instead focused on mission execution and situational awareness. Thus, the establishment of Virtual Mission Centers will integrate global best practices into the national aviation education system, fostering specialists with advanced aeronautical thinking.

AERODYNAMIC QUALITIES OF AN AIRCRAFT AND THEIR IMPACT ON AIR COMBAT EFFECTIVENESS

*V. Kozak; V. Miroshnyk; R. Babii
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

At the current stage of aviation technology development, despite the active implementation of long-range missile weaponry, the aerodynamic excellence of an aircraft remains a fundamental factor in its combat effectiveness. The dynamics of modern close-in air combat require aviation complexes to be capable of outmaneuvering an opponent and rapidly gaining a favorable position for attack. The realization of these capabilities directly depends on a complex synthesis of design solutions and the chosen operational modes of the aircraft under specific engagement conditions.

The key aerodynamic qualities that determine an aircraft's success in combat are its maneuverability and controllability during complex aerobatics and specialized combat application maneuvers. Of particular importance is the aircraft's ability to maintain stability during transient flight regimes. The effectiveness of such maneuvers is directly dependent on the dynamic changes in the angle of attack and the G-load level acting on both the airframe and the pilot.

Increasing the operational angle of attack is one of the most effective tools in aerial confrontation, as it allows for a significant reduction in the radius of maneuvers. This enables effective tactical evasion of enemy fire and the fastest possible alignment of the weapon system with the target. However, an extreme increase in the angle of attack triggers a sharp rise in induced drag, leading to a rapid loss of kinetic energy.

This creates a critical risk of airflow separation from control surfaces and the aircraft entering uncontrollable flight regimes, specifically stalling or spinning. A rational combination of speed and flight altitude parameters is the basis for pilot survival, allowing for the constant maintenance of an energy reserve.

Utilizing an aircraft with an optimal aerodynamic configuration makes it possible to minimize speed loss even during intensive aggressive maneuvering, providing an advantage in subsequent attacks. The conducted analysis confirms that the critical condition for victory is achieving a balance between high maneuverability and the preservation of the machine's energy potential. The practical implementation of this balance is possible through strict adherence to optimal flight modes and the active use of modern automated control systems.

DETERMINATION OF NACELLE DRAG USING THE MOMENTUM METHOD AND BALANCE MEASUREMENTS

*V. Bezpalyy
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Propeller-nacelle interference in UAV engines has been and remains a significant challenge, as it directly affects the effective thrust of the propulsion system. Determining this interference through numerical experiments is complex; therefore, the development of a reliable experimental methodology to determine effective propeller thrust, accounting for nacelle drag, is of current importance.

An aerodynamic wind tunnel (WT) is a high-precision instrument designed to obtain aerodynamic characteristics with the highest possible reliability. The T-2 low-

speed subsonic wind tunnel of the Kharkiv National Air Force University (KNAFU) enables the determination of the total aerodynamic characteristics of a test model, including simulations of propeller operation. The open test section of this WT provides ease of model installation, observation of the process, and comparative simplicity of the experiment; therefore, the balance experiment to determine the nacelle drag was conducted in the T-2 wind tunnel.

The T-1 KNAFU continuous-flow low-speed subsonic wind tunnel with an open test section is designed to investigate the aerodynamic characteristics of aircraft models during takeoff, landing, and low-speed flight regimes. Since the T-1 wind tunnel features a larger test section than the T-2, it was selected for conducting experiments to determine nacelle drag using the momentum (impulse) method. The satisfactory agreement between experimental results obtained via different methods in various wind tunnels confirms the validity of the experimental methodology for determining nacelle drag.

OPTIMIZATION OF SAFE DIVE RECOVERY MODES FOR VARIOUS EXTERNAL STORE CONFIGURATIONS IN A DIGITAL FLIGHT SIMULATION ENVIRONMENT

*Y. Chaun; M. Osovytskyi; P. Dyadchenko; A. Horobets
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A dive is a flight maneuver characterized by the aircraft descending along a rectilinear trajectory with increasing airspeed. The effectiveness of this maneuver in combat applications significantly depends on the aircraft configuration and initial flight parameters.

Impact of External Stores. The installation of UB-16 rocket pods or OFAB-100 bombs fundamentally alters the aircraft's performance characteristics:

- Aerodynamic Drag: Increased parasitic drag leads to reduced acceleration dynamics and a lower terminal velocity;
- Center of Gravity: A shift in the center of gravity impacts longitudinal stability, requiring significantly higher control column forces during dive entry and recovery;

Maneuver Dynamics. Initial parameters determine the safety of the maneuver:

- Airspeed: Increasing the initial airspeed reduces the time required to reach critical flight parameters.
- Altitude: Diving from high altitudes requires precise calculation of altitude loss during recovery based on established nomograms.

Research Methodology. The use of flight simulators (DCS World) enables the safe investigation of limiting regimes and the collection of detailed telemetry across all phases:

- Analysis of transition smoothness and initial load factor control during the entry phase.
- Evaluation of the correlation between lift and the normal component of gravity on the linear segment.
- Determination of the minimum safe altitude for returning to level flight at the maximum operational load factor.

Conclusion. Simulation modeling ensures the transition from a pilot's subjective sensations to a deep engineering analysis of flight parameters. This allows for the optimization of pilot procedures considering aerodynamic constraints, enhancing targeting precision and overall flight safety.

ANALYSIS OF THE DEGRADATION OF THE AIRCRAFT'S AERODYNAMIC CHARACTERISTICS UNDER THE INFLUENCE OF LONG-TERM LIFE CYCLE FACTORS

*M. Osovytskyi; V. Bezpalyy; V. Miroshnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the process of long-term operation of an aircraft, its aerodynamic characteristics gradually deteriorate. This phenomenon is called the degradation of aerodynamic characteristics and is particularly relevant for trainer-combat aircraft, such as the L-39, which have a large accumulated resource.

The main factors influencing the degradation of the L-39 aircraft's aerodynamics include:

- wear and roughness of the skin surface;
- contamination of the wing and fuselage surfaces;
- deformations of airframe elements;
- backlashes and wear of control surfaces;
- aging of materials and corrosion.

With an increase in surface roughness, the C_{ya} coefficient decreases due to the disruption of the laminar boundary layer, which leads to a decrease in lift. As a result of operational damage and contamination of the aircraft's surface, the C_{xa} coefficient increases, leading to an increase in fuel consumption and a decrease in maximum flight speed.

A decrease in the lift coefficient and an increase in the drag coefficient lead to a reduction in aerodynamic efficiency, which negatively affects the range and duration of the L-39 aircraft's flight.

The degradation of aerodynamic characteristics leads to:

- an increase in takeoff and landing roll distances;
- deterioration of maneuverability characteristics;
- an increase in fuel consumption per kilometer.

The analysis of the impact of the long-term life cycle on the L-39 aircraft's aerodynamics is a necessary stage for the objective assessment of its current technical condition and the flight safety of the aviation equipment.

ACTIVE RESILIENCE STRATEGY IN THE FACE OF CONSTANT AERIAL ATTACKS

I. Oliinyk¹; V. Liashenko¹; D. Hrianko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Vinnytsia National Technical University

Modern aerial terror is characterized by a shift toward a strategy of overload air defense (AD) through the use of massive UAV swarms (up to 1,000 units simultaneously) and decoy assets. The experience of four years of aerial aggression has proven that traditional static protection systems need to be supplemented with dynamic and adaptive solutions. The defense concept must shift from simple "shooting-down" of targets to real-time systemic risk management.

This report examines the fundamental aspects of implementing systems engineering based on the K-Systems model, with the aim of reducing the level of threats to the civilian population, in particular:

implementation of computer vision algorithms to distinguish real strike UAVs (with thermobaric/incendiary warheads) from imitators;

development of countermeasures against drones equipped with computer vision and fiber-optic control, which are immune to conventional electronic warfare means, to ensure automatic switching to kinetic or laser engagement systems upon the detection of such targets;

creation of a flexible sensor network (acoustic, optical, radar) capable of adapting to the urban environment to protect critical infrastructure facilities;

implementation of local protection systems for nuclear power plants, electrical substations, and residential areas, capable of neutralizing threats without collateral damage;

continuous monitoring of UAV evolution and immediate updating of AD system operating protocols to neutralize these effects.

Protection against aerial terror is a battle of algorithms and engineering solutions. The effectiveness of civilian protection depends on the speed of automating of the detection-to-engagement cycle, aiming to minimize the human factor in technical and managerial decision-making.

THE CONCEPT OF AIRMANSHIP IN MODERN ARMED CONFLICT (NETWORK-CENTRIC APPROACHES)

A. Hots; I. Oliinyk; Y. Havryshkevych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Radical changes in the nature of modern armed struggle, built on network-centric principles, are also transforming the requirements and approaches to “Airmanship”. With the transition to Western aviation platforms (such as the Mirage 2000-5F and the F-16), a military pilot must, within a short timeframe, acquire the competencies of a systemic battlespace manager. Therefore, in order to prepare in advance for this new role, it is necessary to modernize the professional training system for cadet pilots with a focus on developing cognitive abilities, situational awareness, the capacity to operate under conditions of information overload, and the ability to manage digital ecosystems to gain an advantage in high-tech warfare.

On Western combat platforms, automation reduces the workload associated with basic aircraft handling but significantly increases the cognitive burden related to tactical decision-making. Thus, modern airmanship primarily entails the ability to effectively select and prioritize data under severe time constraints (“filtering informational noise”), maintain high levels of situational awareness, and efficiently manage the OODA cycle (Observe–Orient–Decide–Act) under conditions of Electronic warfare and active enemy air defense. It also requires stress resilience and the development of CRM (Cockpit Resource Management) skills as a foundation for autonomous decision-making in case of loss of communication with the command post (Mission Command).

Furthermore, the introduction of Western aircraft requires full conceptual “interoperability” and “tactical interoperability” with NATO partners, including mastery of Link-16 standards, communication protocols, and fluency in aviation English.

Thus, the new essence of airmanship should become a synergy of Ukrainian combat experience and NATO technological standards, where the pilot evolves into the intellectual core of a high-technology combat system.

OPTIMIZATION OF POWER AND AERODYNAMIC LAYOUT OF UAVs

*I. Oliinyk; B. Kyrychenko; T. Deineko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In today's battlefield, the use of FPV (first person view) drones is an integral part of successfully performing a wide range of tasks, such as logistics, hitting enemy positions, and reconnaissance. Therefore, it is relevant to improve the flight characteristics that are responsible for the successful completion of the above tasks.

The advantages of improved aerodynamic and power schemes and the implementation of their milling on CNC (numerical control) machines are considered, since these improvements should not complicate the production of drone housings and should have such geometric parameters that can be performed on machines of this type.

It is proposed to improve the aerodynamic scheme of classic FPV drones by changing the use of the integrated circuit as on 4th generation aircraft. This will increase the range of the FPV due to the fact that the required thrust of the engines will decrease and energy consumption will be lower. Otherwise, it will increase the payload or improve handling according to the solution used.

It is also proposed to improve the power scheme of classic FPV drones by changing the geometric parameters, thereby increasing the rigidity of the structure without increasing the mass of the airframe. This will reduce the mass of the airframe that can be spent on payload.

OPTIMIZATION OF MANAGEMENT PROCESSES THROUGH THE IMPLEMENTATION OF EDGE AI AND HUMAN-CENTERED INTERFACES

*D. Hrianko¹; I. Oliinyk²
¹Vinnytsia National Technical University;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

As of today, real-time situational awareness is a requirement for ensuring the effectiveness of combat operations. Network-centric information systems such as “Kropyva”, “Virazh”, and “Delta” have demonstrated the ability of provide and maintain it. At the same time, the modern information and command environment of combat operations is characterized by an ultra-high density of raw streaming data; the excessive volume of unstructured information leads to cognitive overload for operators. This creates a need for intelligent data filtering directly “on board” or at the level of edge devices.

Unlike large language models (LLMs such as GPT or Gemini), which are non-deterministic, resource-intensive, proprietary, and require stable connectivity, the use of Edge AI (lightweight neural networks) in situational monitoring systems is more practical.

However, the interface must be built on the principle of the “necessary minimum”. Instead of displaying all raw data, the operator should receive visually emphasized prompts generated based on Edge AI inferences.

The integration of lightweight intelligent models into the structure of automated command and control systems similar to “Delta” makes it possible to move from simple data accumulation to proactive analysis and more well-founded decision-

making. This approach should ensure an advantage in the speed and quality of command and control of combat (special) operations under conditions of an intensive technological armed conflict.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF COMBAT DAMAGE TO AIRCRAFT LOAD-BEARING ELEMENTS ON ITS SURVIVABILITY

*I. Oliinyk; P. Shchetyna; A. Drahunov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under modern conditions of combat aircraft employment, the nature of structural threats has substantially changed. While in the conflicts of the late 20th century, a significant portion of aircraft returned with local damage, the contemporary use of high-precision air defense systems leads to more severe structural destruction of the airframe.

Analysis of combat losses in recent decades demonstrates that the wing remains the most critical structural component, specifically its primary load-bearing elements – the spars. Destruction or substantial damage to a spar typically leads to a catastrophic loss of load-bearing capacity and controllability. In contrast, significant damage to the tail assembly or engine nozzles, in many cases, does not result in the immediate loss of the aircraft, especially when equipped with fly-by-wire systems and multi-channel control redundancy.

Modern approaches to enhancing aircraft survivability include:

- Damage-Tolerant Design Concept. This involves modeling combat damage at the design stage, utilizing composite multilayer structures with high fracture toughness, foam-core sandwich panels, and structural redundancy through the strategic distribution of load-bearing elements;
- Digital Reconfiguration of Control Laws. Implementation of adaptive control algorithms to compensate for lift asymmetry and structural failures;
- Intelligent Structural Health Monitoring. Integrated sensor networks for real-time damage assessment.

A promising direction for engineering research lies in modeling the degradation of wing structural integrity under localized combat impacts using numerical analysis to identify critical failure zones. Thus, increasing the survivability of a modern aircraft requires designing the wing and control surfaces as a “survivable network” of elements, where the failure of a single node does not trigger a progressive collapse of the entire wing console.

ADDITIVE MANUFACTURING AND PREDICTIVE DIAGNOSTICS IN AVIATION MRO

*I. Oliinyk; V. Dolyniuk; A. Sushko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The maintenance, repair, and overhaul of aviation equipment during active armed conflict is a decisive factor in ensuring the operational readiness and combat survivability of military aviation. The experience of the Russo-Ukrainian war demonstrates that preserving combat potential for both manned and unmanned platforms depends not only on airframe and engine structural integrity but also on the capacity for rapid restoration.

Modern combat damage, primarily characterized by high-velocity fragmentation and localized structural failures, renders traditional stationary repair methods inefficient. To mitigate these challenges, the following advanced restoration methodologies are proposed:

- Modular Restoration Principle. Transitioning from labor-intensive component repairs to rapid replacement using Line Replaceable Units. This minimizes downtime and accelerates the “sensor-to-shooter” cycle by returning aircraft to service swiftly;

- Digital Diagnostics and Predictive Maintenance. Utilizing Health and Usage Monitoring Systems (HUMS) and Structural Health Monitoring to pinpoint damage zones, assess residual structural strength, and determine the technical limits for temporary operational use.

- Additive Manufacturing (3D Printing). Implementing mobile 3D printing units to manufacture non-standard fasteners and restore auxiliary components. This significantly reduces reliance on centralized supply chains and shortens the logistical “tail”;

- Next-Generation Non-Destructive Testing. Deploying portable laser scanners and ultrasonic flaw detectors for rapid assessment of micro-cracks and hidden structural damage resulting from kinetic impacts.

A promising direction for future research is the development of an integrated methodology for assessing aircraft maintainability throughout both the design phase and operational lifecycle. The synergy of predictive diagnostics and additive manufacturing creates a resilient maintenance ecosystem capable of functioning under sustained strategic pressure.

RESEARCH ON THE PROCESS OF SOLVING TASKS FOR PREVENTING DANGEROUS CONVERGENCE OF AIRCRAFT DURING THE PERFORMANCE OF THEIR ASSIGNED MISSIONS

D. Lytvynchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The successful resolution of the task of preventing hazardous convergence in the air is largely determined by the way it is presented, namely, by the timely assessment of the conditions of the air situation. The task of presenting knowledge about the process of assessing the air situation is reduced to the formal description of the conditions prevailing in the area of mission execution. The outcome of solving this task is the initial data for selecting informational features that support the process of aircraft coordination.

The process of assessing the air situation is difficult to formalize. However, the importance of solving this task becomes evident as soon as one attempts to construct a model of the actions of decision-makers.

The result of assessing the air situation and coordinating aircraft during dangerous proximity is the development of effective computational methods for assigning formalised descriptions of situations to the appropriate classes. Provided that correspondence is established between the classes specified in the set of solution options and the set of possible situations, the automation of recognition procedures becomes an element of the automation of decision-making for the execution of one or another manoeuvre to evade threatening aircraft.

When modelling these processes, decision trees, the hierarchy analysis method, production models, fuzzy cognitive models, fuzzy logic mathematical apparatus,

neural networks, Bayesian inference, and Bayesian belief networks, etc. can be used. Yet, reliance on subjective expert evaluations to obtain reliable and adequate input data for modeling the decision-making process regarding the execution of an evasive maneuver does not allow for an objective consideration of the full set of factors influencing the development of the air situation.

To account for uncertainty in solving multicriteria evaluation and alternative selection tasks, a possible approach is the use of methods and models from the theory of fuzzy sets and fuzzy logic. This enables the modeling of complex cause-and-effect relationships between situations. This approach makes it possible to refine the applied model and obtain more adequate estimates of the occurrence of hazardous convergence situations in the airspace.

DEVELOPMENT AND USE OF UNMANNED FIGHTER AIRCRAFT (INTERCEPTORS)

O. Korobetskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Since the beginning of the full-scale invasion of the Russian Federation into the territory of Ukraine, the defense complex for effective conduct of armed struggle has been transformed and becomes flexible.

Given the superiority of the Russian Federation in the size of the territory, population and military resources, the main goal of armed struggle is to inflict maximum damage on the enemy while minimizing our own.

One way to achieve this goal is to develop and create unmanned aerial vehicles (UAVs) fighter (interceptors) designed to defeat air forces at the expense of economic and tactical superiority in the air. In modern warfare, it is illogical to spend a \$1 million missile on a \$20,000 drone.

The development and use of fighter (interceptor) UAVs allows:

- create “unmanned” no-access zones;
- protection of objects in air defense “dead zones”;
- to provide autonomous hunting.

The purpose of using fighter UAVs (interceptors) is to make each flight of an enemy drone more expensive and risky, shifting the burden from scarce missile systems to mass-produced and cheap unmanned platforms.

Today, the drone war is a war of mathematics. Victory is not won by the most expensive device, but by the most effective ratio of “cost of destroying the target / cost of the target itself”. UAV fighters (interceptors) are becoming the main tool for preserving expensive air defense missiles and depleting the aggressor's budget.

AIR INTAKE AS AN ELEMENT OF SYSTEMIC AIRCRAFT OPTIMIZATION

O. Zakharchuk; I. Oliinyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern aviation, the aerodynamics of an air intake often conflict with low-observability requirements. Therefore, this report examines the air intake as an integrated part of the overall next-generation aircraft concept, one that defines the thermal signature, radar cross-section, engine stability, and load factor limitations.

A modern air intake must provide:

- A high total pressure recovery (minimal losses) across a wide Mach number range;
- Flow stability at high load factors (up to 9 g), high angles of attack, and under conditions of flow asymmetry;
- Protection against Foreign Object Damage;
- A minimal Radar Cross-Section (low observability).

The report examines the evolutionary transition from the mechanically variable geometry air intakes of 3rd and 4th generation aircraft (MiG-21, F-15, Su-27) to the fixed-geometry intakes with three-dimensional “bump” compressions surfaces (F-35, J-20). It investigates how replacing a mechanical boundary layer bleed system with a geometric bump not only reduces structural weight by 200–300 kg but also, when combined with curved S-duct channels, significantly reduces the radar signature. Expected future directions for research and development of air intakes are outlined:

- The concept of “smart” intakes utilizing shape-memory alloys (Morphing Inlets) and integration with Adaptive Cycle engines;
- Active shock wave control, including plasma-based or electro-aerodynamic methods of flow influence;
- The application of “fluidic throat” technology for gas-dynamic flow contraction.

In conclusion, the evolution of air intakes demonstrates a paradigm shift from purely aerodynamic optimization towards complete systemic integration within the aircraft's architecture.

PROFESSIONAL DEVELOPMENT FOR NETWORK-CENTRIC ECOSYSTEM OPERATORS

*I. Oliinyk; R. Rud; V. Shchuruk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The evolution of modern air combat is characterized by a definitive shift from individual platform duels to multi-level network-centric operations within a Multi-Domain environment. In this paradigm, the pilot acts as a “battlespace system manager” coordinating the synchronized actions of manned and unmanned assets. However, existing professional training methodologies do not fully ensure the development of a pilot's ability to instantaneously synthesize a 3D tactical picture, effectively manage massive information flows (Operational Work Management – OWM), and maintain superior situational awareness (SA) under high-intensity combat conditions.

In environments saturated with electronic warfare and high information density, where time for decision-making is critically limited, the risk of “cognitive saturation” increases significantly. The OWM methodology is specifically designed to develop hierarchical target prioritization and sustained situational awareness. Training within a VR-based OWM environment enables the optimization of working memory resources, allowing the operator to focus on high-level threat monitoring and complex weapons system management during air combat.

Furthermore, the integration of VR environments and 3D reconstruction tools (such as TACview) facilitates the formation of “stereoscopic 3D battlespace metrics”. This includes a profound understanding of missile engagement zones and the visualization of the structural dynamics of enemy air defense energy and information fields.

Consequently, the establishment of Virtual Mission Centers provides proactive training for future pilots to operate effectively within Manned-Unmanned Teaming ecosystems. This approach allows for the development of sophisticated interaction algorithms with intelligent networks while minimizing “psychological shock” and cognitive overload during the transition to network-centric operational principles.

METHODS FOR SOLVING CRITICAL PROBLEMS OF THE AGGRESSOR'S USE OF GUIDED AIR BOMBS

O. Solomakha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The mass use of guided air bombs (GABs) by the aggressor is a critical problem for Ukraine because it is an inexpensive, highly destructive, and hard-to-intercept weapon. The main issue lies in dropping GABs from Su-34 aircraft outside the range of Ukrainian air defense systems, conducting massive strikes, and their subsequent improvement and modernization to increase their range of use.

Main problems: high destructive power and range, difficulty of interception, protection of carriers, mass use, enemy adaptation, emergence of new modifications.

Combating GABs should include a set of measures: destroying carrier aircraft (Su-34) on airfields or in the air using modern fighters (F-16), complicating their guidance through electronic warfare means, developing our own air defense systems for interception, attacks on the enemy's production capacities and airfield infrastructure.

Priority and comprehensive approaches to addressing countermeasures should include: striking the carriers, strengthening air defense, use of electronic warfare systems.

Additional and long-term methods of countering guided bombs should include Strikes on infrastructure: attacks on airfields, warehouses, logistics, and factories producing these bombs to reduce their quantity and operational use. Modernization of one's own munitions – the development and implementation of one's own precision-guided munitions to destroy enemy carriers and infrastructure. Systematic drone strikes – the use of powerful strike drones for continuous attacks on enemy air bases and production facilities.

DETERMINING RATIONAL CONDITIONS FOR UNGUIDED ROCKET LAUNCH FROM A PITCH-UP MANEUVER

V. Kozak; A. Haichev; S. Papushak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The paper investigates the conditions for employing unguided rocket weaponry from a pitch-up maneuver within the enemy's air defense engagement zone and identifies the most advantageous parameters for performing launches. The relevance of the study is driven by the need to increase the effectiveness of aviation combat employment and enhance crew survivability under active fire opposition. In conditions where the line of contact is saturated with short-range air defense systems, launching rockets from a pitch-up maneuver has become one of the primary methods for delivering fire strikes.

In the course of the work, the influence of key factors on the effectiveness of unguided rocket employment was analyzed: altitude and airspeed of the carrier, pitch-up angle (pitch), range to the target, and the duration of the aircraft's stay

within the air defense engagement zone. Particular attention was paid to finding a compromise between ensuring the required launch range and minimizing the risk of the carrier aircraft being hit.

The study was conducted using numerical modeling methods and the analysis of ballistic and aerodynamic flight characteristics with the help of modern software tools. This allowed for a comprehensive accounting of:

- aerodynamic and ballistic characteristics of the rocket flight;
- maneuverability capabilities of the carrier aircraft;
- parameters of the enemy air defense detection and engagement zones.

Based on the research results, rational ranges of altitudes, speeds, and pitch-up angles were determined, which allow for an increase in the probability of hitting the target while simultaneously reducing the carrier's exposure time under the influence of air defense systems. The findings can be used to improve aviation combat tactics and methodological recommendations for preparing crews to perform tasks in a complex tactical environment.

DETERMINATION OF METEOROLOGICAL ELEMENTS USING UAVs

V. Buzenovskiy; Kh. Buzenovska

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern conditions of combat operations and aviation flight support require the prompt, accurate, and autonomous acquisition of meteorological information. Traditional observation systems (weather stations, aerological sondes, and radar complexes) have limitations in terms of mobility and deployment speed. The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) creates new opportunities for the operational determination of meteorological elements in the surface layer and the lower troposphere.

Meteorological flight support is a key component of the aviation safety system. In conditions of dynamically changing weather, limited stationary infrastructure, and increased requirements for rapid decision-making, there is a need for mobile, autonomous, and high-precision means of obtaining meteorological information.

Unmanned aerial vehicles enable operational atmospheric sounding without the involvement of manned aviation, thereby reducing risks and resource expenditures. Their application is particularly relevant for determining the parameters of the surface layer and the lower troposphere in the flight operation area.

The use of UAVs is an appropriate and promising direction for improving the meteorological flight support system, taking into account modern requirements for efficiency, accuracy, and mobility in obtaining meteorological information.

First, UAVs ensure the operational acquisition of real-time data directly within the flight operation area. This makes it possible to refine the meteorological situation prior to departure, during crew preparation, and while performing flight missions.

Second, they enable vertical atmospheric sounding in the surface layer and the lower troposphere, which is particularly important for detecting temperature inversions, wind shear, local turbulence, and other hazardous phenomena.

Third, the use of UAVs is economically justified, as it reduces costs compared to the use of manned aircraft or disposable aerological sondes while maintaining the required level of measurement accuracy.

In addition, the integration of UAVs with satellite navigation systems (GPS/GNSS) and automated data collection and processing systems improves the quality of meteorological information and reduces the time required to transmit it to flight control authorities.

IMPLEMENTATION OF NATO STANDARDS IN THE TRAINING SYSTEM FOR COMBAT CONTROL OFFICERS

O. Miroshnichenko; O. Sitkov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the Russian-Ukrainian war, Ukrainian aviation faced a complex set of managerial, technical, and strategic challenges. One of the main challenges was the transition from the Soviet centralized model to NATO's flexible mission model. This was complicated by the need for rapid training during active warfare and the integration of new aviation platforms (such as the F-16) into the combat management system. The problems of managing Ukrainian aviation are not just a technical issue, but a complex set of challenges: from an outdated fleet to transformation to NATO standards in the midst of active warfare. This subsequently raised the question of training combat control officers according to new principles and methods.

Training combat control officers (CCOs) according to NATO standards involves a comprehensive transformation of the air operations planning, management, and control system in line with Alliance procedures and doctrines. This is particularly relevant for Ukraine in the context of war and the transition to Western platforms.

Doctrine (AJP-3) – joint operations, AJP-3.3 – air and space operations, STANAG standardization agreements, Air Command and Control (Air C2) concepts. The main principle is centralized planning and decentralized execution. Combat control officers must be trained to work in the CAOC and AOC systems. They must understand how the Master Air Attack Plan (MAAP) is formed, how aviation, air defense, UAVs, and electronic warfare are coordinated, and how intelligence, surveillance, and reconnaissance are integrated.

Therefore, it is necessary to set requirements for the training of future CCOs: in-depth knowledge of English, knowledge of digital and automated control systems, decision-making in conditions of uncertainty, interaction with international headquarters.

Another challenge is the need to train teachers and experts in the field of military education. Successful implementation of NATO standards requires highly qualified personnel with the necessary knowledge and skills. Therefore, an important task is to train and educate teachers and instructors in the use of modern approaches and methods in accordance with NATO standards.

By implementing these requirements, it will be possible to achieve the following practical results of the transition CCOs to NATO standards: working in a joint operations system, integration of aviation, air defense, UAVs, and space reconnaissance, the ability to act in accordance with a unified air campaign, and the ability to interact with partners in real time.

AN ALTERNATIVE TO THE USE OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF USING EW DEVICES

O. Kovalenko; E. Eliseev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern electronic warfare tools allow for the suppression of satellite navigation systems (SNS). That is why some countries in the Western world are considering developing and implementing an alternative to SNS in the event of its suppression.

Such a system could be the enhanced hyperbolic radio navigation system eLoran (Enhanced Loran) This system is an independent ground-based alternative to GPS, capable of maintaining critical positioning, navigation, and time synchronization services in the event of satellite system failure. The main mechanisms by which eLoran can replace GPS include:

- technological independence and robustness. Unlike the GPS satellite signal, eLoran is based on ground-based transmitters and operates at low frequencies (100 kHz), making it resistant to interference that blocks satellite signals. The power of the eLoran signal is 10,000 times greater than that of GPS, making it extremely difficult to jam or spoof;

- high positioning and timing accuracy. eLoran provides positioning accuracy within 8–20 meters, which is comparable to GPS for most civilian applications. In addition, the system provides ultra-precise timing signals (Stratum 1 level) with an error of less than 50 nanoseconds relative to UTC, which is critical for the operation of telecommunications, financial markets and power grids;

- use of a data link. eLoran includes a data link that transmits differential corrections, signal integrity warnings, and authentication messages. This allows receivers to automatically detect GPS anomalies and switch to eLoran without user intervention;

- penetration into difficult environments. eLoran signals are able to penetrate inside buildings, underground and into deep “urban canyons” where weak GPS signals are often unavailable. Thanks to the 3000 meter wavelength, the signal bypasses obstacles such as mountains or high-rise buildings;

- hybrid integration. Modern receivers are being designed to work with GPS and eLoran simultaneously . This ensures continuity of operations: if the GPS signal becomes unreliable or disappears, the system instantly uses eLoran data to support safe navigation of aircraft, marine vessels, and ground vehicles.

The current leader in implementing this technology is South Korea. The decision to deploy a national eLoran system was made by the government of that country after repeated GPS jamming attacks by North Korea.

Although eLoran provides mostly 2D positioning (no altitude), it is considered the best complement to GPS because it has completely different vulnerabilities and an independent infrastructure.

Considering that not all countries have the ability to build a national SNS, independent of other countries, and also taking into account the vulnerability of SNS to electronic warfare systems, the use of systems such as the hyperbolic radio navigation system eLoran can become an alternative to SNS.

FLIGHT SAFETY OF HELICOPTERS IN TURBULENT ATMOSPHERES

V. Boiko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Army aviation crews must perform combat missions providing air support to ground units at different times of the year, times of day, and in various meteorological conditions. In addition, helicopter flights take place at low and extremely low altitudes, where the stress on the crew is greater and the reaction time for flight correction must be immediate.

Many factors affect flight safety, some of which are not taken into account due to their insignificance in training or commercial flights. But when performing combat missions, one of these minor factors, for example, in combination with

damage to the aircraft, can lead to an accident or disaster. One such factor may be atmospheric turbulence, wind shear, or buffeting.

When flying in turbulent conditions, sharp and strong impacts on the fuselage may be felt, and shaking may occur. Shaking can lead to premature failure of individual components and structural elements, as well as failure of onboard equipment. Unstable readings of individual instruments are noted. High forces on the controls and the need for constant monitoring of the helicopter's position cause increased fatigue of the crew.

The characteristics of helicopter flight in conditions of severe atmospheric turbulence are determined by the flapping motion and dynamic strength of the main and tail rotor blades, the forces in the control system, the nature of the turbulent motion, and the controllability of the helicopter.

Helicopter flights in weak and moderate turbulence do not pose a threat to flight safety. Thanks to the flapping motion of the blades, a significant part of the energy of wind disturbances is dampened and the level of helicopter overload is not high.

The greatest increase in loads when flying in turbulent atmospheres occurs in the main rotor control system. Even with weak turbulence, variable loads in longitudinal and lateral control, measured on the autopilot, increase by 20–25 per cent compared to calm atmospheres. Therefore, restrictions are imposed on flights in turbulence, and deliberate prolonged flights of helicopters in conditions of intense turbulence are not recommended.

When flying in strong turbulence, there are no noticeable disturbances in the helicopter's controllability, but piloting becomes much more difficult. This is due to the continuous imbalance of the helicopter caused by atmospheric disturbances, which require constant pilot intervention in the controls, and the autopilot's capabilities are insufficient.

The main condition for facilitating and increasing flight safety in heavy turbulence is to maintain the flight speed range recommended in the flight manual, in which the helicopter has a thrust reserve close to the maximum, reliable stall speed reserves and engine pumping reserves.

THE ROLE AND PLACE OF THE PILOT IN THE FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM

B. Teliatnyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The less the pilot is formed as an object of management, the more difficulties arise in the course of interaction between him and the members of the flight management group, the more likely the discrepancy between the goal and the result of flight management, the more important socio-psychological aspects in flight management become, the more significant the search for ways to improve them becomes.

Currently, in the framework of the socio-psychological theory of management, the search for answers to questions that engineering psychology did not and could not ask is successfully being carried out: about the role and place of the pilot in the flight control system; about the mutual understanding between the flight control group members and the pilots; about the appropriateness of certain regulatory influences from the side of the flight control group members in terms of their impact on the pilot's psyche and the quality of the flight; about the psychological

characteristics of the pilot as an object of management that contribute to or hinder the success of flight management; about the personality qualities of the flight manager as a manager of pilots in flight.

THE INFLUENCE OF THE HUMAN FACTOR ON THE FUNCTIONING OF THE AIR NAVIGATION SYSTEM FOR TRAINING AVIATION PERSONNEL

*S. Fedyuk; B. Pavlenko; O. Torchylov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ukraine's resistance to the military aggression of the Russian Federation has all the features of a hybrid war, which complicates the performance of tasks due to the emergence of new types of weapons, tactics of their use, as well as confrontation in the information space. Such features characterize a system of contradictions that are associated, on the one hand, with the widespread introduction of information technologies, and on the other hand, with the importance of the human factor in the decision-making system in all links of ergatic systems. The content of ergatic systems is a comprehensive approach to the functioning of complex systems, in which the elements are: man, machine, environment.

The complexity of modeling "man-machine-environment" systems lies in identifying and taking into account all the factors influencing the efficiency and safety of airspace use. Therefore, one of the approaches to increasing the efficiency of the air navigation system and its functioning is to find ways to integrate different models that take into account the influence of the human factor on their functioning.

Using the SHELL model, it is possible to show the main elements of the human factor and the relationship between them.

When taking into account the influence of the human factor on the functioning of the air navigation system, aviation personnel training relies on the SHELL model, but it has its own drawback.

The disadvantage of the SHELL model is that it does not cover the interaction between component elements that are not related to the human factor.

The impact of the SHELL model disadvantage can be partially compensated by integrating the advantages of other models, such as the "Swiss cheese model" and the "domino" theory into this model, using their positive properties.

The improved model of taking into account the human factor in the air navigation system "man – machine – environment" will allow to determine its properties and further substantiate new approaches in determining critical dependencies between professional qualities, personal qualities, human factor in the aviation personnel training system to increase the efficiency of airspace use and flight safety.

Based on the study of the SHELL model and other elements of the human factor research methodology using the example of the "Swiss cheese" model and the "domino" model, it was determined that compensation for the shortcomings of one model is possible at the expense of the advantages of another model. The condition for implementing this approach is to solve the problem of integrating models into a single complex system.

VIEWS ON THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN COMBAT AVIATION SYSTEMS

A. Shvets; O. Motuzov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

When analyzing the role of modern combat aircraft systems (CAS) in military operations, experts often limit themselves to examining their speed and range, acceleration, maneuverability, weapon system capabilities, and electronic systems. However, human capabilities in operating such systems are not always taken into account.

In any case, manned or unmanned aerial vehicles are controlled by humans: pilots or pilot-operators. Therefore, the human factor continues to influence the effectiveness of CAS use and sometimes hinders survival in the air.

Today, CAS operations are supported by a large number of ground and airborne equipment that collect information about the ground and air environment, counter enemy weapons, analyze flight parameters, and generate aircraft control signals. Human analysis of such a large amount of data not only wastes time in decision-making but also sometimes leads to erroneous actions. Therefore, artificial intelligence (AI) must now enter the arena of building and deploying modern CAS systems, fully or partially assuming the functions of data analysis and developing possible action options.

A challenge for using AI in flight remains the pilot's level of trust. In critical situations, the human instinct for self-preservation can become a significant obstacle to entrusting one's life to AI. It's difficult to trust a machine when doubts arise about the accuracy of its calculations, the reliability of its operation, and the absence of negative influence from third parties.

Therefore, when building AI-powered aircraft control systems, it is necessary to seek system monitoring options that allow the pilot to accurately verify the integrity and reliability of the AI's predictive calculations and trust its operation.

Perhaps such AI monitoring options should include the use of other analytical systems, separate from the AI, operating autonomously and using different principles. Comparing aircraft control predictions offered by different, independent systems with their own self-monitoring systems will significantly increase pilot confidence in them.

Furthermore, psychological preparation and systematic pilot training using AI-powered aircraft control predictions, especially in extreme flight conditions, will gradually increase trust in the system in critical situations.

PROSPECTS FOR PROTECTING HELICOPTERS FROM ENEMY UAVS AND MANPADS

V. Pomazuiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Army aviation (AA) units are massively and effectively involved in intercepting and firing at enemy air targets (AT). However, the enemy is not standing still and is developing the capabilities of its UAVs to counter our AA units. This poses a significant danger to our helicopters when intercepting enemy ATs.

Therefore, two main issues are currently being identified. The first is calculating the most effective tactical techniques for ensuring helicopter safety when

encountering enemy FPV drones. The second is equipping helicopters with modern means of protection against enemy weapons, primarily portable anti-aircraft missile systems (MANPADS).

When calculating a tactical maneuver, it is advisable to use high flight speed (exceeding the speed of the drone) and the “companion trail” effect, which is a specific physical technique that pilots use when detecting an FPV drone. Its essence is to create an area of maximum turbulence for the attacking drone, which in turn will disrupt its attack. If the drone tries to attack from above or from behind, hitting this stream is almost guaranteed to flip the lightweight quadcopter, rendering it uncontrollable or breaking its blades. To minimize unexpected encounters with drones, it is advisable to use the circular survey method (mutual observation).

Prospects for improving helicopter protection against MANPADS and FPV drones should focus on the following areas of development:

- laser suppression systems (such as DIRCM-Directed Infrared Countermeasures) – the introduction of directed infrared countermeasure systems that “blind” the homing heads of MANPADS missiles with a laser beam;
- intelligent electronic warfare – development of electronic warfare systems with artificial intelligence elements capable of automatically identifying and suppressing drone control channels in real time (in particular, FPV drones on fiber optics);
- multifunctional protection systems (such as AMPS-Airborne Missile Protection System) – equipping helicopters with integrated missile defense systems that combine missile launch detection sensors, laser irradiation, and automatic firing at false targets.

The realities of modern combat operations require the implementation of these tactical techniques and technical components (systems) for helicopter protection, as the effectiveness of combat missions carried out by helicopter units depends on this.

TACTICAL CONDITIONS AND PARAMETERS OF EFFECTIVE USE OF GUIDED BOMBER AND MISSILE WEAPONS IN THE CONDITIONS OF COUNTERING ENEMY AIR DEFENSE AND ELECTRONIC WARFARE

V. Kashko; I. Miltsyn

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The paper conducts a study of the conditions for the use of guided bomber and missile weapons in the area of operation of the enemy's electronic warfare and air defense (air defense) and determines the most favorable parameters for the use of guided aviation weapons. The relevance of the study is due to the need to increase the effectiveness of combat use of aviation and increase the safety of crews. Experience in using guided aircraft weapons Kh-58U, VK-3, JDAM to destroy ground targets such as railway bridges, reinforced concrete storage facilities, runways, radar, operational tactical missiles positions, air defense systems, as well as surface targets in horizontal flight, diving and capriton of the carrier with the implementation of the “drop-forget” principle.

In the course of the work, the influence of the main factors on the effectiveness of the use of controlled aviation weapons was analyzed: altitude and speed of the carrier, angle of engagement, range to the target, as well as the duration of the aircraft's stay in the zone of destruction of air defense and electronic warfare

systems. Recommendations based on the results of the identified lesson with the definition of specific measures for its implementation:

To increase the efficiency of the use of aviation weapons, it is necessary:

- to consider the possibilities of wider involvement of tactical aviation to perform the tasks of the enemy fire damage with the use of air-to-air control systems.

- to speed up the process of rearmament and integration of advanced Western systems and complexes with aviation equipment that is in service with the aviation of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

- to consider the possibilities of developing and manufacturing a carrier system for FAB-250, FAB-500 type bombs in order to create high-precision guided aerial bombs of domestic production on their basis.

The study was carried out using the experience of using controlled automated control systems, methods of numerical modeling and analysis of ballistic and aerodynamic characteristics of flight using modern software tools.

Based on the results of the study, the most advantageous ranges of heights, speeds and angles of engagement have been determined, which make it possible to increase the probability of hitting the target while reducing the time spent by the carrier under the influence of electronic warfare and air defense systems. The conclusions obtained can be used to improve the tactics of combat use of aviation and methodological recommendations for training crews to perform tasks in a difficult tactical situation.

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ СПІЛЬНОГО БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ В ОБ'ЄДНАНІЙ ВОГНЕВІЙ ПІДТРИМЦІ

М.М. Жуков; О.М. Печенко; Я.В. Ярошенко, Ph.D.;

В.М. Горбенко, к.військ.н., доц.

Національний університет оборони України

У сучасних операціях ефективність вогневого ураження наземних об'єктів досягається шляхом інтеграції ударної авіації та ударних БпЛА (у тому числі FPV-дронів). Залучення БпЛА до виконання завдань щодо ураження засобів ППО та малорозмірних цілей дозволяє зосередити ресурс ударної авіації на знищенні ключових цілей авіаційними засобами ураження великої потужності.

Однак спільне перебування ударних літаків та БпЛА в одній зоні на малих висотах, у поєднанні з активним застосуванням противником засобів РЕБ та хибних позицій, підвищує ризики дезорганізації системи управління та як наслідок втрати або пошкодження пілотованих літаків. Для забезпечення безпеки польотів та ефективного спільного бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації в ході виконання завдань об'єднаної вогневої підтримки необхідно:

- створити єдиний контур управління для синхронізації ударів пілотованої авіації та ударних БпЛА у часі та просторі.

- здійснювати розподіл коридорів та висот польоту для запобігання зіткненням літаків із власними БпЛА під час виконання маневрів на малій висоті.

- використання ударних БпЛА для попереднього придушення вогневих засобів протиповітряної оборони (“розчищення простору”) перед заходом ударної авіації на бойовий курс;

використання БПЛА-приманок для відволікання уваги засобів протиповітряної оборони на інший напрямок та введення противника в оману.

Такий підхід забезпечує синергію засобів вогневого впливу та мінімізує втрати пілотованих платформ у зонах високої загрози.

ЕВОЛЮЦІЯ РОЗВИТКУ БПЛА РФ ГЕРАНЬ

О.О. Майстров, к.т.н., доц.

Національний університет оборони України

Перспективним напрямом розроблення БПЛА є платформенний метод, який передбачає вибір базової платформи, що забезпечує виконання польотної функції, для побудови різних модифікацій БПЛА шляхом установки додаткового спеціального обладнання.

Такий підхід вже використовується при створенні найбільш масового БПЛА рф “Герань” різних модифікацій. Його прототипом стали іранські дрони Shahed 131/136, що були розроблені у 2020 році та надані рф у вересні 2022 року.

На сьогодні застосовуються наступні модифікації:

“Герань-2” (Shahed-136) – основний дрон-камікадзе рф, бойова частина до 40 кг, заявлена максимальна дальність до 2500 км. Висота польоту 60–4000 м, швидкість 180 км/год. Дрон має дельтаподібне трикутне крило розмахом 2,5 метра, його довжина 3,5 метра, вага – 200 кг.

“Герань-1” (Shahed-131) зменшена версія БПЛА, бойова частина близько 15 кг, дальність до 900 км. Розмах крила 2, 2 м, довжина 2,6 метра, вага 135 кг.

“Герань-3” – реактивна модернізована версія Shahed-238, відрізняється швидкістю до 600 км/год, крейсерська швидкість 300–350 км/год, маса бойової частини до 100 кг, дальність до 1500 км.

“Герань-4” – новий тип російського реактивного ударного дрона зафіксований у січні 2026 року. Має вдвічі потужний двигун та підвищену крейсерську швидкість до 500 км/год. Для знищення літаків та вертольотів на дрон може встановлюватися авіаційна ракета “повітря-повітря” типу Р-60.

Таким чином, платформенний метод дозволяє створити ряд БПЛА різних модифікацій. Такий підхід, наряду з модульним принципом побудови, забезпечує здешевлення розробки, експлуатації та ремонту всієї лінійки БПЛА.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БОЙОВІЙ ПІЛОТОВАНИЙ ТА БЕЗПІЛОТНІЙ АВІАЦІЇ

Р.А. Оровецький¹; А.С. Ярошенко²; Я.В. Ярошенко², Ph.D.;

В.В. Герасименко, д.військ.н.

¹Національний університет оборони України;

²Державний науково-дослідний інститут авіації

Сучасні збройні конфлікти демонструють стрімкий перехід до мультидоменних операцій, де ключовим фактором досягнення переваги є швидкість прийняття рішень та скорочення циклу OODA (спостереження, орієнтація, рішення, дія). Впровадження штучного інтелекту (ШІ) в бойову пілотовану та безпілотну авіацію стає визначальним напрямом розвитку технологій захисту повітряного простору.

У сфері пілотованої авіації формується тенденція до створення гібридних когнітивних систем, де ШІ виконує роль високошвидкісного “електронного другого пілота”. Аналіз програми DARPA ACE та натурних випробувань на базі модифікованого літака X-62 VISTA доводить, що ШІ здатен керувати маневрами винищувача ефективніше за людину. Алгоритм оцінює тактичну обстановку на наносекундному рівні, ігноруючи фізіологічні обмеження пілота. Це дозволяє делегувати автономній системі мікроменеджмент маневрування, звільняючи людину для управління всією місією.

Розвиток безпілотної авіації пов’язаний з концепцією інтеграції пілотованих і безпілотних платформ (Manned-Unmanned Aircraft Teaming). Створення так званих спільних бойових літаків (Collaborative Combat Aircraft) дозволяє пілоту-оператору з кабіни винищувача координувати групу автономних БпЛА. Це розширює інформаційну обізнаність, забезпечує подолання ешелонованої ППО противника за рахунок тактики роіння та мінімізує ризики для льотного складу.

Отже, розвиток ШІ вимагає застосування відкритих архітектур та розв’язання фундаментальної проблеми – безумовної довіри пілотів до безпеки автономних систем у бою.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ПІЛОТОВАНОЇ АВІАЦІЇ ЗА РАХУНОК СПІЛЬНОГО БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ В ЗАГАЛЬНІЙ СИСТЕМІ ОБ’ЄДНОАНОЇ ВОГНЕВОЇ ПІДТРИМКИ В ОПЕРАЦІЯХ

Р.В. Мосійчук

Національний університет оборони України

Сучасні збройні конфлікти продемонстрували докорінну трансформацію підходів до ведення бойових дій, у яких вирішальними факторами стають швидкість реагування, достовірність інформації та максимальне скорочення циклу від виявлення до ураження цілі. В умовах динамічного розвитку засобів протиповітряної оборони та радіоелектронної боротьби противника традиційне ізольоване застосування повітряних платформ стає дедалі ризикованішим, що вимагає пошуку нових шляхів забезпечення живучості авіаційних угруповань. Ключовим чинником розв’язання цієї проблеми є повноцінна інтеграція пілотованої та безпілотної авіації в загальну систему об’єднаної вогневої підтримки в межах єдиної операційної концепції. Такий підхід відповідає логіці сучасних операцій, де інформаційні, повітряні, наземні та кібернетичні елементи взаємодіють у реальному часі, створюючи синергію, недоступну для традиційних методів. Сутність цієї синергії полягає у формуванні єдиного простору, де пілотовані літаки та безпілотні комплекси діють синхронно, взаємодоповнюючи можливості одне одного для досягнення ефекту розосередження та підвищення темпу операцій.

Одним із головних аргументів на користь інтегрованого застосування авіації є можливість функціонального розподілу завдань, що дозволяє зміщувати найбільш небезпечні місії на безпілотні літальні апарати, мінімізуючи загрозу для життя екіпажів. Безпілотні літальні апарати, оснащені сенсорами різних спектральних діапазонів, здійснюють тривалий моніторинг обстановки, оперативне цілевказання та оцінку результатів вогневого удару в зонах високого ризику, де перебування пілотованих літаків є недоцільним або надто небезпечним. Вони можуть діяти як носії винесених датчиків,

ретранслятори зв'язку або хибні цілі, відволікаючи на себе увагу засобів протиповітряної оборони противника. Водночас пілотована авіація, зберігаючи високу ситуаційну обізнаність та людський контроль, виконує роль командної платформи та ударного компонента, перебуваючи у безпечніших секторах повітряного простору. Така модель дозволяє екіпажу виступати центром управління групою безпілотних апаратів, делегуючи їм розвідку, постановку завдань або імітацію бойових дій у заборонених для польотів районах.

Попри значні переваги, процес досягнення повної синергії залишається складним через низку технологічних та організаційних викликів. Критичною загрозою є радіоелектронна боротьба, здатна порушувати канали управління та передачі даних. Для подолання цього впливу необхідно впроваджувати мультиканальне резервування зв'язку, автономні режими польоту та резервні системи навігації, стійкі до придушення сигналів. Крім того, особливого значення набуває посилення кіберзахисту повітряно-інформаційних систем та вдосконалення алгоритмів штучного інтелекту для ситуаційного аналізу. Перспективними напрямками розвитку є створення колективних безпілотних систем, здатних до групових дій у координації з пілотованими літаками, а також розробка уніфікованих інтерфейсів управління, що дозволяють пілоту одночасно керувати різнорідними апаратами.

У підсумку, підвищення живучості пілотованої авіації в сучасних умовах можливе лише за умови глибокої інтеграції, стандартизації протоколів та регулярного проведення спільних навчань екіпажів і операторів безпілотних комплексів. Створення єдиних центрів планування вогневої підтримки з постійним обміном інформацією та впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень сформулюють передумови для появи повітряних систем нового покоління. Така інтеграція не є просто технологічним трендом, а фундаментальною умовою забезпечення переваги у складних і швидкозмінних умовах майбутнього поля бою, де успіх операції визначатиметься здатністю діяти як єдина, адаптивна та живуча екосистема.

ОСНОВНІ НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ПЕРСОНАЛУ В ХОДІ КУРСОВОЇ ПІДГОТОВКИ

М.А. Голова

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Для того щоб освіта в Україні могла посісти гідне місце серед провідних європейських країн в умовах російсько-української війни, проводиться реформування багатьох сфер розвитку держави і суспільства, що апriorі вимагає введення інноватики та запозичення зарубіжного досвіду й у курсовій підготовці персоналу.

Основними напрямками удосконалення курсової підготовки, на нашу думку, слід вважати:

щорічне визначення (уточнення) вимог до професійних компетентностей та результатів навчання слухачів курсів підвищення кваліфікації (допідготовки, перепідготовки) у вищих військових навчальних закладах, військових навчальних підрозділах закладів вищої освіти, навчальних центрах;

розроблення (уточнення) та затвердження в установленому порядку навчальних планів-програм передбачених Каталогом курсів підвищення

кваліфікації (допідготовки, перепідготовки) з урахуванням уроків вивченого та впровадженого досвіду;

аналіз органами управління різних ланок отриманих від суб'єктів освітньої діяльності звітів про роботу діючих курсів;

вилучення з Каталогу курсів підвищення кваліфікації (допідготовки, перепідготовки) окремих курсів, проведення яких стало недоцільним;

внесення змін і доповнень до Каталогу курсів підвищення кваліфікації (допідготовки, перепідготовки), стосовно категорій осіб, які залучатимуться на курси, обґрунтованих показників обсягів та періодичності підготовки тощо.

Таким чином, удосконалення курсової підготовки персоналу можливе як за очною (денною) так і за дистанційною чи комбінованою формами навчання.

ВПЛИВ ДОСВІДУ НА АДАПТАЦІЮ СИСТЕМИ БОЙОВОЇ ПІДГОТОВКИ

В.М. Дурач; Ю.В. Миронович; Н.М. Ісакова

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Повномасштабна агресія російської федерації проти України вплинула на як характер воєнного протистояння так і змінила систему підготовки до ведення бойових дій.

Масоване застосування на полі бою безпілотних літальних апаратів, високошвидкісних інформаційних систем, комплексів радіоелектронної боротьби, надпотужних ракет і авіаційних боеприпасів, потребують переосмислення підходів до навчання та управління підготовкою особового складу.

Адаптація системи бойової підготовки до сучасних реалій є стратегічним завданням, яке безпосередньо має вплив на боєздатність Збройних Сил України, зростання ефективності виконання бойових завдань, збереження життя і здоров'я особового складу та здобуття перемоги.

У системі навчання продовжується робота з усунення недоліків традиційної системи підготовки, зокрема таких як: відсутність адаптивності навчальних програм та гнучкості навчально-виховного процесу; обмежене застосування інформаційних платформ і тренажерів (симуляторів); недостатній рівень вивчення і впровадження досвіду; неефективна система зворотного зв'язку (feedback) між підрозділами та навчальними закладами (центрами).

На нашу думку, подальша цифровізація навчання, зокрема створення єдиного освітнього інформаційного простору з віртуальними полігонами (аеродромами, автодромами, танкодромами), тренажерами (симуляторами) та аналітичними інструментами в основі яких лежать алгоритми штучного інтелекту забезпечує безпечне, відтворюване середовище для відпрацювання реальних бойових прикладів (сценаріїв), що дає можливість кількісно оцінювати результати.

Таким чином, адаптація системи бойової підготовки заснована на уроках вивченого і впровадженого досвіду є логічним кроком на шляху до нашої перемоги.

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ БОЮ ПІДРОЗДІЛАМИ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ ЗА СТАНДАРТИЗОВАНИМИ ОПЕРАЦІЙНИМИ ПРОЦЕДУРАМИ

Д.О. Перемибіда; І.В. Матала; О.В. Жук

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Планування бойових дій на основі стандартних операційних процедур (далі – СОП) – це метод управління, за якого штаби використовують чітко визначені алгоритми та шаблони документів для швидкої організації бою. У Збройних Силах України цей підхід впроваджується через адаптацію стандартів НАТО.

Зазвичай, цей процес базується на 7-ми ступеневій моделі або аналогічних процедурах (наприклад, TLP – Troop Leading Procedures для тактичного рівня): отримання завдання; аналіз завдання – визначення обмежень, ризиків; розробка варіантів дій; аналіз варіантів – часто використовується шляхом розіграшом бою (варіантів дій); порівняння варіантів; затвердження рішення; видання бойового наказу – оформлення згідно з реквізитами оперативних документів.

Особлива роль стандартизованих операційних процесів у плануванні бойових дій на всіх рівнях полягає в: уніфікації – СОП визначають структуру штабних документів та процедури взаємодії; швидкості – стандартизація дозволяє скоротити час на розробку плану в умовах динамічного бою; взаємосумісності – використання СОП забезпечує ефективну роботу в складі родів військ та сил; аналізі досвіду – після виконання операції обов’язково проводиться процедура “Аналіз проведених дій/AAR” для вдосконалення майбутніх СОП.

Таким чином, стандартизація процедур планування та організації бою – це шлях до більш ефективного, швидкого і скоординованого застосування підрозділів на полі бою. Вона підвищує прогнозованість результатів, полегшує управління підрозділами і, зрештою зберігає життя військовослужбовців, забезпечуючи чітке розуміння кожним своєї ролі у загальному задумі операції.

ПІДГОТОВКА ТА БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДРОЗДІЛІВ АВІАЦІЇ

Н.О. Котишов

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Підготовка авіаційних підрозділів передбачає всебічне освоєння льотних навичок, розвиток бойового маневрування та ефективне використання сучасних літальних апаратів в умовах різної складності. Висока якість навчання гарантує точне виконання бойових завдань, удосконалену координацію між підрозділами та раціональне використання авіаційних ресурсів.

Бойове застосування включає організацію маневрених дій, швидке реагування на зміни обстановки та впровадження тактичних прийомів, що підвищують результативність воєнних операцій. Експлуатація авіаційної техніки потребує суворого дотримання технічних регламентів, регулярного обслуговування та постійного моніторингу її готовності.

Комплексний підхід до навчання і бойового застосування забезпечує стабільність та високу боєздатність Повітряних Сил в умовах сучасних технологічно складних конфліктів.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОДВИГУНА РОЗВІДУВАЛЬНОГО БПЛА І КЛАСУ ЗА ДАНИМИ TLOG-ФАЙЛІВ

*Ю.Л. Бондаренко, к.т.н.; І.А. Іщенко
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Ефективність застосування розвідувальних безпілотних літальних апаратів І класу безпосередньо залежить від тривалості їх перебування у повітрі. Для БПЛА з електричною силовою установкою цей показник визначається не лише ємністю акумуляторної батареї, але і режимами роботи електродвигуна та алгоритмами керування тягою.

На відміну від більшості відомих досліджень, у роботі проведено аналіз телеметричних log-файлів автопілота, отриманих під час виконання розвідувальних завдань у зоні ведення бойових дій. Для обробки даних було розроблено програму на мові Python, що дозволяє перетворювати tlog-файли у часові ряди параметрів польоту.

Аналіз близько 500 польотних tlog-файлів показав, що робота електродвигуна БПЛА має кусково-лінійний характер. У більшості випадків політ складається з трьох режимів: усталений крейсерський режим, режим максимальної швидкості та перехідні процеси.

Встановлено, що значна частина польотного часу припадає саме на усталений режим, при якому швидкість змінюється незначно, а струм має квазістаціонарний характер. При цьому відсутність просадок напруги свідчить, що причиною нерівномірності є не обмеження джерела живлення, а коригуючі дії автопілота та аеродинамічні збурення.

Отримані результати підтверджують, що підвищення енергоефективності БПЛА І класу доцільно здійснювати не лише за рахунок вибору типу ESC-контролера, але і шляхом оптимізації алгоритмів керування тягою у сталих режимах польоту.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПРОТИЗЛЕДЕННЯ ЛІТАКА ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Ю.П. Климок; Є.Ю. Рашевський; Н.М. Пантелєєва, д.е.н., к.т.н., проф.;
М.Е. Хуторна, д.е.н., проф.*

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Потреба виконання літаками військового призначення тактичних завдань за будь яких погодних умов зумовило необхідність розробки надійних систем протизледнення. Для своєчасного попередження льотного екіпажу про початок зледеніння літака, вжиття коригуючих заходів та автоматичного вмикання системи протизледнення літака, в складі бортового обладнання передбачено застосування сигналізатора/датчика зледеніння. Враховуючи застосування на вітчизняних літаках військового призначення морально застарілого радіоізотопного сигналізаторів зледеніння РІО-3(А),

недоцільність і неможливість ремонту, виникла нагальна потреба їх заміни на сигналізатор зледеніння Ice Detector 0871CT2 (США) в рамках модернізації системи протизледеніння.

Експериментальні дослідження літака типу Л-39 зі встановленим сигналізатором зледеніння Ice Detector 0871CT2 у форматі контрольних випробувань підтвердили можливість і безпеку його застосування. Це дозволяє підвищити функціональну надійність та електромагнітну сумісність системи протизледеніння, забезпечить льотну придатність літака без глибокого конструктивного втручання, а також відповідність сучасним вимогам авіаційної, екологічної та радіаційної безпеки.

Одержані результати контрольних випробувань є корисними для розвитку нормативно-методичної бази випробувань, масштабування застосування сигналізаторів зледеніння Ice Detector 0871CT2 або аналогічних йому на інших типах літаків, формування рекомендацій для подальшої модернізації авіаційної техніки.

ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПРОТИДІЇ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТАМ

*А.Ю. Скоцирев; А.В. Коваленко; Н.М. Пантелєєва, д.е.н., к.т.н., проф.;
М.Е. Хуторна, д.е.н., проф.*

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Системи, орієнтовані на виявлення, відстеження та нейтралізацію безпілотних літальних апаратів (С-UAS), стають невід'ємною частиною сучасної війни. Зарубіжний досвід виконання С-UAS-завдань свідчить, що повітряними транспортними засобами можуть виступати класичні літаки як повітряні платформи, оснащені спеціалізованими засобами РЕБ (С-UAS-орієнтації) для впливу на комунікаційні канали, керування і загальне подавлення електромагнітних систем БпЛА.

Аналіз застосування авіаційних РЕБ-платформ під час військових конфліктів вказує на еволюцію С-UAS, де на першому етапі РЕБ-комплекси виступали лише додатковим інструментом, на другому – відбулася системна інтеграція SIGINT (Signal Intelligence – розвідка сигналів) та РЕБ, на третьому (теперішній час) – розробка і використання спеціальних С-UAS.

Враховуючи, що під час військових конфліктів тактична авіація переважана, виникла потреба залучення простих та економічних авіаційних платформ, до яких відносяться легкі турбогвинтові літаки з фіксованим крилом. Розуміння цього зумовило розробку універсальних платформ для протидії БпЛА (наприклад, АТ-6 Wolverine (США), А-29 Super Tucano (Бразилія)) та прийняття їх на озброєння силами оборони провідних країн світу.

Україна в умовах воєнного стану для протидії БпЛА використовує легкомоторний літак Як-52, а в рамках міжнародної технічної допомоги отримала літаки Shark U-1 (Чехія) із РЕБ-комплексом, які передбачає прийняти на озброєння.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПЛЕКТУ МОТОРНОГО ПЛАНЕРУВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ БОМБИ

Є.Ю. Рашиєвський; Н.М. Пантєлєєва, д.е.н., к.т.н., проф.;

М.Е. Хуторна, д.е.н., проф.; О.О. Гончаренко, к.е.н., доц.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

У період 2024–2025 рр. проведено експериментальні дослідження у формі попередніх випробувань комплекту моторного планерування та керування (КМПК-250) для штатних авіаційних бомб типу ФАБ-250М-62 у складі коригованої планеруючої авіаційної бомби підвищеної дальності дії (КПАБ-250), основною конструктивною відмінністю якого від інших типів керованих авіаційних бомб є наявність малогабаритного турбореактивного двигуна (ТРД). Досліджувались особливості автономного квазі-горизонтального моторного польоту зразка (після його скидання з літака-носія) та вплив малогабаритного ТРД на формування дальності застосування. Методика включала оцінку дальності та тривалості автономного польоту, точності наведення на ціль та поведінки системи навігації в умовах впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ).

Уперше для виробу такого типу підтверджено запуск двигуна в сумісному польоті з носієм (із виходом на мінімально усталений режим) та подальший перехід на максимально усталений режим (після відокремлення від носія), що скорочує перехідний процес та знижує мінімально необхідну висоту скидання. Отримані експериментально дані засвідчили формування дальності польоту зразка за рахунок енергетичних ресурсів двигуна та визначили потенціал його застосування, з урахуванням впливу засобів РЕБ. Досягнуті практичні результати є попередніми та мають обмежену статистичну значущість, проте підтверджують перспективу розвитку і визначають напрями подальших досліджень із підвищення ефективності бойового застосування в цілому.

АДАПТИВНІ ДИСТАНЦІЙНО-КЕРОВАНІ МОДУЛІ ВЕРТОЛІТНОГО БАЗУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОГО РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ ВІД БпЛА

Д.В. Сивораक्षा; Т.Г. Дудник; Н.М. Пантєлєєва, д.е.н., к.т.н., проф.;

М.Е. Хуторна, д.е.н., проф.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Російсько-українська війна докорінно змінила місце БпЛА та перетворила їх на критично важливу зброю, забезпечуючи нові можливості для збройних сил та значно вплинуло на тактику і стратегію військових операцій. Своєю чергою, їх масове застосування ворогом зумовлює необхідність створення додаткових мобільних груп перехоплення БпЛА. У цьому контексті саме вертольоти мають перевагу над наземними групами завдяки швидкості маневрування та здатності виконувати бойові завдання за межами видимості наземних РЛС.

Дистанційно-керовані бойові модулі (ДКБМ) активно застосовуються Силами оборони, але новаторським є розгляд доцільності їх застосування з вертольотів для ефективної протидії малорозмірним БпЛА. За такого способу їх застосування важливе дотримання таких вимог: 1) забезпечення точності ураження цілей незалежно від маневрів вертольота; 2) використання алгоритмів ШІ для автоматичного виявлення, розпізнавання та супроводження малорозмірних об'єктів (дронів) на фоні земної поверхні; 3) можливість застосування вночі. У цьому контексті доцільним є проведення дослідницьких випробувань щодо технічної можливості та бойової ефективності оснащення вертольотів типу Ми-8 ДКБМ вітчизняного виробництва “Wolly” з кулеметом КТ-7,62. Вважаємо, що оснащення вертольотів ДКБМ має потенціал до підвищення якості захисту повітряного простору, а його застосування поміж іншого дозволить підвищити економічну ефективність виконання бойових завдань.

ОСОБЛИВОСТІ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВАЖЕЛЯ КРІПЛЕННЯ КОЛІС ОСНОВНОГО СТОЯКА ШАСІ ЛІТАКА СУ-24

Б.С. Карпінос, д.т.н., проф.; П.П. Ковель, к.т.н., с.н.с.;

Л.В. Нагорний; Ю.О. Манулін

Державний науково-дослідний інституту авіації

Із застосуванням сучасних CAD/CAE-засобів тривимірного моделювання, зокрема програмного комплексу SolidWorks, досліджено напружено-деформований стан важеля кріплення коліс основного стояка шасі літака Су-24, одного з критичних елементів планера. Програмний комплекс дозволяє на основі методу кінцевих елементів (Finite Element Analysis, FEA) виконувати розрахунки поточного і граничного стану конструктивного елемента (Stress Analysis) з урахуванням можливого впливу різних конструктивних і експлуатаційних чинників.

Побудовано віртуальні комп'ютерні моделі складових об'єкту та його зборки, виконано типову оптимізацію і фрагментацію мережі елементів. Сформульовано умови механічної взаємодії складових, а також граничні умови.

На основі виконаних числових дослідів встановлено особливості розподілу компонент напружень безпосередньо у важелі та в місцях локальної концентрації напружень. Визначено місця розташування небезпечних зон елемента, значення максимальних напружень в цих зонах під час експлуатаційних навантажень. Результати розрахунків засвідчили ефективність числових методів моделювання при розв'язанні задач статичної міцності і циклічної довговічності (Fatigue Analysis) і пошуку коефіцієнтів запасів статичної міцності і довговічності.

При розв'язанні задач додаткового враховується інформація об'єктивного контролю стосовно поточних експлуатаційних навантажень, що дозволяє оперативного готувати рішення щодо подовження або припинення експлуатації стояків шасі.

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ СИЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА ПРИ НАЯВНОСТІ БОЙОВИХ УРАЖЕНЬ

*А.С. Бологін, к.т.н., с.н.с.; Г.Т. Горохов, к.т.н., с.н.с.; І.А. Токар
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Отримання бойових уражень літаками в умовах бойового застосування авіації вимагає виконання відповідних заходів з відновлення та визначення умов їх подальшої експлуатації.

Для оцінки залишкової міцності від'ємної частини крила виконано чисельні експерименти по визначенню напружено-деформованого стану елемента крила літака Су-25 з бойовими ураженнями. Алгоритм розв'язку задачі полягає в побудові комп'ютерної моделі конструкції від'ємної частини крила з наявністю бойових уражень з використанням креслень розробника, далі її фрагментації скінченими елементами, закладання умов механічної взаємодії між деталями конструкції, прикладання крайових умов і безпосередній розрахунок визначення компонент напружень з аналізом розподілу по конструкції, особливо в місцях їх концентрації. Для цього використовуються сучасні програмні комплекси SolidWorks, ANSYS, які дозволяють розв'язувати прикладні задачі механіки твердого деформованого тіла за різноманітних граничних умов навантаження. За результатами моделювання напруженого стану з'ясовано можливість відновлення несучої здатності.

Основу розробленого методу складає прогноз складових надійності конструкції планера літака шляхом застосування ймовірнісної моделі втомної довговічності. Варіативність переліку вхідних та вихідних даних дозволяє запропонувати реалізацію експертно-аналітичного підходу до визначення шляхів усунення бойових уражень та припущень щодо умов подальшої експлуатації за відповідними алгоритмами.

Розроблений метод прогнозування дозволяє на основі комплексного використання даних неруйнівного контролю, результатів математичного моделювання та оцінок експертів встановлювати строк служби і ресурс при подальшій експлуатації планера літака типу Су-25, після усунення наслідків бойових уражень його конструктивних елементів.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ СИНХРОНІЗАЦІЇ РОЗВІДКИ ТА ВОГНЮ У ПРОЦЕСІ НАЗЕМНОГО ТАРГЕТУВАННЯ

*М.А. Баталов
Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії*

Сучасні бойові дії характеризуються високою динамічністю, широким застосуванням безпілотних систем, засобів радіоелектронної боротьби та високоточної зброї. За таких умов ефективність наземного таргетування безпосередньо залежить від рівня синхронізації розвідки та засобів вогневого впливу.

Однією з ключових проблем є часовий розрив між виявленням цілі та її ураженням. Умови швидкої зміни обстановки вимагають мінімізації циклу “виявлення – передача даних – прийняття рішення – ураження”, що особливо критично при ураженні пріоритетних та чутливих до часу цілей.

Другим проблемним аспектом є точність і повнота розвідувальної інформації. Похибка визначення координат цілі безпосередньо впливає на вибір типу боєприпасів. Недостатня інтеграція засобів розвідки, відсутність багатоджерельного підтвердження даних та вплив засобів радіоелектронної боротьби противника знижують точність ураження цілі.

Третьою проблемою є організаційна роз'єднаність процесів планування розвідки та планування вогню. У ряді випадків план збору розвідувальної інформації формується без належної прив'язки до пріоритетів ураження, а список вигідних цілей не завжди забезпечується відповідними засобами розвідки.

Окремої уваги потребує проблема оцінювання результатів ураження. Неналежа організація зворотного зв'язку між підрозділами, що здійснюють оцінювання, та органами управління вогнем ускладнює коригування подальших дій і прийняття рішень щодо повторного ураження.

Вирішення зазначених проблем потребує комплексного підходу, а саме тісної синхронізації розвідки і вогню, і є визначальним чинником підвищення ефективності вогню в сучасному бою та досягнення ефектів у визначені терміни.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ ПРОТИВНИКА

Є.Ю. Діденко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Прогнозування – це науково обґрунтоване судження щодо можливих майбутніх станів об'єкта прогнозування. Потреба у прогнозуванні зумовлена тим, що очікувані стани об'єкта істотно впливають на рішення, які приймаються в поточний момент. Прогноз може мати якісний або кількісний характер. Якісний прогноз формується на основі дедуктивних чи індуктивних міркувань, а також результатів аналітичного узагальнення даних. Кількісний прогноз пов'язаний із ймовірністю настання певних подій у майбутньому та з числовими характеристиками цих подій (наприклад, математичним очікуванням або найбільш імовірним значенням показника).

У ряді випадків для досягнення необхідного рівня зниження функціональної спроможності об'єкта потрібне збільшення тривалості виконання завдання, що може призвести до підвищення ризиків для виконавців. Тому доцільним є розподіл впливу на кілька послідовних етапів із визначеною періодичністю, яка, з одного боку, дозволяє змінювати умови виконання завдання, а з іншого – не дає об'єкту відновити свої функціональні можливості між етапами.

Результатами застосування методики є визначені:

математичне очікування здатності об'єкта виконувати свої функції після завершення впливу;

необхідна кількість етапів впливу;

інтервали часу між ними для досягнення поставленої мети.

Отримані результати можуть використовуватися як обґрунтування під час планування дій і розподілу ресурсів для впливу на складні об'єкти або системи.

МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ БОЄПРИПАСІВ У ПРОЦЕСІ НАЗЕМНОГО ТАРГЕТУВАННЯ

Ю.В. Міценко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Ефективність наземного таргетування безпосередньо залежить від обґрунтованого процесу вибору боєприпасів для ураження планових цілей. Формалізація цього процесу дозволяє підвищити об'єктивність оцінювання та забезпечити оптимізацію витрат ресурсів при збереженні необхідного рівня вогневого впливу.

Основою математичного обґрунтування є оцінювання ймовірності ураження цілі з урахуванням похибки визначення її координат, кругового імовірного відхилення засобів ураження, характеристики боєприпасів та параметрів цілі. Ймовірність ураження може визначатися як функція перекриття зони розсіювання боєприпасів із зоною вразливості цілі, що дає можливість розрахувати необхідну кількість боєприпасів для досягнення бажаного ефекту.

Критерієм оптимальності вибору виступає мінімізація інтегрального показника витрат за умови забезпечення встановленого порогу ефективності. Такий показник може враховувати кількість боєприпасів, їх вартість, логістичні обмеження, час підготовки, а також ризик супутніх збитків.

Для ураження одиночних цілей доцільним є застосування моделей імовірного ураження з використанням закону розподілу похибок. Для групових цілей використовуються моделі щільності накриття та розрахунок коефіцієнта насичення площі ураження. У випадку рухомих цілей враховуються параметри часу реакції засобів розвідки і вогневого впливу та прогнозування положення цілі.

Таким чином, математичне обґрунтування вибору боєприпасів дозволяє перейти від інтуїтивного або емпіричного підходу до формалізованої системи прийняття рішення. Це забезпечує раціональне використання засобів ураження, підвищує точність планування вогню та сприяє досягненню необхідних ефектів у встановлені строки при мінімальних ресурсних витратах.

РОЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЯК ОСНОВА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРОЦЕСІ ВІДНОВЛЕННЯ БОЄЗДАТНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ

Д.В. Савчук

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Відновлення боєздатності військової частини – це комплекс заходів, які проводяться з метою покриття втрат, нанесених противником, та досягнення потрібного рівня боєздатності, який дозволить реалізувати свої бойові можливості та забезпечить виконання військовою частиною бойового завдання. Ключову роль у цьому процесі відіграють рішення командира (начальника), які визначають спрямованість, послідовність та зміст заходів з відновлення боєздатності, а також рівень допустимого ризику під час їх реалізації.

Оцінювання передбачає аналіз як виконаних бойових (спеціальних) завдань, так і завдань, до виконання яких військова частина має бути підготовлена у подальшому. У ході цього аналізу встановлюються пріоритети

відновлення боєздатності, визначається необхідний рівень підготовленості сил і засобів перед їх повторним застосуванням, а також приймаються рішення щодо можливості заміни підрозділів або їх подальшого використання. Відповідальність за організацію та керівництво заходами відновлення боєздатності повністю покладається на командира, який діє у тісній взаємодії зі штабом.

Оцінювання відновлення боєздатності військової частини не може обмежуватися лише аналізом кількісних показників. Досвід бойових дій свідчить, що вирішальний вплив на здатність підрозділу виконати бойові (спеціальні) завдання мають якісні показники.

Таким чином, оцінювання відновлення боєздатності має носити комплексний підхід і охоплювати сукупність кількісних та якісних показників, що відображають реальний стан військової частини.

ПІДГОТОВКА ЯК ОСНОВА ЕФЕКТИВНОГО БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ)

В.М. Сай

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Підготовка військових частин (підрозділів) є фундаментальною основою їх ефективного бойового застосування, оскільки безпосередньо визначає рівень боєздатності, злагодженості та спроможності виконувати бойові (спеціальні) завдання в умовах бойових дій. Саме у процесі підготовки формується професійна майстерність особового складу, відпрацьовуються алгоритми дій у типових і нестандартних ситуаціях, забезпечується стійкість управління та досягається необхідний рівень взаємодії між підрозділами, родами військ і силами забезпечення.

Системна підготовка спрямована на набуття та підтримання практичних навичок бойового застосування озброєння і військової техніки, удосконалення тактичного мислення командирів усіх рівнів, а також підвищення морально-психологічної стійкості особового складу. Наближеність до реальних умов бойових дій та постійне коригування програм підготовки відповідно до змін характеру війни є необхідними умовами досягнення високої ефективності.

Водночас підготовка виступає інструментом зниження втрат, підвищення живучості підрозділів і раціонального використання наявних ресурсів. Завчасне відпрацювання питань бойового управління, маневру, вогневого ураження, всебічного забезпечення та відновлення боєздатності дозволяє командирам приймати обґрунтовані рішення в обмежені терміни.

Таким чином, підготовка не є окремим етапом діяльності військових частин (підрозділів), а становить безперервний процес, що інтегрує навчання, виховання та практичний бойовий досвід. Її якість і спрямованість безпосередньо визначають успішність бойового застосування військ.

СЕКЦІЯ 4

СТВОРЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Керівники секції: полковник Братусь О.М.;
д.т.н. проф. прац. ЗС України Ковтонюк І.Б.
Секретар секції: старший лейтенант Марченко А.О.

DISTRIBUTIVE APPROACH TO ENSURING STATISTICAL DATA HOMOGENEITY IN THE RELIABILITY ANALYSIS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

O. Bratus¹; O. Pankul²

*¹Air Force Aviation Command of the Air Force Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Statistics as a science is based on the analysis of homogeneous events. In the context of complex technical systems (TS), ignoring the physical and age-related differences of objects leads to obtaining “averaged” but factually unreliable reliability indicators. For obtaining informative results, it is necessary to conduct strict stratification (layering) of data.

An analogy is drawn between medicine and technical operation. Similarly to how medicine accounts for age groups (from childhood to old age), the assessment of a TS should be based on the dynamic stratification of its life cycle. This allows for the consideration of:

- Irreversible structural changes in materials;
- Metal fatigue;
- Accumulated wear (depreciation).

The foundation of the research is the development of a distributive approach, which classifies failures not just by the fact of occurrence, but by specific physical processes: corrosion, vibration, friction, and thermal loading. Such an approach allows for the isolation of time intervals with varying failure intensity, determined by both design features and the quality of repairs performed.

Particular attention is paid to the stage of extended operation τ_{ne} . It is proven that at this stage, latent failures, which are not detected by standard diagnostic tools, acquire critical importance.

Scientific novelty: A criterion ($\tau_{\text{факт}}/\tau_{\text{норм}} > 1$) is proposed, which serves as an indicator of the presence of latent defects. Such “anomalous” events should be excluded from the general calculation to maintain the purity of the sample.

For quantitative assessment of efficiency, it is proposed to use the technical utilization factor k_{TB} and the availability factor k_r at four key stages of the LC:

- Until the first major overhaul.

- Between repair cycles.

- Until the moment of decommissioning (completion of the assigned resource).

- At the “life extension” stage (beyond the assigned period).

The proposed methodology ensures the transition from the general analysis of a “data array” to the analysis of “homogeneous events”. This allows for the implementation of predictive management of the technical condition of the aviation and transport fleet, minimizing risks associated with unpredictable failures at critical stages of operation.

STUDY OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE SU-25 ATTACK AIRCRAFT WITH DIFFERENTIAL DEFLECTION OF THE SLATS TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF COMBAT OPERATIONS

*I. Kovtoniuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;
S. Drozdov, Candidate of Military Sciences; O. Sivik; M. Slavinsky
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current conditions of the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, increasing the combat effectiveness of attack aircraft is of particular importance. The experience of using the Su-25 during the current Russian war against Ukraine, the Joint Forces Operation and other conflicts has shown that one of the reasons for combat losses is the insufficient maneuverability of the aircraft when overcoming air defense zones and performing anti-missile maneuvers at very low altitudes.

The combat missions of the Su-25 attack aircraft were analyzed, the main tactical and technical requirements for the modernized aircraft were determined, and the probability of overcoming enemy air defense zones was assessed.

Taking into account economic and design constraints, the feasibility of using differential deflection of the slats on the aircraft has been substantiated. The proposed solution provides improved lateral controllability, increased permissible angle of attack, angular rate of roll and reduced turn radius without a significant increase in the aircraft's mass. This allows reducing the time spent in the air defense zone and increasing the probability of successful completion of the combat mission.

The operational manufacturability of the Su-25 aircraft has been analyzed. The specific labor intensity of aircraft maintenance and repair has been calculated. Directions and measures to increase the reliability of the aircraft have been proposed.

The results obtained can be used in the further modernization of tactical aviation aircraft.

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF INSTALLING ARTILLERY WEAPONS TO THE AIRFRAME OF AN AIRCRAFT

*O. Bratus¹; V. Onishchenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Yashchenok, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
B. Kyrychenko²*

*¹Air Force Aviation Command of the Air Force Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the operation of the aircraft, special attention should be paid to the attachment points of artillery weapons to the thin-walled structure of the airframe. Mounts are subject to significant vibrations and dynamic loads when using this type of weapon. Possible violations of combat power and premature depletion of resources of both the power elements of the airframe and the design of the suspended elements of the weapon can lead to the destruction of power structures. An urgent task is a preliminary assessment of the possibility of installing weapons on a helicopter.

To solve this problem, mathematical modeling is used to analyze the dynamic reaction of a helicopter when using artillery weapons and the action of large recoil forces on the aircraft structure. In the work, a mathematical model (MM) of the dynamic reaction of the structure as a non-stationary phenomenon of aeroelasticity was built, a package of application programs was created and numerical experiments were carried out on the basis of the joint solution of differential equations in time, describing the deformation, oscillation and load of the structure.

As a result of the research, the influence of design options and power supply schemes for attaching weapons to the airframe of an aircraft, weapons options and firing parameters, as well as elastic characteristics of the structure on its dynamic characteristics (forms and frequencies of natural vibrations) was analyzed. Parametric studies of the impact on the dynamic reaction and load of the rigid structure, masses and mass moments of inertia, variants of the weapon used and firing parameters (frequency of shots, duration of the burst, direction of fire) were carried out.

SELECTING THE OPTIMAL METHOD FOR AIRFLOW VELOCITY MONITORING

Ye. Ukrainets, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Ye. Spirkin, Ph.D.; K. Myronenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Accurate determination of airspeed is a critical prerequisite for flight safety and the reliable operation of aircraft control systems. Measurement errors have repeatedly contributed to emergency situations – arising from sensor failures or design limitations, as well as from erroneous crew actions prompted by unreliable data. The objective of this study was to compare the physical principles of flow velocity measurement and evaluate their suitability for aviation applications.

Methods are categorized into direct (mechanical) and indirect, which are based on recording associated physical effects such as thermal, acoustic, or pressure differential phenomena. This study examines mechanical, thermometric, vortex-shedding, laser-based, and ultrasonic methods, as well as systems measuring the difference between total and static pressure.

Mechanical instruments are structurally simple; however, they exhibit significant latency and low accuracy at low velocities, making them ill-suited for modern aircraft. Pitot-static systems remain the most prevalent, yet their reliability decreases in adverse weather conditions due to the risk of icing or blockage of the pressure ports, which can result in the loss of valid airspeed data.

Thermal anemometry sensors are compact and provide high response speeds but are sensitive to environmental factors and require regular calibration. Laser-based methods provide exceptionally high precision (up to $\pm 0,1\%$), but they are costly and depend on the presence of particles within the flow. Vortex methods are effective only within a limited velocity range.

Ultrasonic systems are considered the most promising: they provide an accuracy of approximately $\pm 2\%$ across a wide range, contain no moving parts, and are less susceptible to icing. Their implementation potentially allows for reducing measurement errors at high speeds from $\pm 10\%$ down to $\pm 4\%$. At the same time, developing a technologically simple and economically viable measurement complex remains a pertinent objective for further research.

FORMATION OF QUASI-OPTIMAL CONTROL OF SPATIAL MOTION OF COMBAT AIRCRAFT IN COMBAT APPLICATIONS

*O. Leontiev, Doctor of Technical Sciences, Professor;
A. Dmytriiev Candidate of Technical Sciences Senior Researcher;
A. Konstantinov; O. Ursol
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat conditions, the effectiveness of precision air drops is determined by the accuracy of guidance and the time required to perform the manoeuvre. Controlling the movement of an aircraft in conditions of variable flight parameters and a dynamic environment requires the use of adaptive control methods. Existing approaches do not sufficiently take into account the limitations of motion dynamics, aircraft characteristics, and the influence of external factors, which leads to a decrease in the accuracy and effectiveness of combat missions. In this regard, it is important to develop a methodological approach to the synthesis of quasi-optimal control of the spatial movement of an aircraft, which ensures minimisation of the manoeuvre execution time while complying with the established limitations.

The work uses a mathematical model of the spatial motion of an aircraft in a high-speed coordinate system, described by a system of differential equations that takes into account aerodynamic forces, engine thrust, angular motion parameters, and atmospheric characteristics. Numerical integration of the equations of motion was performed using the Runge–Kutta method, which made it possible to study the process of the aircraft reaching the drop point under various initial flight conditions. The simulation results confirmed the stability of the proposed control algorithm and its ability to ensure the specified motion trajectory.

It has been established that the developed methodological approach ensures the formation of quasi-optimal control, which allows minimising the time to reach the drop point and increasing the accuracy of target engagement. The results obtained can be used in the creation and improvement of control algorithms for combat aircraft and helicopters in order to increase the effectiveness of combat missions in difficult conditions.

FORMALISATION OF DECISION-MAKING ON THE IMPLEMENTATION OF MILITARY REPAIRS TO AVIATION EQUIPMENT OF THE SU-27 AIRCRAFT IN COMBAT CONDITIONS

*O. Leontiev, Doctor of Technical Sciences, Professor;
Y. Tryhub, Ph.D.; D. Berdochnik, Ph.D.; M. Dudko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The combat use of Su-27 aircraft is accompanied by an increase in failures and damage to aviation equipment under conditions of limited resources and a shortage of time to restore combat readiness. The existing maintenance and repair system is focused on peacetime procedures and does not contain formalised criteria for selecting military repair methods that take technical risk into account. As a result, decisions on the feasibility and scope of repairs are often made on a case-by-case basis.

The paper develops a methodology for military repair of Su-27 aircraft aviation equipment in the form of a decision-making algorithm. The methodology takes into

account the maximum repair time, the capabilities of the engineering and aviation service units, the criticality of the equipment for flight safety, the labour intensity of the work and the level of residual risk. The algorithm determines the sequence of checks on the feasibility of repairs, the possibility of ensuring flight safety, and the choice of repair method (unit replacement, local or temporary repair).

The proposed methodology unifies the decision-making process, reduces the influence of subjective factors, and ensures the coordination of repair efficiency requirements with an acceptable level of technical risk, which contributes to maintaining the combat readiness of aviation units in combat conditions.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF CREATING A SUPERSONIC UNMANNED MULTI-PURPOSE AIRCRAFT

*E. Illenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
D. Yavorsky; B. Kirichenko; M. Herasimova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Today, modern warfare is not complete without the use of unmanned aerial vehicles, which now provide combat missions that were previously performed by manned aircraft or equipment. And the next step in the development of unmanned aerial vehicles will be the creation of a supersonic unmanned multi-purpose aircraft that will ensure the fulfillment of tasks to gain air superiority and destroy military equipment and reconnaissance.

The advantages and disadvantages that a supersonic unmanned multi-purpose aircraft will have in comparison with manned counterparts were considered. Possible tactical and technical characteristics for an unmanned aerial vehicle of this type were also considered, which could ensure the performance of tasks similar to multi-purpose aircraft, taking into account possible disadvantages and advantages.

It is proposed to study possible ways to create a supersonic unmanned multi-purpose aircraft by adapting the necessary systems for unmanned control to existing aircraft or the possibility of designing a new aircraft with optimal tactical and technical characteristics.

ON THE ISSUE OF DETERMINING THE VARIABLE LOAD ON THE ROPE OF THE EXTERNAL SUSPENSION OF A HELICOPTER

*L. Oleksiyeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
Y. Ilenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Steel ropes used for external suspension largely determine the reliability of the entire system: helicopter – rope – cargo. The rope is an integral part of the entire complex transport complex.

The efficiency of using helicopters for cargo transportation depends not only on the perfection of the aircraft, but also on the perfection and performance of steel ropes for external suspension. The problem of determining the variable loads on the rope during the movement of the helicopter has recently received particular attention. Therefore, there is a need, first of all, for theoretical research conducted on a rope model in conditions of horizontal helicopter flight, taking into account the size of the load.

To create a mathematical model of the rope motion in horizontal flight conditions, it is proposed to take into account the force factors and kinematic characteristics of the helicopter motion. The rope is considered as a flexible weighted inextensible thread; at the beginning of the motion, it receives longitudinal and transverse deviations of its axis from the vertical position.

The rope element was considered, at the first stage the problem of estimating dynamic forces was solved without taking into account the specific design of the rope and its elastic characteristics.

The problem of determining the variable load along the length of the rope and determining its value during operation is quite complex, its solution requires very careful consideration of the results of accumulated experience.

The authors propose to improve the methodological approach to evaluating the research results. At this stage, appropriate calculations were performed, which allow us to draw some conclusions regarding the prediction of the behavior of the rope when applying an external load. Studies have shown that it is possible to establish some regularities of variable rope tension, taking into account force and kinematic characteristics.

PREDICTION OF TARGET MOTION IN THE SOLUTION OF AIMING PROBLEMS DURING ENGAGEMENT OF AIRBORNE TARGETS

*A. Dmytriiev¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Ursol¹; S. Horbenko², Candidate of Military Sciences; A. Konstantinov¹*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Defence University of Ukraine

The solution of the aiming problem when engaging an airborne target consists in determining the weapon's orientation relative to the target such that projectile impact is ensured while maintaining the safety of the host aircraft. This process involves computing the projectile's flight trajectory as well as estimating the kinematic parameters of the target.

A critically important parameter in aiming is the target lead angle, ψ . Its determination requires knowledge of the target's linear displacement vector over the projectile's time of flight.

Predicting target motion therefore requires either the law governing the variation of the control function or the law describing the evolution of the target's coordinates.

Direct observation from the carrier platform provides access only to certain relative quantities, such as range, the target's angular coordinates with respect to the observation point, and the angular rates of the line of sight.

In practical applications, target motion is evaluated by adopting an appropriate hypothesis that captures the most significant characteristics of the target's behavior. In accordance with the selected hypothesis, an analytical representation of the target's motion law is then specified.

The most commonly employed hypotheses include:

1. The hypothesis of rectilinear uniform target motion.
2. The hypothesis of target motion with constant acceleration.

Additional hypotheses may also be considered, including:

target motion with constant acceleration magnitude;
target motion along an Archimedean spiral;
target motion with constant angles of attack and bank.

Accordingly, the quality of the solution to the airborne target aiming problem depends substantially on the chosen hypothesis of target motion, as well as on the capabilities of the hardware and software components of the aircraft's fire-control system.

EVALUATION AND IMPROVEMENT OF GEAR TRANSMISSION IN THE DRIVE OF AN AVIATION MECHANISM

*Y. Ilenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Vnukov; M. Herasimova; V. Kudriashova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Gear transmissions in aviation mechanisms are one of the most important elements of power drives, as they ensure the transfer of power from the engine to the executive systems with kinematic precision.

The transmission is evaluated according to several parameters. First, according to the strength of the teeth, which is determined by contact stresses and bending stresses. Second, according to wear resistance, which depends on the material, heat treatment and lubricant quality. Thirdly, by the transmission efficiency, which should be as high as possible (0.98–0.99), because energy losses in aviation systems are minimized as much as possible. Finally, an important criterion is vibration reliability, as resonance vibrations can lead to emergency situations.

Gear transmission improvements can be made in several areas. Geometric solutions include tooth profile modification and the use of helical and chevron gears. Materials and processing involve the use of high-strength alloy steels, surface carburising, nitriding and laser hardening. Manufacturing technology is being improved through high-precision grinding and microgeometry control using 3D scanning. Operational measures include the use of aviation lubricants with anti-friction additives and an active gearbox cooling system. Diagnostics are performed through vibroacoustic monitoring and real-time control of temperature and lubrication properties.

The use of nano-coatings that reduce friction is promising. An important direction is the introduction of intelligent control systems that allow predicting the remaining transmission life and preventing emergency failures.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF EXPANDING THE COMBAT CAPABILITIES OF A TRANSPORT AND COMBAT HELICOPTER

*Y. Ilenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
T. Deineko; B. Kirichenko; M. Herasimova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Today, the proposal to increase the efficiency of the use of transport and combat helicopters to perform the range of combat missions performed by helicopters of this class is relevant. The relevance of the proposal is due to the growing role of high-precision weapons, anti-drone weapons and electronic warfare equipment.

The main design and operational limitations of common helicopter platforms in the Armed Forces of Ukraine, which affect the effective performance of combat missions, were analyzed. Possible tasks that can be performed by already modified helicopter platforms in the future were also analyzed.

It is proposed to explore possible directions for the modernization of standard artillery and guided weapons, the adaptation of new means of destruction or electronic warfare and reconnaissance means. It is also proposed to investigate the adaptation of modern aimed navigation systems and means of countering aviation means of destruction and crew protection without a significant decrease in operational characteristics.

DANGER OF RESONANT VIBRATIONS OF THE TAIL SHAFT OF A HELICOPTER TRANSMISSION

*V. Onyshchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Herasimova; M. Lutsyshyn
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The helicopter transmission is a set of gearboxes and shafts designed to transfer power and torque from the engines to the main and tail rotors. During operation, the transmission shafts are subjected to constant and variable bending and torsional moments, which cause stresses with constant and variable components.

The development of torsional and transverse vibrations of the tail shaft is particularly dangerous for the helicopter. Torsional vibrations are excited by variable torsional moments, mainly from the tail rotor, as well as moments from the main rotor and engines. Transverse vibrations arise due to vibrations of the tail boom and rotation of the shaft. During operation, free and forced vibrations are possible, which are characterised by their natural frequencies. The dynamic characteristics of the transmission depend on the stiffness of the shafts and the distribution of masses.

Experience in operating helicopters shows that the greatest danger is posed by resonance mode, in which the frequency of disturbances coincides with the natural frequency of the system. In this case, the variable component of the torque increases sharply, leading to an increase in the rate of transmission resource consumption. If the operating frequency of the shaft rotation is equal to the critical frequency, intense transverse vibrations occur, and even destruction of the transmission elements is possible.

A separate threat to the helicopter is the destruction of the tail shaft support. This causes a decrease in the critical rotation frequency and creates conditions for resonance. At the same time, the amplitude of transverse vibrations increases rapidly, which increases the stress in the shaft material and can lead to the formation of fatigue cracks.

Thus, resonance phenomena in the tail shaft transmission are one of the most dangerous problems in helicopter operation, as they lead to increased stress, accelerated wear and possible destruction of transmission components, which directly affects flight safety.

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE TECHNICAL PERFECTION OF COMBAT AIRCRAFT AND THEIR ENGINES

*V. Rublov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Otreshko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

These abstracts focus on the development and application of an integral method for the quantitative assessment of the technical perfection of combat aircraft and their aero-engines. The research methodology is based on the formation of

a composite integral indicator (CIIP), which integrates 26 key characteristics: thermodynamic, structural, flight-performance, and operational. To ensure an objective comparison, a Min-Max data normalization procedure and a system of expert weight coefficients were applied.

Within the scope of this work, objects were classified according to a fundamental criterion – total afterburning thrust. This allowed for the identification of four representative groups and minimized the impact of data variance between different aircraft classes (from light fighters to strategic bombers).

Key research results:

A stable positive dynamics of technical progress in aviation systems over the past 70 years has been confirmed.

For the G1 group (thrust ≤100 kN), a phase of intensive qualitative leap was identified between 1951 and 1960, associated with the introduction of afterburning turbojets, followed by a period of evolutionary optimization due to the transition to afterburning turbofans.

In the G2 group (100–200 kN), a linear growth of the CIIP was recorded due to the widespread introduction of 4th and 5th generation engines, which allowed for a simultaneous increase in turbine inlet temperature, improved fuel efficiency, and reduced specific mass.

It is proven that the integral approach allows for the correct ranking of aviation complexes by the level of their engineering perfection, taking into account the principle of engineering trade-offs.

PROBLEMS OF RESTORATION AND REPAIR OF ARMY AVIATION HELICOPTERS IN FIELD CONDITIONS

*Yu. Skoryi, Candidate of Technical Sciences; D. Lavrenchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern war conditions, army aviation helicopters play an increasingly important role in strengthening the combat potential of the Defense Forces of Ukraine. They ensure the performance of combat missions in various geographical and climatic conditions, including the use of both conventional and high-precision weapons. Special emphasis is placed on their use as mobile fire platforms capable of destroying tanks, infantry fighting vehicles and other key enemy ground targets, as well as conducting air combat with enemy unmanned aerial vehicles, performing air defense tasks of troops and infrastructure facilities of the state.

At the same time, the proximity of field airfields to the combat zone increases the likelihood of helicopter flights being detected and enemy strikes on their positions. In this regard, there is a need for constant movement of helicopters in the combat zone and organization of maintenance and repair of aviation equipment in field conditions, which leads to the following problematic issues in the organization of the work of the aviation engineering service (AES):

- complicated control over the progress of work on the airfield by the management of the AES unit;

- lack of spare parts, components and special tools, the difficulty of their delivery to the combat zone;

- insufficient number of qualified engineering and technical personnel capable of promptly carrying out complex repairs in the field at several sites;

- increased need for airfield technical support to prepare helicopters for combat flights due to the significant distances between helicopter groups;

increased labor costs for maintenance and repair of the airfield, associated with additional work on masking helicopters, ground service facilities, control and inspection equipment, aviation weapons and other equipment.

**SUBSTANTIATION OF PROPOSALS FOR MODERNISATION
OF THE TRAINING AIRCRAFT TO IMPROVE ITS TACTICAL
AND TECHNICAL CHARACTERISTICS, TAKING INTO ACCOUNT
THE EXPERIENCE OF COMBAT OPERATIONS**

*R. Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; Ye. Melnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Taking into account the experience of modern armed conflicts, the training of flight personnel requires a qualitatively new approach to the functionality of training aircraft. Increasing the effectiveness of training is achieved by modernising the tactical and technical characteristics (TTX) of aircraft, which allows you to bring the training conditions as close as possible to real combat conditions. The report proposes to analyse the current trends in the development of training aviation, the peculiarities of pilot training in the conditions of real combat operations and to propose ways to optimise the design of the training aircraft and its onboard systems.

It is proposed to increase the tactical and technical characteristics of the modernized aircraft by using a new swept wing in its design. It was proposed to improve the flight characteristics of the aircraft, in particular, to increase the maximum speed of horizontal flight by installing a wing of small sweep.

A structural and power scheme of the new wing was developed, its main elements for strength were calculated. The issue of aircraft airframe maintenance is considered.

The design improvements made it possible to increase the maximum speed of horizontal flight by 9.7 %, thereby increasing its combat effectiveness.

**IMPROVEMENT OF TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS
OF THE MI-8 HELICOPTER BY INCREASING ITS SURVIVAL
BY ARMORING THE CREW CABIN IN THE CONDITIONS
OF MODERN COMBAT OPERATIONS**

*M. Mazunov; R. Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Taking into account the experience of modern combat operations, the issue of increasing the survivability of army aviation, in particular helicopters, performing combat missions in the zone of active use of a large number of the most modern means of destruction, including FPV drones, loitering munitions and air-to-air and surface-to-air guided missiles, is of particular relevance. One of the current threats to army aviation is secondary debris damage in the air, which can occur during combat missions, especially at low and medium flight altitudes.

The report proposes to consider areas for improving the tactical and technical characteristics of helicopters by increasing the level of protection of the crew cabin. Particular attention is paid to the analysis of the vulnerability of the debris field of the front projection of the helicopter, as well as the assessment of their impact on the most vulnerable elements of the helicopter structure.

One of the promising ways to increase survivability is the use of local cabin armor using modern composite and multilayer materials. Such solutions reduce the risk of pilots being hit by debris with a minimal increase in the mass of the structure. The modular principle of armoring makes it possible to adapt solutions to existing types of helicopters without significantly affecting their flight characteristics.

The implementation of the proposed measures will contribute to increasing the crew's survival rate, maintaining the helicopter's controllability in combat conditions, and generally increasing the effectiveness of the use of army aviation in the face of modern threats.

RESEARCH INTO IMPROVEMENT AREAS OF THE LIGHT HELICOPTER CONTROL SYSTEM

V. Varvarov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Lototskii; P. Rusinov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The control system of a light helicopter is a key element that ensures its stability, maneuverability, and flight safety. During prolonged operation, backlash develops in the hinge joints of the mechanical control linkages, reducing the accuracy of force transmission from the control inputs to the swashplate. This leads to a delay in the helicopter's response to pilot inputs, reduced control sensitivity, and increased dynamic loads on structural elements.

To solve this problem, it is proposed to replace conventional hinge joints of the control linkages with preloaded bearing connections. The structural design of such a joint ensures minimal clearance in the connections and increased rigidity of the system. The preload allows the control characteristics to remain stable even in the event of partial component wear, which is particularly important for training and multi-role helicopters.

The proposed technical solution will contribute to improving control accuracy, reducing vibration loads, and increasing the overhaul service life of the system without significantly increasing structural weight.

RESEARCH INTO IMPROVEMENT AREAS OF FIGHTER AIRCRAFT ENGINE PROTECTION SYSTEMS AGAINST FOREIGN OBJECT INGESTION

P. Rusinov; O. Lototskii; A. Marchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The problem of foreign object ingestion into fighter aircraft engine air intakes remains relevant due to its significant impact on propulsion system reliability and flight safety. Damage to first-stage blades leads to reduced engine efficiency, increased vibration levels, and the need for premature repair. The most critical conditions arise during takeoff and taxi operations at airfields with contaminated or deteriorated runway surfaces.

To solve this problem, the installation of an inertial air separator in the engine air intake duct is proposed. Structurally, the solution involves the formation of a curvilinear duct section incorporating a bypass channel for the discharge of

separated particles. Under the action of centrifugal forces, solid particles are deflected from the main air flow and removed before entering the compressor.

The proposed design makes it possible to reduce the concentration of foreign particles in the inlet flow without significant total pressure losses, thereby maintaining the aircraft's thrust characteristics. The implementation of this solution will contribute to extending engine service life and reducing operating costs.

CURRENT TRENDS IN SCIENTIFIC SUPPORT FOR AUTOMATED CONTROL SYSTEMS IN THE AIR FORCE

*V. Zhyrun; N. Fomuk; S. Pleshkunov, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Automated control systems (ACS) for aviation and air defense are a key element in ensuring the combat effectiveness of the Air Force. Their development requires constant scientific support, which includes modeling combat processes, analyzing the effectiveness of control algorithms, and integrating modern means of communication and data processing.

In modern air operations, the speed of decision-making, the resistance of systems to radio-electronic interference, and the ability to operate in a unified information space are of particular importance. Scientific research is aimed at increasing the level of automation, introducing intelligent decision-making support algorithms, and adapting systems to the conditions of network-centric warfare.

Thus, scientific support for the development and operation of automated control systems is the basis for improving the combat capabilities of aviation and air defense units, ensuring their efficiency, accuracy, and reliability in modern airspace.

PROMISING AREAS FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS SUPPORT FOR THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*V. Zhyrun; N. Fomuk; S. Pleshkunov, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Logistical support is one of the key components of the combat capability of the Ukrainian Air Force. In the context of modern military threats and the high intensity of aviation use, the speed of supply, the flexibility of the logistics system, and its resistance to enemy influence are of particular importance.

The prospects for the development of Air Force logistics are linked to the digitization of resource accounting and control processes, the introduction of automated inventory management systems, the optimization of supply routes, and integration with the unified logistics system of the Armed Forces of Ukraine. An important direction is the creation of mobile and dispersed logistics structures capable of ensuring the functioning of aviation units in conditions of maneuverable combat operations.

Further development of logistics support should be based on the principles of adaptability, compatibility with partner standards, and the introduction of modern information technologies. This will increase the efficiency of resource use, reduce response times, and ensure the continuity of combat aviation operations.

THE IMPORTANCE OF AIRCRAFT REPAIRABILITY IN THE CONTEXT OF MODERN WARFARE

N. Fomuk; V. Zhyrun; S. Pleshkunov, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of the Russian-Ukrainian war has demonstrated that the effectiveness of aviation equipment is determined not only by its tactical and technical characteristics, but also by its ability to recover quickly from combat damage. In conditions of constant missile strikes and limited resources, maintainability becomes one of the key factors in maintaining the combat readiness of aviation units.

Repairability is characterized by a set of design and organizational properties that ensure minimal time and costs for restoring the product's performance.

The adaptation of aircraft design for rapid field repairs is becoming particularly relevant. This involves ensuring the availability of units, the use of quick-release connections, the redundancy of critical systems, and the localization of damage without loss of overall performance. The introduction of digital technical condition monitoring systems plays an important role, allowing for the rapid detection of failures and calculation of remaining service life.

The formation of mobile repair and restoration units and the use of modern production technologies ensure the rapid return of aircraft to service.

Consequently, maintainability is a strategic indicator of the effectiveness of aviation equipment in modern warfare. The integration of maintainability requirements at the design stage and their systematic implementation during operation ensure increased combat survivability and effectiveness of aviation units.

ADAPTATION OF AVIATION TECHNOLOGY TO THE CONDITIONS OF MODERN ARMED CONFLICT: CREATION, OPERATION, RESTORATION

V. Zhyrun; N. Fomuk; S. Pleshkunov, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

An analysis of the experience of the Russian-Ukrainian war has demonstrated the need to review the technical requirements for the design, operation, and restoration of aviation equipment. The main factors influencing this are the high intensity of combat sorties, damage to airfield infrastructure, and the use of high-precision weapons and electronic warfare systems.

When designing aircraft, priority is given to improving the structural survivability of the airframe, shielding and redundancy of onboard systems, and the introduction of modular avionics and weaponry architecture. The modular principle reduces the time required to replace functional units, simplifies fault diagnosis, and increases technical readiness.

Operation in wartime conditions requires optimization of inter-repair resources, implementation of condition-based maintenance systems, and decentralization of maintenance forces and resources. The creation of mobile repair and restoration units capable of performing routine maintenance and repairing damaged units in the field plays a particularly important role.

In the field of repair, it is important to expand the range of restoration technologies, apply modern methods of defect detection, and improve the spare parts supply system. Summarizing combat experience and integrating it into regulatory and technical documentation is a key factor in improving the reliability, maintainability, and operational efficiency of aviation equipment.

APPROACHES TO DETERMINING THE CONTENT OF THE PACKAGE OF SPARE PARTS, TOOLS AND EQUIPMENT FOR F-16 AIRCRAFT BASED ON THE EXPERIENCE OF THEIR OPERATION IN THE CONDITIONS OF A FULL-SCALE WAR IN UKRAINE

*R. Chygryn, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; P. Timoshenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of operating aircraft in Ukraine as of the beginning of 2026 demonstrates the high intensity of combat use and the rapid adaptation of Western aviation equipment to the conditions of a full-scale war. These aircraft have become one of the key elements of air defense and fire destruction of the enemy. In the future, their role will only grow.

The widespread use of F-16 aircraft to perform combat missions significantly affects the growth of the volume of work on the restoration and maintenance of this type of aircraft. In turn, this is not possible without the necessary spare parts, tools and accessories. To date, the availability of spare parts, tools and accessories remains partial, their supply is carried out on requests from the existing fund of new spare parts of partner countries and the use of “donor” aircraft. In view of this, the formation of spare parts, tools and accessories sets for Ukrainian F-16s is an important task to ensure the maintenance of the required level of their combat readiness in conditions of intensive combat operations and dispersed basing of aviation equipment. This is critical for the rapid replacement of scarce components without waiting for new supplies from partner countries.

The paper considers approaches to forming the content of a package of spare parts, tools and accessories based on an analysis of the intensity of failures, combat and operational damage to F-16 aircraft, identification of critically important spare parts, tools and accessories by the degree of impact on the restoration of combat readiness of the specified aircraft, rationing of spare parts by service life, taking into account the development of the list of works to which aviation unit specialists are allowed.

The implementation of these approaches will allow for the formulation of proposals regarding the content of the package of spare parts, tools, and accessories for F-16 aircraft to maintain a given level of combat readiness of aviation units.

FEATURES OF CREATING AND RAPIDLY SCALING UP UAV PRODUCTION UNDER MARTIAL LAW

*A. Derevianko; V. Kapytsia; K. Melnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The full-scale aggression of the Russian against Ukraine has significantly changed approaches to the use of aviation technology. Unmanned aerial vehicles (UAVs) have become one of the key tools in modern warfare – from

tactical reconnaissance and artillery correction to strike missions and logistical support.

One of the features of creating UAVs in wartime is the modularity of their design, which allows different types of payloads to be integrated onto a single base platform – reconnaissance cameras, signal repeaters, weapons, or specialized sensors. This approach increases the versatility of the product, simplifies repair and modernization, and creates the conditions for scaling up production without significant restructuring of technological lines.

Rapid scaling up of UAV production under martial law involves decentralizing production capacities and dispersing technological processes, which reduces vulnerability to missile strikes and sabotage. Small and medium-sized businesses, engineering startups, research institutions, and volunteer initiatives are actively involved in the production process, forming a flexible cooperative network.

The experience of modern warfare shows that the effectiveness of UAVs directly depends on the state's ability to ensure a flexible, technologically adaptive, and sustainable system for their creation and serial production.

ELECTRONIC REGULATOR WITH PULSE-WIDTH MODULATED CONTROL SIGNAL

*A. Litvyak¹, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Komar², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

¹National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This work is devoted to the study of the possibilities of using an electronic regulator with a pulse-width modulated (PWM) control signal to improve dynamics and prevent the development of self-oscillations in the automatic control system of the rotor speed of a helicopter with turboshaft gas turbine engines (TGV) of the TV3-117 type.

The work presents a mathematical model of an electronic regulator with a PWM control signal. The possibility of combining a regulator with a PWM control signal with the actuator of the HP-3 pump-regulator of the TV3-117 engine is shown.

The results of a numerical study of the influence of the dynamic parameters of the electronic controller on the weight characteristics of the automatic rotor speed control system (ARPNS) are presented, taking into account the uncertainty of the dynamic parameters of the TV3-117 engine and the dynamic parameters of the HP-3 pump-regulator.

IMPLEMENTATION OF CONDITION-BASED MAINTENANCE STRATEGY FOR MIG-29 FLEET AS AN ALTERNATIVE TO SCHEDULED MAINTENANCE

*R. Abbasov; V. Piatenko; O. Moshkivskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Traditional Soviet-era maintenance regulations for the MiG-29 fighter aircraft, particularly for the RD-33 engines requiring overhaul every 350–500 flight hours, have proven excessively time-consuming and economically burdensome under modern combat conditions. During intensive military operations, rigid scheduled

maintenance intervals result in unnecessary aircraft groundings, reduced fleet availability, and suboptimal resource allocation. The current operational environment demands more adaptive and efficient maintenance approaches that can maximize combat readiness while ensuring safety and reliability.

This study aims to develop and validate a Condition-Based Maintenance (CBM) strategy for the MiG-29 fleet that enables maintenance decisions based on actual equipment condition rather than predetermined schedules. The research focuses on integrating real-time diagnostic technologies to extend inter-maintenance intervals while maintaining or improving operational safety margins.

The proposed CBM framework incorporates advanced diagnostic technologies including: (1) real-time oil debris monitoring sensors utilizing Spectrometric Oil Analysis Program (SOAP) principles to detect metallic particles indicating wear progression; (2) infrared thermography systems for continuous engine thermal profiling to identify abnormal temperature patterns; (3) vibration analysis for bearing and rotordynamic health assessment; (4) integration of flight data recorder information for correlation with engine operational parameters. These technologies enable immediate condition assessment and evidence-based maintenance interval extension.

Implementation of CBM strategy is expected to achieve: 25–35 % reduction in unscheduled maintenance events through early fault detection; extension of maintenance intervals by 15–20 % for engines demonstrating healthy operating parameters; 30–40 % improvement in fleet availability rates; significant reduction in spare parts consumption and logistics burden; enhanced mission readiness without compromising safety standards. The system provides commanders with real-time fleet health visualization for optimal resource allocation.

METHODOLOGY FOR ASSESSING RESIDUAL FATIGUE STRENGTH OF MIG-29 WING ATTACHMENT NODES AFTER EXCEEDING LIMIT OVERLOADS

S. Vysochkin; O. Moshkovskyi; R. Abbasov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During air combat operations and missile evasion maneuvers, pilots frequently exceed the design load factor of +9G specified for the MiG-29 aircraft. These excessive overloads lead to the formation of microcracks in critical structural components, particularly in the wing attachment frames (shpangouts), which significantly reduces the aircraft's operational safety margin and remaining service life.

The objective of this study is to develop a comprehensive methodology for assessing the residual fatigue strength of MiG-29 wing attachment nodes following overload events, enabling accurate prediction of remaining safe operational hours before major overhaul is required.

The proposed approach involves the development of a digital twin algorithm for the airframe structure. This algorithm processes data from onboard flight data recorders (FDR) to calculate accumulated fatigue damage. The methodology integrates finite element analysis (FEA) of critical structural nodes, material fatigue characteristics, actual flight load history, and non-destructive testing results to provide real-time structural health assessment.

Implementation of this digital twin-based assessment system will enable: accurate calculation of residual structural life after each overload event; optimization

of maintenance scheduling based on actual structural condition rather than conservative time-based intervals; significant extension of aircraft operational availability while maintaining safety standards; reduction in unscheduled groundings and maintenance costs. The system will provide commanders with data-driven decision support for fleet management in combat conditions.

OPTIMIZATION OF THE RESOURCE OF THE Mi-8 HELICOPTER IN CONDITIONS OF INTENSIVE OPERATION AND COMBAT USE

A. Derevianko; Y. Vakulko; A. Kruts

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Experience in operating Mi-8 helicopters during the full-scale russian invasion has shown that intensive combat use requires a review of methodological approaches to assessing technical condition and justifying resource consumption. Flying at maximum operating limits, intensive maneuvering, and the use of onboard weapons lead to an increase in vibration and dynamic loads, acceleration of fatigue processes, and a change in the spectrum of natural frequencies of the structure due to local damage and a decrease in the rigidity of power elements, which increases the risk of resonance phenomena.

Resource optimization involves the introduction of systematic vibration monitoring, timely flaw detection, adjustment of overhaul intervals and combat use modes, taking into account actual operating conditions. It is advisable to keep individualized records of the resource of each aircraft, taking into account not only flight hours, but also the intensity of combat load and the nature of damage sustained. A comprehensive approach allows for more accurate prediction of damage accumulation, reduces the rate of resource consumption, and ensures the necessary level of combat survivability of aviation equipment.

ANALYSIS AND PROPOSALS FOR OPTIMIZING THE MIG-29 AIRCRAFT REPAIR SYSTEM AT THE AIRCRAFT REPAIR ENTERPRISE

V. Kapytsia; V. Kapytsia; D. Snizhko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern conditions of aviation equipment operation, the issue of improving the efficiency of the combat aircraft repair system, in particular the MiG-29 type, is becoming particularly relevant. The reliability and readiness of these aircraft to perform combat missions largely depend on the quality of maintenance and repair processes at aircraft repair enterprises.

The study examines the main stages of the repair process, the specifics of diagnosing the technical condition of units, as well as organizational and technical factors that affect the quality and timing of repair work.

The analysis showed that the main problems with the repair system are the worn-out material and technical base, insufficient automation of diagnostic procedures, and the complexity of spare parts supply logistics. This leads to longer repair times and reduced efficiency.

In order to optimize the MiG-29 aircraft repair system, it is proposed to introduce modern methods of technical diagnostics, improve the repair work planning system, and increase the level of training of engineering and technical personnel.

The implementation of the proposed measures will reduce repair times, improve repair quality, and ensure increased reliability of MiG-29 aircraft during their further operation.

RESEARCH INTO THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE MIG-29 FIGHTER JET WITH SWING WINGS, TAKING INTO ACCOUNT COMBAT EXPERIENCE

D. Bondarenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Taking into account the results of the analysis (Russia's capabilities to manufacture long-range missiles and drones; the real state of technology development in Ukraine; the capabilities of defense industry of Ukraine and the urgent need of the army for technological weapons "should have been yesterday") it is advisable to focus on the development and implementation of military technologies and technical solutions that have already been implemented in weapons at the stages of trial operation, testing or creation of prototypes.

The main goal is to make constructive changes to the fighter jet in order to improve its takeoff and landing performance, as well as its maneuverability, which will allow it to be used more effectively on aircraft carrier decks and at airfields with short runways. The method of achieving this goal is to install a controllable flow at the root of the aircraft wing, which will shift the focus. Unmanned interceptor aircraft are capable of contributing to air superiority by intercepting air targets.

This can help in emergencies and critical situations that require unconventional approaches to problem solving. Also, for example, when relocating to unprepared airfields or during emergency landings.

JUSTIFICATION OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE FLIGHT PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF A LIGHT AIRCRAFT THROUGH POWERPLANT MODERNIZATION

I. Kuzmenko; V. Yashchenok

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Initial flight training of cadets is carried out on light aircraft, which allows the formation of basic piloting skills and ensures rational use of combat aviation equipment resources. Under conditions of martial law, improving the operational efficiency of training aircraft with minimal material and technical expenditures becomes particularly relevant.

As an example of a training platform, the K-10 "SWIFT" aircraft is considered, which is used for primary flight training of cadets. In addition, the training process provides for the study of the ALTO NG aircraft equipped with the Rotax 912 iS engine, characterized by acceptable weight and dimensional parameters and economical fuel consumption.

Given the limited funding and the difficulty of procuring new aircraft and powerplants, modernization of existing equipment represents a rational development approach. The primary objective is to improve energy efficiency, increase flight range, and extend service life without introducing structural modifications to the airframe. The study proposes improving the powerplant based on the Rotax 912 iS engine through the implementation of a turbocharging system and an intercooler.

Energy efficiency is achieved by increasing the cylinder filling coefficient and enhancing effective engine power without a proportional increase in specific fuel consumption, as well as by reducing the intake air temperature, which ensures stable thermal operation and improved fuel economy.

The proposed approach makes it possible to enhance the aircraft's high-altitude performance, increase its operational efficiency, and maintain acceptable weight-and-balance parameters. The implementation of these measures will help sustain the required level of cadet flight training under limited resource conditions and increased demands for operational economy in aviation equipment.

MODERN APPROACHES TO THE RESTORATION OF AIRCRAFT COMPONENTS USING ADAPTIVE TECHNOLOGIES (3D PRINTING)

*K. Lysakivska; B. Lysakivskyi; D. Antipov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The operation of aircraft under modern conditions is characterized by increased intensity of combat use, complexity of logistical support, and the need for rapid restoration of damaged structural elements. Therefore, traditional repair methods do not always ensure the required speed and flexibility of production processes. In order to enhance the efficiency of restoration work, it is proposed to apply adaptive technologies (3D printing).

Adaptive technologies enable the production of parts through layer-by-layer material deposition based on a digital model, which reduces manufacturing time and decreases dependence on centralized supplies. The use of metal 3D printing is particularly relevant for manufacturing fastening elements, housing components, as well as restoring the geometry of worn or damaged assemblies. This makes it possible to promptly produce spare parts directly at the aviation unit's deployment location.

An important advantage of adaptive technologies is the possibility of optimizing part design with regard to actual loads, which allows reducing the weight of the product while increasing its strength.

Thus, the use of adaptive technologies in aircraft restoration is a promising direction for the development of repair facilities, enabling shorter equipment recovery times, increased unit autonomy, and reduced logistics costs under wartime conditions.

MODERN MEANS OF LOAD SENSING AND MONITORING IN AIRCRAFT STRUCTURES

*B. Lysakivskyi; K. Lysakivska; D. Antipov; D. Snizhko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern aircraft are operated under conditions of increased aerodynamic, inertial, and vibration loads, which directly affect the strength and service life of the aircraft. Continuous monitoring of loads in the primary structural elements of the airframe is a necessary condition for ensuring airworthiness.

During combat missions, onboard flight data recorders and integrated data acquisition systems play an important role, continuously recording overloads, vibrations, and temperature effects. Analysis of the obtained data makes it possible

to promptly detect exceedances of permissible loads, predict the development of structural damage, and operate the aircraft according to its actual condition.

Currently, modern load monitoring tools include strain gauges and fiber-optic sensors. It is proposed to install strain gauges that measure deformations of structural elements, enabling the determination of stresses and the assessment of the residual service life. In addition, fiber-optic systems provide high measurement accuracy and allow monitoring of wing or fuselage elements over large areas.

The application of modern load monitoring systems in aircraft structures increases flight safety and contributes to the optimization of aviation maintenance costs. Further development of digital technologies and data processing methods opens prospects for creating real-time airframe structural health prediction systems.

JUSTIFICATION OF THE EFFECTIVENESS OF F-16 AIRBORNE RECONNAISSANCE IN MODERN ARMED CONFLICTS

*O. Oliinyk; T. Tkach; M. Bulatov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern high-technology warfare is characterized by a shift from the mass employment of forces to competition for information superiority, where timely detection of the adversary and rapid transmission of data into command and control systems play a decisive role. Under such conditions, the employment of multirole F-16 aircraft as carriers of integrated airborne reconnaissance systems becomes particularly significant.

One of the key components of the aircraft's reconnaissance capability is the DB-110 reconnaissance pod, which provides multispectral reconnaissance in the visible and infrared bands, as well as high-resolution imagery acquisition at any time of day and under adverse weather conditions.

An important advantage of this system is the capability to conduct stand-off reconnaissance from safe distances, thereby minimizing the risk of engagement by modern air defense systems. The acquired intelligence is transmitted in near real time to command posts, reducing the "detect-decide-engage" cycle and ensuring the effective employment of precision-guided munitions, artillery systems, and unmanned platforms.

In the context of the Ukrainian-Russian war, characterized by an extended frontline, maneuver-based combat operations, and the extensive use of concealed and dispersed enemy forces, the application of an F-16-based airborne reconnaissance complex significantly enhances command situational awareness, supports operational fire planning, and reduces friendly force losses.

MODERNIZATION OF THE MAIN ROTOR OF THE Mi-8MT HELICOPTER BASED ON COMPOSITE MATERIALS

*O. Oliinyk; M. Bulatov; T. Tkach
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under current conditions of intensive employment of army aviation and dispersed helicopter basing, there is a need to improve the reliability, service life, and operational efficiency of the main rotor system of the Mi-8MT helicopter. Operational experience has demonstrated the difficulty of performing engine checks

at maximum power settings due to insufficient loading of the main rotor, which necessitates improvement of the rotor blade design.

A promising approach to addressing this issue is the implementation of composite rotor blades that provide an optimal strength-to-weight ratio and enhanced aerodynamic characteristics. The use of composite materials increases structural stiffness, reduces inertial loads, improves rotor balance, and extends service life while maintaining the required operating regimes of the powerplant.

Blade design development involves determination of load parameters, analysis of the influence of mass and profile drag on engine power consumption, and compliance with static strength requirements. The obtained results can be applied in helicopter modernization programs and in the development of new aircraft models, thereby increasing combat effectiveness and operational efficiency of helicopters in field conditions.

MODERNIZATION OF THE MI-8 HELICOPTER TO IMPROVE ITS PERFORMANCE CHARACTERISTICS TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF CONDUCTING COMBAT OPERATIONS

S. Reznikov; M. Sabat

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

With the experience of modern armed conflicts, increasing the efficiency of army aviation by improving the tactical and technical characteristics of transport and combat helicopters of the Mi-8 family is of particular importance. The main areas of improvement are increasing the survivability of the machine, improving the means of landing and evacuation, as well as the integration of modern onboard systems that allow performing tasks in difficult meteorological conditions and under enemy fire.

The report proposes to analyze the specifics of the use of Mi-8 helicopters in combat zones, where the speed of evacuation measures and landing of troops in hover mode becomes critically important. Special attention is paid to the implementation of new design solutions for onboard lifting equipment, which allows to reduce the time the helicopter remains in a vulnerable position.

The author proposes a variant of helicopter modernization by improving its onboard winch, which involves: increasing the speed of lifting and lowering the load to minimize the time of hovering over the target; implementing a smooth start and stop system, which increases the safety of evacuating the wounded; using modern wear-resistant cable materials and automated cable laying systems to prevent it from jamming; duplicating the winch control system, which increases the reliability of the equipment in the event of combat damage to the main communication lines.

RESEARCH OF POSSIBILITIES TO REDUCE THE TIME AND LABOR INTENSITY OF SU-25 AIRCRAFT PRE-FLIGHT PREPARATION IN COMBAT CONDITIONS

R. Shulha; D. Snizhko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Preparation of an aircraft for flight under combat conditions is a complex technological process that requires significant time and labor resources. For attack aviation, ensuring the fastest possible turnaround and readiness of the aircraft for the next combat mission is especially important. Reducing preparation time without

decreasing flight safety is one of the key directions for improving the effectiveness of aviation equipment employment.

One of the promising approaches is the optimization of technical tasks through the implementation of rational maintenance algorithms, the use of a modular principle for component replacement, and the improvement of technical personnel workflow organization. The application of rapid diagnostic tools plays a significant role, allowing quick determination of the aircraft systems' technical condition and reducing the scope of inspections.

For attack aircraft, an important factor is simplifying access to major units and systems, standardizing preparation procedures, increasing the level of automated monitoring, and using mobile maintenance equipment along with pre-prepared technical support kits.

Thus, reducing the time and labor intensity of aircraft preparation for flight can be achieved through an integrated approach that includes organizational measures, technical solutions, and the implementation of modern diagnostic methods.

OPERATIONAL LIFE CHARACTERISTICS OF RD-33 ENGINES UNDER INTENSIVE COMBAT CONDITIONS

V. Piatenko; R. Abbasov; S. Vysochkin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The RD-33 turbofan engine, powering the MiG-29 fighter aircraft, was originally designed for peacetime operations with specific operational profiles and maintenance intervals. However, intensive combat operations impose significantly different operational conditions including: extended maximum thrust operations, rapid throttle transients, operation in degraded environmental conditions with increased particulate contamination, frequent high-G maneuvers causing additional mechanical stress, and compressed maintenance windows. These factors substantially impact engine degradation patterns and operational resource consumption, creating discrepancies between designed and actual service life characteristics.

The research methodology incorporates: statistical analysis of flight data recorder information from combat missions, including thrust regime distribution, thermal cycling profiles, and operational envelope utilization; comparative analysis of hot section component degradation rates between combat and peacetime operations through borescope inspections and teardown examinations; evaluation of turbine blade tip clearance growth, compressor rotor dynamic balance degradation, and combustor liner cracking progression; assessment of foreign object damage (FOD) incidence and impact on service life; correlation of operational parameters with specific failure modes and time-between-overhaul statistics.

Understanding the specific degradation mechanisms and resource consumption patterns of RD-33 engines in combat conditions is critical for: accurate fleet readiness forecasting and logistics planning; development of modified maintenance intervals appropriate for combat operations; optimization of spare engine and component inventory; identification of cost-effective life extension opportunities through targeted component upgrades or process improvements. This research provides operational commanders and maintenance personnel with empirical data for evidence-based decision making regarding engine management in sustained combat operations.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF TRANSITIONING TO A TWIN-ENGINE PROPULSION SYSTEM CONFIGURATION FOR THE IL-76 AIRCRAFT USING D-18T TURBOFANS

K. Nikolaiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern military transport aviation, a prominent direction for enhancing flight performance is the deep modernization of the Il-76 aircraft, which involves replacing four legacy D-30KP engines with two high-power D-18T turbofans. Transitioning to a twin-engine propulsion system configuration allows for a significant increase in total thrust and provides substantial advantages in the aircraft's operational efficiency. The implementation of D-18T engines facilitates an increase in payload capacity and ferry range, enabling the transport of heavy cargo over extensive distances without intermediate refueling stops.

Enhancing the aircraft's thrust-to-weight ratio directly improves takeoff and landing performance by significantly reducing takeoff roll and landing run distances, thereby expanding the potential for operating the aircraft from airfields with limited runway lengths. The new propulsion system enables higher cruise altitudes and increased flight speeds, optimizing the duration of transport missions. Due to the more advanced design and superior fuel efficiency metrics of the D-18T engines, a reduction in specific fuel consumption is achieved, while the overall reliability and service life of the aircraft are enhanced. Simultaneously, implementing such a modernization scheme requires a complex set of engineering tasks related to redesigning pylons for two engines instead of four, adapting mounting systems to new concentrated loads on the wing, and refining the fuel and control systems. Such a structural transformation necessitates a full cycle of flight testing and subsequent type recertification of the aircraft to ensure its safe operation.

ANALYSIS OF FUEL CONSUMPTION OPTIMIZATION DIRECTIONS FOR MIG-29 FIGHTER AIRCRAFT

O. Moshkivskiy; V. Piatenko; S. Vysochkin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The MiG-29 fighter aircraft, equipped with twin RD-33 turbofan engines, demonstrates relatively high specific fuel consumption compared to modern fourth-generation fighters. Under combat conditions with extended patrol durations and strategic logistics constraints, fuel efficiency becomes a critical operational parameter directly affecting mission radius, loiter time, and overall combat effectiveness.

The research identifies several key optimization areas: Flight profile optimization including optimal climb schedules, cruise altitude selection based on mission requirements and atmospheric conditions, and implementation of fuel-efficient descent procedures; Engine management strategies such as asymmetric thrust operation during cruise phases, optimized afterburner usage patterns, and single-engine taxi procedures where operationally feasible; Aerodynamic drag reduction through external stores configuration optimization, minimization of unnecessary external fuel tanks when mission profile permits, and proper weapons loading strategies; Weight management including fuel load planning based on precise mission requirements rather than conservative full-tank approaches.

Implementation of identified optimization measures is projected to achieve: 12–18 % reduction in cruise fuel consumption through flight profile optimization and engine management; 8–12 % improvement in combat radius through combined aerodynamic and weight management strategies; 20–25 % extension of combat air patrol duration at optimized altitudes; significant reduction in aerial refueling requirements, thereby decreasing operational risk and logistics burden.

REDUCING THE IMPACT OF ICING ON UNMANNED AIRCRAFT

Y. Kolesnik

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the operational factors that limits the flight capabilities of UAVs in conditions of low temperatures and high humidity is icing. The results of experimental studies of the influence of icing on the aerodynamics of the UAV wing using an automotive platform and an air conditioning unit based on the TN-1 wind tunnel showed that there is a need to apply a protective coating to the wing, tail and control surfaces of the UAV to reduce the adhesion of ice to the surface.

An experiment with unprotected UAV models showed that long-term flight in icing conditions is characterized by the formation of ice growths in the form of ridges, horns, ice streams of complex shape on the wing, ailerons, propeller blades, and tail. Icing of the leading edge of the wing leads to disruption of the flow on the wing, reducing its lifting force. Flight in such conditions can lead to the aircraft stalling towards the wing console, on which the largest amount of ice growths have formed.

A critical analysis of modern sources on methods of combating icing of UAVs shows the need to develop passive methods of protection against icing, namely: the use of hydrophobic (water-repellent) coatings, liquids and aerosols based on silicone; coating rough surfaces with a metallized coating; the use of silicone paints, polyester paints with fluorine compounds, and others. Some of the proposed options will be experimentally investigated in a climatic installation based on the TN-1 the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University wind tunnel.

RESEARCH INTO IMPROVEMENT OF THE MIG-29 FIGHTER FLIGHT CONTROL SYSTEM FOR THE DESTRUCTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

K. Hadzikovskyi; S. Shevchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The problem of intercepting small-sized, low-speed unmanned aerial vehicles (UAVs) remains highly relevant due to their low radar cross-section and specific aerodynamic characteristics. The baseline MiG-29 aircraft, equipped with a mechanical flight control system (push-rods and bell-cranks), faces limitations in precision and stability when operating at near-stall speeds required for UAV engagement. Mechanical hysteresis and friction in the control circuits reduce the pilot's ability to maintain a precise aiming point.

To address this issue, the transition to a digital fly-by-wire (FBW) flight control system is proposed. Structurally, the solution involves replacing the mechanical linkages with a quadruplex redundant electrical signaling network. The key improvement is the integration of electro-hydraulic actuators (EHAs) as the primary

execution units. These actuators receive electrical commands from the flight control computer and utilize the aircraft's existing hydraulic power to move the control surfaces, eliminating mechanical lag and non-linearities.

The proposed design incorporates a four-channel redundancy scheme, ensuring system survivability even in the event of partial damage from UAV debris during close-range destruction.

WAYS TO MODERNIZE A TURBOSHAFT ENGINE

N. Otreshko; N. Hubyh; V. Lipkevych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The effectiveness of the combat employment of Mi-8MSB helicopters directly depends on expanding their flight performance characteristics and the reliability of the power plant under conditions of intensive operation.

The purpose of the modernization is to increase the operational endurance and gas-dynamic efficiency of the engine by implementing innovative structural and technological solutions in the compressor units.

To improve the characteristics of the compressor, the following structural solutions are proposed:

- implementation of multi-layer ion-plasma coatings for blades: ensures a reduction in surface roughness and a significant increase in erosion resistance, which leads to an increase in the mean time between overhauls;

- transition to BLISK technology: manufacturing monolithic rotors from a solid workpiece allows for reduced rotor mass, decreased centrifugal loads, and an increased margin of gas-dynamic stability;

- application of abrasive stator seals: minimizes radial clearances in the flow path, reduces air leakage through the blade tips, which directly increases the pressure ratio.

Based on the results of thermodynamic calculations and strength analysis, the implementation of these changes ensures: a 1.5 % increase in compressor efficiency, a 3 % increase in engine power, and a 1 % reduction in specific fuel consumption. The proposed solutions confirm the technical capability to increase the combat effectiveness of the helicopter and the economic feasibility of the Mi-8MSB modernization.

MODERNIZATION OF COMBUSTION CHAMBER AND TURBINE UNITS OF THE Mi-8 MSB HELICOPTER TURBOSHAFT POWERPLANT

N. Otreshko; N. Hubyh; V. Lipkevych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The employment of helicopter technology significantly impacts the conduct of combat operations. The use of the Mi-8 MSB helicopter necessitates an expansion of its flight performance range.

To improve flight performance, increase service life, and enhance reliability, durability, and wear resistance, it is necessary to increase the power output of the engine under design. These requirements are met by increasing the turbine inlet temperature (TIT). However, this leads to higher temperatures in engine components; specifically, the nozzle guide vanes and the compressor turbine blades may not withstand such thermal loads.

Consequently, measures must be implemented to protect these components. The element subject to the highest thermal loads is the compressor turbine nozzle guide vane (NGV). To ensure it withstands increased thermal stresses, several solutions can be applied: replacing the NGV material with a more heat-resistant alloy and modifying the cooling system.

To enable the nozzle guide vanes to withstand higher temperatures, the cooling system should be upgraded to a convective-film cooling system with air supplied through a deflector.

Cooled nozzle vanes are utilized with a deflector: air is supplied to the center of the deflector from one side and directed through holes in its leading section. To intensify cooling, this surface is finned. The air then passes through the gap between the deflector wall and the vane and exits into the turbine flow path. The use of an insert tube allows for organized two-sided air supply and transverse movement within the profile. This provides impingement cooling of the vane profile leading edge. Near the trailing edge, the air exiting through the slots forms a protective film.

Conclusions.

Replacing the first-stage nozzle vanes featuring convective cooling with those utilizing convective-film cooling allows for an increase in power by enabling higher gas temperatures.

COMBAT DAMAGE AND FIELD REPAIRS TO MI-8 HELICOPTERS DURING EVACUATION MISSIONS

K. Indutnyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Mi-8 helicopters are widely used for medical and combat evacuation (MEDEVAC/CASEVAC) in conditions of active enemy opposition in Ukraine's full-scale war against Russia. Operating at low altitudes, within the range of small arms, large-caliber machine guns, fragmentation munitions, and MANPADS, results in a high level of combat damage.

The most common are holes in the skin and structural elements, damage to the fuel system, electrical wiring, hydraulic lines, and main rotor blades. In the event of damage to the engines or transmission, the risk of aircraft loss increases significantly. However, the simplicity of design, modularity of units, and accessibility of components ensure the high maintainability of the Mi-8 in field conditions.

Field repairs usually include installing patches on the skin, sealing fuel tanks, replacing damaged pipes, bypassing electrical circuits, and temporarily restoring blades within acceptable limits. Critical units (gearboxes, engines) require more thorough diagnostics and repairs at the base.

The priority areas are the installation of additional armor protection for critical components, the integration of modern missile attack warning systems and automatic heat trap firing, and the modernization of engines and avionics. Of particular importance is the introduction of technical monitoring systems for the condition of units for the timely detection of damage.

Effective field repairs involve the creation of mobile repair teams, the use of a modular principle for replacing units, the standardization of spare parts, and the reduction of repair time after combat damage.

Thus, the combination of structural survivability and rapid repair capabilities allows the Mi-8 to remain combat-ready even under conditions of intense combat

exposure. Comprehensive modernization, improved repair organization, and crew training are key conditions for increasing the effectiveness and maintaining the combat readiness of helicopters during combat evacuation missions.

INCREASING THE EFFICIENCY OF A TURBOPROP ENGINE

Y. Pavlov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This paper considers a comprehensive approach to improving the efficiency of gas turbine engines by refining their design parameters and optimising their operating processes. The relevance of this topic stems from the need to reduce fuel consumption, increase specific thrust and improve the technical and economic performance of engines in modern operating conditions.

Efficiency is improved by reducing thermal, mechanical and gas-dynamic losses. The main directions are to increase the degree of air compression in the compressor, increase the temperature of the gases before the turbine, improve the aerodynamic characteristics of the flow part, reduce pressure losses and improve the sealing of components. Such measures contribute to an increase in the thermal efficiency and overall efficiency of the engine.

In addition, the use of modern heat-resistant materials, advanced cooling systems and digital control systems that optimise engine operating modes plays an important role. Comprehensive implementation of these measures improves the fuel efficiency, reliability, service life and durability of gas turbine engines

STUDY OF THE DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF FUEL SYSTEM ELEMENTS BY MEANS OF CONSTRUCTIVE CHANGES TAKING INTO ACCOUNT COMBAT EXPERIENCE

V. Ivanuchenko; O. Tereshchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Operation of the An-26 military transport aircraft in conditions of intensive combat operations in the war against the Russian Federation, especially in the zone of active use of enemy air defense means, places increased demands on the reliability and survivability of its fuel system.

Analysis of combat damage to aircraft, and directly to the An-26 military transport aircraft, indicates the high vulnerability of fuel systems, which can lead to a power outage of the pumps and the cessation of fuel supply to the engines. In the event of a complete power outage of the An-26 aircraft fuel system, fuel is supplied by opening the emergency valves of the second and third groups by gravity to the supply tank No. 3a. In the first group of tanks, such a supply is not structurally provided. Therefore, it is proposed to improve the fuel system by introducing an additional pipeline into the air intake channel (for pressurizing the tanks of the first group) and installing a check valve in front of the ETSN-14A booster pump, which will be connected to the tanks of the first group. This allows for the supply of fuel under pressure even in the event of failure of the ETSN-14A/14BM booster and transfer pumps.

The implemented modernization guarantees uninterrupted power supply to the engines in critical situations (when the pumps are out of power) from all groups of fuel tanks, which significantly increases the combat survivability and efficiency of the aircraft when performing combat missions.

SUBSTANTIATION OF THE DESIGN, LAYOUT AND POWER SCHEME OF THE LIGHT UNMANNED AERIAL VEHICLE AIRFRAME

N. Golets

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today, the Armed Forces of Ukraine are armed with a wide range of light unmanned aerial vehicles that perform reconnaissance and destruction of ground and air targets. There is a need to find optimal structural and layout and power schemes of the glider of unmanned aerial vehicles. It is also relevant to improve existing schemes, since they do not always have optimal parameters for combining sufficient strength, low mass, and aerodynamic efficiency.

The most common variants of structural and layout schemes of gliders of light unmanned aerial vehicles were considered and their comparative analysis was carried out according to a number of criteria, such as glider strength and mass-dimensional indicators. The glider power scheme was justified taking into account air and mass loads acting on the main flight modes, during takeoff and landing.

It is proposed to use a power scheme with a lower mass, which provides the necessary structural strength, and which best ensures the operation of the UAV in the considered conditions. The proposed scheme will allow for effective use of the internal volume of the airframe and increase its payload.

MODERNISATION OF THE FIGHTER RADAR TRANSMISSION CHANNEL

V. Zhuk; A. Vedernikova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Based on the experience of the Russian-Ukrainian war, the effectiveness of fighter jets directly depends on the performance of the radar system. The radar system is a key element of the weapon control system, which determines the aircraft's capabilities in terms of detection range, tracking and engagement of air targets.

Currently, combat experience has revealed one of the weak points of the radar system – the transmission channel, namely the transmission device, which uses an outdated travelling wave tube (TWT).

Its low reliability and limited characteristics reduce the overall potential of the aircraft during combat missions.

One way to improve the efficiency of the complex is to replace the standard tube with a modern dB-3708P1 model in the transmitter. The use of modern TWTA amplifiers increases the stability of the transmission channel and will allow for an increase in the frequency range of the device. This implementation will increase the detection range of the fighter's radar and improve the reliability of the transmitter.

To modernise the radar, we will switch to modern TWTA amplifiers, which will lead to the expanded use of fighters during combat missions.

EFFECTIVENESS (ECONOMICALITY) OF DIRECT DISCHARGE OF THE FILLING TRANSPORT FLIGHT

Y. Holubko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

With the use of modern aviation technology of special importance, there is an increase in the efficiency and economical thoroughness of flights by improving their structural and power schemes (KSS). The main areas of research into fire efficiency and cost-effectiveness are aimed at improving the technical and tactical characteristics of existing aircraft technology and the protection of light military-transport aircraft.

It is necessary to analyze the current trends in the design of aircraft and effective ways to increase fuel economy by introducing inter-cooling in the compressor. increase the engine speed factor.

The author has proposed the option of replacing the power plant on a daily engine and installing composite materials in the fuselage structure in order to improve the firing efficiency and cost-effectiveness of the damaged vessel.

Enhancement of these characteristics means increased efficiency of stagnation of light military-transport aircraft, expansion of their functional capabilities, as well as ensuring greater productivity during the era of combat and special forces tasks.

REPLACEMENT OF TUBE-RING COMBUSTION CHAMBER WITH RING COMBUSTION CHAMBER

G. Berlov; D. Skliarenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Taking into account the combat experience of the Su-25 attack aircraft, increasing the effectiveness of overcoming air defenses is of particular importance. One of the determining elements that affects overcoming air defenses is the combustion chamber, the parameters of which determine the temperature field in front of the turbine, the stability of the working process and the durability of the hot part elements.

The main direction of modernization is the replacement of the tubular-annular combustion chamber with an annular one. This approach allows for a more uniform distribution of the temperature of the gas flow along the circumference of the turbine, reducing the mass of the structure, reducing the number of connecting elements and increasing the manufacturability of manufacturing and maintenance of the engine.

The work involves analyzing the design differences of the specified combustion chamber schemes, studying the peculiarities of the organization of the mixture formation and combustion processes, as well as assessing the impact of design changes on the thermally stressed state of parts and resource indicators of the power plant of the Su-25 attack aircraft.

The proposed design solution is aimed at increasing the operational reliability of the aircraft, reducing specific fuel consumption and improving the technical and economic indicators of its use. The implementation of the research results will contribute to increasing the efficiency of aircraft operation and increasing the effectiveness of overcoming air defenses.

MODERNISATION OF THE LASER RANGEFINDER OF THE OPOELECTRONIC TARGETING SYSTEM OF A FIGHTER AIRCRAFT

A. Politova; D. Abramov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Experience in the combat use of aviation in modern warfare shows an increase in the reliability requirements for laser rangefinders in fighter aircraft optical location stations. Analysis of the operation of optical location stations shows that laser rangefinders are outdated, which limits the accuracy and stability of measurements. This can result in unstable parameters and increased sensitivity to changes in power supply voltage and temperature.

The modernization is based on the construction of erbium glass with a wavelength of 1535 nm. In the course of this study, the technical condition of the existing rangefinder, its main shortcomings and limitations were analyzed, and the possibility of integrating a new laser rangefinder without changing the algorithms of the on-board computing device was assessed. To ensure the correct implementation of the new laser rangefinder, the use of an interface matching device is proposed, which allows the rangefinder to be connected to the existing control station without interfering with the aircraft design.

A significant advantage of a laser rangefinder is increased range and a substantial increase in operating life.

Therefore, such implementation allows to increase reliability and reduce the risk of technical failures.

RESEARCH ON DIRECTIONS FOR IMPROVING THE COMBAT SURVIVABILITY OF THE Mi-8 HELICOPTER BASED ON COMBAT EXPERIENCE

P. Kyz; Y. Pidkaliuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of modern armed conflicts highlights the increasing importance of enhancing the combat survivability of army aviation, particularly transport-combat helicopters of the Mi-8 type, which are widely employed to perform transport, airborne assault, evacuation, and fire support missions in active combat zones. The primary threats to the helicopter include man-portable air defense systems (MANPADS), small-caliber anti-aircraft artillery, small arms fire, and electronic warfare systems. In this context, identifying priority directions for improving its combat survivability is of particular relevance.

The authors propose modernization of the fuel system of the Mi-8 transport-combat helicopter, including the installation of an additional fuel tank and the improvement of the service (feeder) fuel tank. The introduction of additional fuel capacity will increase the fuel reserve, extend flight range and endurance, and expand the operational radius for both combat and transport missions.

At the same time, modernization of the feeder fuel tank is aimed at enhancing the helicopter's combat survivability through the implementation of design solutions that reduce the probability of fuel loss and fire in the event of battle damage. The

implementation of the proposed measures will increase the helicopter's operational autonomy, reduce its vulnerability to enemy weapons, and ensure the preservation of operational capability under combat conditions.

ADVANCED DIRECTLY IN THE IMPROVEMENT OF THE MI-24V GWN-FIGHTING HELICOPTER BY THE WAY OF CONSTRUCTIVE CHANGES WITH THE TAKING INTO ACCOUNT OF COMBAT EXPERIENCE

*V. Babenko; O. Tereshchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Exploitation The Mi-24V helicopter in the context of intense combat operations in the war against the Russian Federation, especially in the zone of active stagnation of the enemy's anti-aircraft defense capabilities, is moving forward to the point of certainty the survivability of this unbearable system.

Combat evidence of the remaining fates confirms that the non-failure helicopter system is one of the largest attack systems in the vicinity of the command in the combat zone. Damage to the bearing screw blades or bushings can lead to critical vibrations, structural failure, decreased combat effectiveness, or repeated loss of the lethal apparatus. Medical specifics of the combat deployment of the Mi-24V helicopter – support for military forces, airborne landings, the level of manpower and equipment of the enemy – increasing the reliability and survivability of the flying propeller by the way of promoting plastic shovels is an urgent task.

Analysis of combat requirements and prior operation of the Mi-24V helicopter indicates the need to improve the structural elements of the main propeller to ensure their durability, enhance maneuverability and save functionality during hours of flying in an area of active combat operations. The introduction of a new layout of the load-bearing system with six plastic blades and a torsion bushing will improve combat survivability, protect the damaged structure, increase the lifting power by 16 %, and improve cruising performance. The speed is 10–13 % and the operating life of the shovels is 4.5 times.

RESEARCH ON THE IMPACT OF COMBAT DAMAGE TO THE WING STRUCTURE ON THE PAYLOAD OF THE MiG-29 AIRCRAFT

*H. Lihus; S. Reznikov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The operational efficiency of frontline aviation, specifically MiG-29 aircraft in modern armed conflicts, directly depends on structural survivability. The wing is one of the most vulnerable elements of the airframe. Combat damage (punctures from anti-aircraft fire, shrapnel impacts) leads not only to deteriorated aerodynamic characteristics but also to a reduction in the load-bearing capacity of structural elements, which critically affects the ability to carry payload (weaponry and fuel).

The necessity for rapid assessment of the aircraft's technical condition after sustaining damage – to decide on the feasibility of continuing a combat mission or establishing take-off weight restrictions – is a priority task for the aviation engineering service.

During the study, the impact of wing stiffness degradation on the following parameters was analyzed:

1. Maximum Take-off Weight: Disruptions to the integrity of spars and ribs necessitate reducing the amount of fuel or ammunition to ensure the required safety factor ($f \geq 1.5$).

2. Payload Distribution: Damage to the wing console near the hardpoints (pylons) can lead to the total inability to use certain weapon stations due to the risk of structural failure during high-G (ny) maneuvering.

3. Aerodynamic Quality: Punctures disrupt laminar flow, which increases drag and, consequently, reduces the aircraft's combat radius with a full load.

To evaluate the impact of damage, the use of the Finite Element Method (FEM) is proposed to model the stress-strain state (SSS) of the damaged wing. Calculations are performed for various scenarios:

- Single punctures in the skin.
- Damage to spar webs.
- Loss of stability in stiffening elements.

Thus, the research has established that damage to wing structural elements in the zone between the 2nd and 3rd spars is most critical for limiting the maximum combat load weight. Preliminary recommendations have been developed regarding allowable G-load limits depending on the area and localization of combat damage. Further research will be focused on creating an algorithm for the rapid operational assessment of the wing's residual life in field conditions.

RESEARCH INTO WAYS OF IMPROVING THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE MI-24V HELICOPTER

M. Tymtsiv; O. Tereshchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Combat experience in recent years shows that the helicopter's landing gear system is one of the critical components, the failure or damage of which during missions in combat zones significantly limits the aircraft's safe operation.

Damage to the landing gear retraction mechanisms or failure of the hydraulic system may result in the inability to land, the occurrence of emergency situations, reduced combat effectiveness, or complete loss of the aircraft.

Given the specific combat use of the Mi-24V helicopter – fire support for troops, troop deployment, and destruction of enemy personnel and equipment – improving the reliability and survivability of takeoff and landing devices by introducing a non-retractable landing gear design is a pressing task.

Analysis of combat missions and operational experience with the Mi-24V helicopter indicates the need to improve the design elements of the landing gear to ensure their reliability, simplify maintenance, and maintain functionality during flights in active combat zones.

The introduction of a new layout with a non-retractable landing gear will increase combat survivability, eliminate the possibility of landing gear failure, simplify the helicopter's hydraulic system, reduce the overall weight of the structure, and simplify its operation. Replacing the mechanism with a stationary structure will allow the struts to be used as energy-absorbing elements during hard landings, ensure stable take-off weight, and increase the operational reliability of the front strut in extreme conditions.

IMPROVING HELICOPTER CREW SURVIVABILITY DURING HARD LANDINGS THROUGH THE USE OF ENERGY-ABSORBING SEATS

O. Baranovsky; O. Drol

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Accident analysis indicates that a significant proportion of helicopter crashes involve a severe ground impact, commonly referred to as a hard landing. Under such conditions, the fuselage structure is not always capable of fully dissipating the kinetic energy of the impact, resulting in the transmission of critical loads to the crew. The spinal column is particularly vulnerable, as it is subjected to high vertical accelerations that may lead to serious or fatal injuries. For this reason, energy-absorbing seats (EAS) are considered one of the most effective passive safety measures for improving occupant survivability.

The operating principle of an energy-absorbing seat is based on the controlled relative displacement of the seat with respect to the cabin supporting structure during impact. This controlled motion allows a portion of the impact energy to be absorbed before it is transmitted to the occupant. The overall effectiveness of the system relies on several interrelated components. First, energy dissipation mechanisms are employed, such as frangible elements, torsion bars, or metallic rods designed to undergo plastic deformation once a predefined acceleration threshold is exceeded. Second, damping devices – hydraulic or pneumatic – are used to modulate resistance as a function of the pilot's mass, thereby optimizing load attenuation. Third, seat geometry and restraint configuration play a critical role: a rigid five-point harness system and an ergonomically contoured seatback help minimize dynamic load amplification.

As a result, the peak impact load, typically occurring within 0.05–0.1 seconds, is transformed into a longer-duration pulse with reduced amplitude. According to the Dynamic Response Index (DRI), a commonly used spinal injury criterion, the critical threshold should not exceed 18 units. Modern energy-absorbing seat systems are capable of reducing vertical acceleration levels from approximately 50 g at the cabin floor to about 12–15 g at the seat-occupant interface, which is considered within survivable limits.

Therefore, energy-absorbing seats represent a critical element of the overall crew crashworthiness and survivability concept. Future development trends include adaptive systems that account for individual anthropometric characteristics of the pilot, integration with emergency flotation systems for water landings, and the increased use of advanced composite materials to reduce seat mass without compromising structural strength or energy absorption performance.

MODERNIZATION OF THE SU-25 ENGINE COMPRESSOR THROUGH THE IMPLEMENTATION OF BLISK TECHNOLOGY

I. Tryhub; G. Berlov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the conditions of the full-scale war in Ukraine, the role of attack aviation has gained particular importance. The Sukhoi Su-25 aircraft performs not only direct close air support missions for ground forces, but also suppression of enemy air defense systems, destruction of armored vehicles and fortified positions, and rapid

response to breakthroughs in defensive lines. In addition, in certain situations the aircraft is forced to engage in low-altitude air combat, which increases the requirements for maneuverability, thrust, and reliability of the power plant.

The high density of enemy air defense systems and the necessity of basing aviation deep in the rear lead to increased fuel consumption and greater engine load. Under such conditions, improving fuel efficiency, thrust performance, and engine service life becomes especially relevant. The main power plant of the aircraft is the R-95Sh turbojet engine, which is characterized by high reliability, combat survivability, and maintainability. At the same time, the engine design has modernization potential aimed at improving its key performance parameters.

Within the framework of this project, compressor modernization is proposed through the implementation of BLISK technology – a bladed disk in which the rotor disk and blades are manufactured as a single integrated component. This approach makes it possible to reduce the unit weight, eliminate stress concentration zones at blade attachment points, decrease vibration loads, and improve the aerodynamic efficiency of compressor stages. As a result, the air compression ratio increases, combustion conditions improve, and overall engine efficiency is enhanced.

The relevance of modernization is further confirmed by comparison with the Western attack aircraft A-10 Thunderbolt II, which, like the Su-25, is designed to operate directly over the battlefield under conditions of active counteraction. The A-10 is equipped with more fuel-efficient turbofan engines that provide improved fuel economy and survivability. The proposed modernization of the R-95Sh engine makes it possible to partially compensate for these differences by increasing effective power and reducing specific fuel consumption without fundamentally altering the aircraft's structural configuration.

According to the results of thermogasdynamic calculations, an increase in the effective power of the modernized engine and a decrease in specific fuel consumption have been established. This positively affects flight range, combat payload capacity, and overall operational efficiency. Therefore, the implementation of BLISK technology in the compressor design represents a rational engineering solution that enhances the combat effectiveness of the Su-25 aircraft under modern warfare conditions and ensures its compliance with current operational requirements.

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF AIRCRAFT ELECTRICAL POWER SYSTEMS BASED ON THE ANALYSIS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS

O. Sokol

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Aircraft electrical power systems are complex dynamic objects whose parameters vary over time and depend on external disturbances as well as on the previous state of the system. The reliability of aircraft electrical power systems directly affects flight safety. The analysis of operational practices of aircraft electrical power systems indicates the need to improve methods for monitoring, assessment, and prediction of their technical condition.

This paper presents an approach to assessing the technical condition of aircraft electrical power systems based on modal analysis using experimental data, which does not require a complete mathematical model of the system.

The hypothesis that a systematic shift of modal parameters (natural frequencies and damping ratios) can be used as diagnostic indicators of changes in the technical condition of an aircraft electrical power system is tested through simulation experiments.

The obtained results demonstrate the following:

- a stable technical condition of the system corresponds to compact clusters of modes in the complex plane;
- changes in modal parameters correlate with variations in system parameters;
- different types of parameter deviations correspond to different directions of modal shifts in the complex plane;
- variation of test load magnitude within a certain range forms compact regions of modal parameters, which makes it possible to separate the influence of operating conditions from degradation effects.

RESEARCH ON WAYS TO MODERNIZE THE AFTERBURNER OF A TURBOFAN ENGINE WITH AFTERBURNER TO IMPROVE THE MANEUVERING CHARACTERISTICS OF A FRONTLINE FIGHTER

R. Myshkin; S. Komar

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern combat conditions, the importance of improving the efficiency of tactical aviation powerplants is increasing. One of the key elements of the AL-31F engine, installed on the Su-27 aircraft, is the afterburner, which provides a short-term significant increase in thrust by additional fuel combustion in the gas flow behind the turbine. Using the afterburner mode allows for higher climb rates, improved dynamic characteristics of the aircraft, and enables the execution of complex maneuvers in air combat.

This work analyzes the design of the afterburner, the principles of combustion organization, and the influence of the nozzle geometry on the gas-dynamic parameters of the flow. It was established that the effectiveness of the afterburner is determined by the quality of fuel atomization, flame stabilization, uniformity of the temperature field, and the ability to regulate the nozzle exit area. Special attention is given to thermal loads and the selection of heat-resistant materials, as these determine the engine's life and reliability under high-performance conditions.

The results confirm that rational modernization of the afterburner can increase engine thrust characteristics without significantly reducing service life or efficiency. The practical significance of the work lies in the possibility of using the results for further improvement of fighter aircraft powerplants.

RESEARCH ON THE DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF THE MI-8 HELICOPTER AIR CONDITIONING SYSTEM

O. Melnychuk; K. Myronenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern helicopter aviation is characterized by a tendency towards increased operational autonomy and expedited flight preparation in harsh climatic conditions. A crucial stage in ensuring combat readiness, following the validation of tactical and technical requirements, is identifying ways to improve onboard systems –

specifically the heating and ventilation system – to achieve minimal reliance on ground support equipment during off-base deployment.

To address this objective, the integration of a specialized device into the heating and ventilation system is being considered. While this introduces certain changes to the manufacturing technology, such a solution improves the helicopter's operational characteristics and enables it to perform missions without the need for specific ground support equipment.

Evaluation of the results from the verification thermodynamic calculations confirmed the efficiency of using this device. The modernization concept involves eliminating the need for the UMP-350 stationary engine heater by supplying hot air directly from the standard KO-50 kerosene heater to warm the main rotor blades and engine compartments.

Based on the obtained results, it can be concluded that the implementation of the designed specialized device on the Mi-8 helicopter significantly simplifies flight preparation at off-base airfields. During cold-weather operations, utilizing hot air from the kerosene heater substantially reduces the time required to remove covers from the main rotor blades and decreases the overall duration of pre-flight preparation.

FAN BLADES AS A KEY ELEMENT IN ENHANCING FIGHTER ENGINE SURVIVABILITY AND RELIABILITY UNDER INTENSE COMBAT OPERATIONS

O. Zakharchuk; N. Otreshko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of the war in Ukraine, fighters perform takeoffs and landings from damaged, dust-contaminated, or poorly prepared airfields. Ingestion of foreign object debris (FOD), birds, or fragments causes erosion and damage to fan blades, resulting in thrust loss, vibrations, and premature maintenance actions. Traditional protective measures are unacceptable due to significant increases in mass and complexity of the design.

The novelty of this research lies in the analysis of fan blade materials for fighter engines specifically under these extreme Ukrainian conditions, with quantitative assessment of their impact on powerplant survivability without degrading the aircraft's mass-dimensional and maneuverability characteristics.

The evolution is examined from monolithic titanium blades (VT3-1 alloy in RD-33, Ti-6Al-4V and advanced generations in F100, F110, F135) to hybrid solutions featuring reinforced metallic leading edges and prospective composite materials tailored for low-bypass fighter engines.

Comparison with traditional titanium blades demonstrates a 20–40 % reduction in individual blade mass, up to 100–200 kg reduction per engine for the fan section overall, fewer blades, retention of serviceability after multiple FOD and bird strike events, improved efficiency, and substantial extension of time between overhauls thanks to modern erosion-resistant coatings.

Promising directions include self-healing composites, ceramic matrix composites (CMC) for leading edges, and additive manufacturing of blades with gradient structures and embedded sensors.

Hybrid and advanced fan blade materials enable a significant increase in fighter survivability and combat readiness under intense combat employment.

METHODS FOR REDUCING THE RADAR SIGNATURE OF THE MiG-29 FIGHTER AIRCRAFT UNDER OVERHAUL MODERNIZATION CONDITIONS

*D. Antipov; B. Lysakivskiy; K. Lysakivska; D. Snizhko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern warfare is characterized by a high density of radar detection systems and multi-layered air defense networks. Under such conditions, modernization solutions for the existing aircraft fleet must be technologically feasible, economically justified, and must not reduce the pace of maintenance operations.

An analysis of the formation of the radar signature of the MiG-29 indicates that a significant contribution to its radar cross section is produced by edge reflections from panel joints, service hatches, and sharp geometric transitions of the airframe skin. These elements create local zones of intense electromagnetic energy scattering that can be detected by modern radar systems. At the same time, a complete structural redesign of the airframe is impractical in terms of cost and implementation time.

As the most rational solution, the method of local surface optimization of the airframe is proposed. This approach includes rounding or chamfering sharp panel edges, using quick-release sealing elements in hatch areas, and applying radar-absorbing coatings to the most radar-contrasting sections. The method can be implemented during factory overhaul and does not restrict access to components during maintenance procedures.

The proposed approach enables a cumulative reduction in the aircraft's radar signature without altering its flight performance characteristics and without complicating scheduled maintenance operations. Thus, localized treatment of edges and joints can be considered a practical and rapid means of enhancing the survivability of the MiG-29.

RESEARCH INTO REDUCING THE RADAR SIGNATURE OF A FIGHTER AIRCRAFT

*S. Nosyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Increasing aircraft survivability by radically reducing its radar and thermal signatures is critical in modern conditions to enhance the combat effectiveness of a fighter aircraft. Specifically, replacing a traditional circular nozzle with a flat (2D) nozzle is a key step in implementing these technologies.

The two-shaft, low-bypass turbofan engine with an afterburner is an integral part of MiG-29 type fighters. The engine is designed to remain stable during sharp maneuvers, cannon fire, or missile launches. It is resistant to compressor stall (surge), which is critically important when changing the exhaust geometry to a flat shape that may create additional backpressure. Furthermore, it is capable of transitioning from "idle" to "full afterburner" in just 3–4 seconds. This provides the pilot with a colossal advantage in close-quarters combat, allowing for an instantaneous increase in aircraft energy.

In the prototype, the RD-33-2S engine serves as a reliable foundation for modernization due to its modular design. The implementation of a flat nozzle

requires reinforcing the rear engine support and recalibrating the Automatic Control System (ACS) to manage the new flap actuators.

The result will be an increase in aircraft survivability within zones monitored by enemy radar and heat-seeking missiles. Implementing this technology transforms the MiG-29 into an aircraft capable of operating effectively in environments saturated with modern air defense systems, significantly increasing the chances of mission success and pilot recovery.

FOREIGN OBJECT DAMAGE: EVOLUTION OF PROTECTION METHODS FOR AVIATION ENGINES

*O. Zakharchuk; S. Shevchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The FOD problem – foreign object damage to engines – remains one of the most serious threats to combat aviation, particularly under intensive aircraft operations from airfields subject to regular shelling. Even with thorough runway surface cleanliness checks conducted before each sortie, the risk persists: fragments from strikes, small stones, shrapnel, or surface erosion on unpaved sections demand constant attention from technical personnel and flight crews.

Soviet-origin fighters in the Ukrainian Armed Forces (MiG-29, Su-27, Su-25) feature proven design solutions – auxiliary upper air intakes with automatic shut-off doors and elevated positioning of the main intakes – providing substantial margin of safety in such conditions. These features enable safe operation even when ideal runway cleanliness cannot be guaranteed.

With the introduction of the F-16, requirements for surface quality increase significantly: F100/F110 engines are less tolerant to foreign object ingestion, making airfield preparation, personnel training, and potential air intake adaptations strategically critical.

In Ukraine's wartime reality, FOD protection is not an abstract engineering task but a direct factor in preserving each aircraft, increasing the number of combat sorties, and sustaining air presence. A review of existing and prospective methods for addressing this issue – from classical shut-off doors and reinforced blades to adaptive ducts and future “smart” materials – is particularly relevant today for enhancing the capabilities of the Air Force.

INCREASING THE OVERHAUL LIFE BY REPLACING HEAT-RESISTANT ALLOYS

*N. Otreshko; O. Muzychuk; Y. Kurylo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Intensive operation of An-26 military transport aircraft in the conditions of armed conflict is accompanied by the operation of power plants at extreme modes, frequent take-offs with overload and operation in conditions of increased dustiness of the air. This leads to a decrease in the resource performance of AI-24VT engines. Modernization of the “hot part” units is the main task to maintain the combat capability of transport aviation and reduce the logistical burden on repair enterprises.

The purpose of the work is to extend the overhaul life and the intended engine life by introducing design and technological changes into the turbine units.

The main destructive factor for AI-24VT is the combined effect of thermal fatigue and high-temperature creep of flow-through materials.

The paper proposes the replacement of traditional heat-resistant nickel alloys of the old generation for turbine blades (ZHS6K, ZHS6U) with modern directionally crystallized or monocrystalline alloys (ZHS32-VY), as well as materials with directional crystallization or casting for nozzle blades (ZHS6U, ZHS26).

In terms of durability, the creep rate is exponentially dependent on temperature, so even a slight increase in the heat resistance of the material leads to a multiple increase in the resource. In practical terms, this means reducing the rate of accumulation of microcracks in the turbine blades, reducing the risk of their destruction and the possibility of increasing the overhaul life by 15–25 % without changing the engine power or its gas-dynamic circuit.

Thus, the modernization of hot part materials through the use of modern heat-resistant alloys is a technically sound and structurally realistic way.

MODERNIZATION OF THE AN-26 WITH THE REPLACEMENT OF THE AI-24VT ENGINE WITH THE PRATT & WHITNEY CANADA PW150A

R. Shabaieva; V. Rublyov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The AI-24VT engine is a reliable unit, but it was developed several decades ago and no longer meets modern requirements for fuel efficiency and environmental friendliness. The installation of the PW150A, which represents the latest generation of turboprop engines, offers significant advantages:

Reduced fuel consumption: The PW150A demonstrates significantly lower specific fuel consumption compared to the AI-24VT. This will lead to a reduction in fuel operating costs, which is a significant factor in current economic conditions.

Increased environmental friendliness: The modern design of the PW150A ensures significantly lower emissions of harmful substances, such as nitrogen oxides and carbon, which meets stricter environmental standards.

Increased power and improved flight performance: The PW150A has greater power compared to the AI-24VT. This can lead to improved take-off and landing performance, rate of climb, and cruising speed of the An-26, as well as an increase in its payload capacity.

Reduced noise level: Modern engines generally have a lower noise level, which is an important aspect when operating aircraft near populated areas.

Increased reliability and reduced maintenance costs: The PW150A has a more modern design and technologies, which can lead to increased reliability and lower maintenance costs in the long term.

Of course, the integration of a new engine will require significant engineering developments, including the design of new pylons, engine control systems, and the adaptation of existing aircraft systems. It will also be necessary to certify the modernized aircraft.

However, the potential benefits of such modernization are significant. The An-26 will receive a second life, become more economical, environmentally friendly, and have improved flight performance, which will expand its scope of application and extend its service life.

RESEARCH ON WAYS TO IMPROVE THE TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE MEDIUM TRANSPORT AIRCRAFT IL-76MD

*O. Yaroshenko; S. Reznikov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current state of operation of medium transport aircraft IL-76MD under the conditions of combat operations in Ukraine has been studied, and the main problems regarding the efficiency of air resource utilization have been identified.

The technical characteristics of the IL-76MD, including payload capacity, flight range, fuel consumption, and system reliability, were analyzed and compared with similar aircraft, particularly the Boeing C-17 Globemaster III. Key directions for improving the technical and economic performance of the aircraft have been identified, including modernization of the powerplant, optimization of the aerodynamic profile, and implementation of modern materials to reduce structural weight.

The impact of current wartime conditions in Ukraine on the operation of the IL-76MD was examined, particularly the increased load on the aircraft during frequent transport and evacuation flights under challenging climatic and tactical conditions.

A comparative analysis of the economic efficiency of the IL-76MD and the Boeing C-17 was proposed, highlighting the advantages and disadvantages of both aircraft in terms of operational mobility and logistical support of military operations.

It has been established that comprehensive modernization of the medium transport aircraft allows for an increase in payload capacity, reduction of fuel consumption, and improvement of operational reliability without significant growth in operating costs.

The results have practical significance for enhancing the effectiveness of air support for the Armed Forces of Ukraine and can be used in planning modernization programs for medium transport aircraft.

PROSPECTS FOR IMPROVING THE EXHAUST DEVICE OF AN ATTACK AIRCRAFT TO REDUCE ULTRA-RED RAYS

*D. Sukhovi; K. Myronenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat aviation is characterized by trends towards enhancing aircraft survivability and reducing the probability of their engagement by enemy air defense systems in combat zones. A crucial stage in ensuring combat readiness, based on the analysis of statistical data and the experience of armed conflicts, is identifying ways to improve the defense systems of the attack aviation of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

To address this objective, the modernization of the Su-25 attack aircraft by upgrading its exhaust system is being considered. This involves the installation of a ribbon screen, a radar blocker, and the application of a special ceramic coating to the hot sections of the engine. Such a solution enhances the aircraft's defensive characteristics and allows for a significant reduction in its infrared signature.

The evaluation of the proposed technical solution made it possible to determine the effectiveness of implementing such design measures. The modernization concept

is aimed at minimizing the thermal emission of the powerplant, which directly enhances the effectiveness of protecting the aircraft against missiles with infrared seeker heads.

Based on the obtained results, it can be concluded that applying the proposed set of measures to the Su-25 aircraft ensures high masking effectiveness. The thermal emission reduction effect amounts to approximately 60 %, with the infrared signature index decreasing from 2.2 units for the baseline prototype aircraft to approximately 0.8 units when utilizing the proposed design modifications.

OPERATION AND REPAIR OF F-16 AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

N. Chilei; A. Marchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The adoption of F-16 aircraft requires a fundamental review of the maintenance system. The experience of a full-scale invasion of independent Ukraine shows that static air bases are priority targets for the enemy, which in turn leads to significant losses of aircraft as a result of enemy actions, so the viability of the air force fleet depends on the flexibility of the repair system and the speed of logistics. In this regard, the issue of the viability of the air force fleet depends on the flexibility of the repair system and the speed of logistics.

1. Adaptation of ground infrastructure

The main problem with operating the F-16 is the design feature of the low air intake location.

FOD (Foreign Object Damage) control: Introduction of airfield support units equipped with modern vacuum cleaning machines.

Experience shows the problems associated with the location and movement of aviation equipment.

Protection: Transition from open parking lots to dispersed mobile shelters, use of a network of operational airfields and use of decoys (models) to mislead the enemy.

2. New repair system: Mobility and maintenance

In wartime conditions, it is impossible to rely solely on stationary maintenance and repair units.

Mobile TEO (technical and operational maintenance) teams: Modernisation of autonomous units based on specialised containers that can deploy a repair site in the field in a matter of hours.

Tele-maintenance: Use of secure communication systems for remote interaction between Ukrainian technicians and foreign engineers. This is critical for diagnosing complex failures.

3. Assessment and repair of combat damage (BDAR)

Based on experience in repelling missile attacks, three levels of repair have been identified:

Field level: Repair of minor damage to the airframe (shrapnel holes) using composite patches and cold welding.

Intermediate level: Replacement of engines and units directly in Ukraine in protected areas.

Depot level: Overhaul of complex units at factories in partner countries, which requires the creation of an uninterrupted logistics corridor.

MODERNIZATION OF THE МІ-8 HELICOPTER FOR THE INTEGRATION OF STRIKE UAVS

Ya. Kurylo; E. Ihnatenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The use of UAVs has become one of the key elements of modern combat operations, particularly in the Russian-Ukrainian war. The effectiveness of their deployment largely depends on the capabilities of detection systems, which are not always able to promptly and accurately identify small-sized targets at low altitudes. This creates the need for new approaches to enhancing aviation assets.

Modernizing the МІ-8 helicopter by integrating strike UAV control systems makes it possible to significantly expand its combat potential. This approach increases the range of detection and engagement of aerial targets, reduces risks for the crew, and ensures more flexible use of aviation in dynamic combat environments.

The study focuses on assessing the technical and tactical capabilities of transforming the МІ-8 into a platform-carrier for strike UAVs, which is a promising direction for strengthening air defense and the overall combat capabilities of the Armed Forces of Ukraine.

The modernization of the МІ-8 for the use of strike UAVs is a justified and promising solution that can enhance aviation efficiency and improve the effectiveness of combat operations under modern wartime conditions.

RESEARCH ON THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE AN-26 AIRCRAFT WITH WINGTIP AERODYNAMIC SURFACES CONSIDERING COMBAT EXPERIENCE

V. Opara

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This dissertation presents a comprehensive study of the operational characteristics of the An-26 military transport aircraft equipped with modified wingtip aerodynamic surfaces (winglets, folding wingtips, SAH), with a particular focus on lessons learned from recent combat operations. The relevance of the research is underscored by the urgent need to enhance the efficiency, survivability, and cost-effectiveness of this aircraft type under conditions of high-intensity warfare, resource constraints, and evolving requirements for military airlift capabilities.

Developed by the Antonov Design Bureau, the An-26 is renowned for its high stability, ease of control, and ability to operate from a wide range of airfields, including unpaved and snow-covered runways. Its versatility enables it to perform transport, airdrop, medical evacuation, and special missions. Between 1969 and 1986, over 1,400 aircraft were produced and widely employed by the USSR, Ukrainian Armed Forces, and more than 60 international operators. In contemporary combat scenarios, especially during the russo-Ukrainian war, the An-26 has demonstrated notable survivability but has also revealed structural vulnerabilities – particularly to anti-aircraft threats – necessitating modernization to improve combat resilience.

The thesis focuses on the impact of integrating wingtip aerodynamic devices on the flight and operational performance of the An-26. Theoretical and experimental

studies, supported by combat experience, indicate that the installation of winglets or advanced tip devices can reduce induced drag, improve fuel efficiency by up to 6 %, increase operational range by up to 10 %, enhance stability and maneuverability, and decrease wing structural loads, thereby extending service life and improving operational safety. However, such modifications require careful consideration of additional weight, aerodynamic effects, structural reinforcement, and the adaptation of maintenance and logistics procedures.

The study examines the structural features of the An-26 wing, including its trapezoidal planform, flaps, ailerons, and the feasibility of integrating wingtip devices without major alterations to the load-bearing structure. A comparative analysis with other transport aircraft (C-130J, C-295, An-32, ATR) already equipped with wingtip devices is conducted to identify potential benefits and risks of such modifications for the An-26 platform.

The research methodology encompasses aerodynamic modeling, numerical analysis, wind tunnel testing, flight test data analysis, and expert assessment of tactical and technical requirements for upgraded aircraft. Special attention is given to evaluating operational parameters such as range, payload, fuel efficiency, stability, controllability, and flight safety in combat zones. The study also addresses the impact of modifications on maintenance, logistics, lifecycle costs, and the economic feasibility of upgrading the existing fleet.

Legal and ethical aspects of deploying modified military aircraft in combat are analyzed, including compliance with international humanitarian law, issues of identification, proportionality of force, protection of civilians, and accountability for the consequences of employing new technologies in armed conflict.

The findings enable the formulation of tactical and technical recommendations for upgrading the An-26 to improve combat survivability, mission effectiveness, reduce operational costs, and optimize logistics. Directions for further research are proposed, including full-scale experimental trials, development of adaptive wingtip devices (active winglets, SAH), integration of advanced control and structural health monitoring systems, and the establishment of standards for serial implementation of modifications within the Ukrainian Air Force.

MODERNIZATION THE AN-24BT TURBOPROP ENGINE FOR LIGHT MILITARY TRANSPORT AIRCRAFT

*Ya. Kurylo; E. Ihnatenko; O. Muzichuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The effectiveness of military transport aviation in modern conditions largely depends on the capabilities of power plants. An urgent task for the state aviation of Ukraine is to improve the operational characteristics of АН-26 aircraft by modernizing the base АИ-24BT engine. This will increase their operational capabilities without significant costs for the development of new models.

Increasing the temperature of the gases in front of the turbine directly contributes to an increase in the overall power of the engine. To ensure reliable operation of components under conditions of increasing thermal loads, it is advisable to use a special heat-insulating coating for the nozzle apparatus based on zirconium dioxide. This material guarantees high thermal stability and resistance to thermal cycles, which is critical for extending the service life of the unit.

The proposed modernisation increases the energy efficiency of aviation equipment and ensures stable operation of the power plant in difficult operating conditions, which is strategically important for the performance of transport and special tasks.

IMPROVING FUEL EFFICIENCY OF THE MI-8MSB-V HELICOPTER BY MODERNIZING THE AIR CONDITIONING SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT COMBAT EXPERIENCE

*M. Sydorenko; D. Opiatiuk; O. Kruts
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ukraine has been resisting the armed aggression of the Russian Federation for a long time. Increased loads on aircraft during combat operations require constant modernization and improvement of their units and systems to maintain reliability and flight safety. Therefore, modern combat missions put forward more stringent requirements for the duration and range of the flight.

When analyzing the combat experience gained during the performance of complex tasks in war conditions, the main attention was focused on a comprehensive study and justification of technical solutions aimed at modernizing the air conditioning system in the Mi-8MSB-V helicopter. The conducted study allows us to determine the priority areas for improving this system, taking into account the increased requirements for reliability and efficiency of helicopter heating during difficult meteorological conditions. Studies indicate that this modernization allows us to increase the flight range, reduce the load on the fuel system and reduce fuel consumption, as well as ensure stable operation of the system.

The modernization is a logical step, which involves replacing the mechanical nozzle installed on the KO-50 heater with a centrifugal type nozzle, which will ensure the comfort and efficiency of the crew during long flights and reduce the load on the helicopter's standard systems.

CONFIGURATION OF AN INTERCEPTOR UAV WITH AN ELECTRIC PROPULSION SYSTEM TO ACHIEVE THE ABSOLUTE MAXIMUM FLIGHT SPEED

*Ye. Krepko; H. Bierlov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

There are known vertical take-off and landing (VTOL) interceptor UAVs featuring an X-shaped wing and an electric propulsion system comprising electric motors (e.g., HX-2, Mighty Hornet III). A disadvantage of UAVs operating in a "multirotor" flight mode is their low aerodynamic efficiency (lift-to-drag ratio), which reduces flight speed, range, and endurance. Therefore, to achieve high speed and extended flight range, interceptor UAVs utilize a "fixed-wing" flight mode, which provides higher aerodynamic efficiency.

A drawback of UAVs with an X-shaped wing is the high aerodynamic drag of such a wing configuration. As a result, this leads to a lower maximum possible flight speed, lower maximum possible aerodynamic efficiency in cruise flight regimes, and a reduced maximum flight range.

To address these issues, a new configuration for a VTOL interceptor UAV with a straight wing and an electric propulsion system has been developed, where the

electric motors are mounted at the wingtips. The direction of propeller rotation is selected specifically to diminish the intensity of wingtip vortices and reduce the wing's induced drag. This reduction in induced drag enhances the UAVs aerodynamic efficiency in flight, thereby increasing its speed, range, and endurance.

The UAV is controlled exclusively by varying the rotational speed of the propellers. To ensure pitch control, the propellers on a single wing panel are arranged in tandem and are vertically staggered (with a vertical offset) relative to each other.

The technical result achieved through the implementation of the invention consists in increasing the maximum and cruising flight speeds, as well as the flight range, compared to existing prototypes.

MODERNIZATION OF THE TN-1 AERODYNAMIC COMPLEX

A. Mostovyi; K. Myronenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of unmanned aerial vehicle (UAV) development requires ensuring high fidelity of experimental test results for UAVs and their structural components. The objective of modernizing the TN-1 wind tunnel research facility was to upgrade it to meet the stringent quality requirements for UAV wind tunnel testing and to expand its operational capabilities. To achieve this goal, the key modernization areas for the TN-1 were analyzed and implemented in stages.

A new lemniscate inlet was designed and manufactured for the TN-1 wind tunnel. The integration of this structural element eliminated flow separation at the intake, thereby ensuring a smooth, separation-free acceleration of the working airflow, while additionally serving the crucial function of a flow meter. Furthermore, a specialized sealed adapter designed for operation with a thermograph was engineered and manufactured. The utilization of this equipment enabled the effective detection and recording of local flow separation phenomena on various external UAV components during wind tunnel experiments.

A concept for a “climatic facility” based on a mobile wind tunnel was developed. Such a wind tunnel-based climatic facility provides the capability to conduct comprehensive research into the icing characteristics of UAVs and their structural components.

Further modernization of the TN-1 is intended to establish it as a reference wind tunnel. This will facilitate the high-precision calibration of UAV air pressure and dynamic pressure probes.

ПОРІВНЯННЯ НОВИХ ВІЙСЬКОВИХ СТАНДАРТІВ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЩОДО ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ФАКТОРІВ

В.О. Кузнецов¹; А.А. Засядько¹, д.т.н., проф.;

С.В. Орлов¹, к.т.н.; І.А. Нос², к.т.н.

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Для визначення відповідності нових нормативних документів щодо проведення кліматичних і механічних випробувань стандартам країн-членів НАТО був проведений аналіз та порівняння стандартів STANAG, АЕСТР,

ДСТУ та ВСТ для блоків керування авіаційної техніки. Були перевірені ряд аспектів для усунення невідповідностей порядку випробувань в існуючій нормативній базі: відповідність новітнім методикам випробувань, узгодження з міжнародними стандартами, випробування електромагнітної сумісності, актуальність методів випробувань для новітніх матеріалів. Проведено порівняння цифрових значень кліматичних параметрів, що моделюються під час випробувань, тривалості проведення випробувань та інших характеристик, які закріплені в національних стандартах та стандартах НАТО, за якими проводяться лабораторні та кліматичні випробування блоків електронної апаратури.

З'ясовано, що нормативна база України базується на попередніх версіях або має розбіжності у процедурах кліматичних випробувань, що створює відмінності в методології та критеріях оцінки. На основі детального аналізу існуючих і нових нормативних документів кліматичних випробувань авторами вказані найбільш значні розбіжності методів кліматичних випробувань для блоків електронної апаратури, які в подальшому необхідно врахувати в нових ДСТУ.

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ В ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

С.В. Рудницький¹; О.В. Рижков¹; Е.І. Цуря¹; О.В. Кудринський²

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

В умовах сучасних бойових дій важливу роль займає використання безпілотних авіаційних комплексів різного призначення. В конструкції даних комплексів часто зустрічаються малонавантажені деталі, що в процесі транспортування чи експлуатації можуть виходити з ладу. У зв'язку з цим періодично постає питання швидкого та своєчасного отримання запасних частин для авіаційного комплексу. В такому випадку безпілотний авіаційний комплекс довгий час може залишатись непрацездатним, а за відсутності необхідних запасних частин і зовсім не придатним до використання.

Для оперативної заміни пошкоджених малонавантажених деталей безпілотних авіаційних комплексів з метою досягнення виконання поставлених задач доцільним є застосування адитивних технологій. Базове опанування програмного забезпечення для сучасних засобів виготовлення необхідних деталей з використанням даних технологій не потребує витрати значного часу, а наявність заздалегідь розроблених чи наданих виробником моделей малонавантажених деталей безпілотних авіаційних комплексів дозволить при необхідності в короткі строки розпочати їх виготовлення.

Таким чином, впровадження адитивних технологій в процеси обслуговування безпілотних авіаційних комплексів може бути логічним кроком для забезпечення їх оперативного відновлення.

**PROSPECTIVE DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT
OF SCIENTIFIC-METHODOLOGICAL APPARATUS FOR ENSURING
THE SOLUTION OF TASKS IN THE LIFE CYCLE MANAGEMENT
OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT**

*P. Openko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
National University of Defence of Ukraine*

The relevance of the issue lies in the need to eliminate the contradiction between the capabilities of the existing life cycle management system for weapons and military equipment (LC WME) in terms of ensuring the designated level of operational reliability of military equipment and the technological development of the component base of military equipment models and means of their maintenance and repair (M&R), which change the strategies for their M&R. This creates an urgent need to develop a scientific and methodological framework for ensuring the fulfilment of LC management tasks in conditions of limited initial data sampling.

The report develops a scientific and methodological framework for solving the above-mentioned problem, ensuring the management of the LC WME in conditions of limited initial data sampling. This scientific and methodological framework is based on developed and improved methods, mathematical models and techniques for organizing the monitoring and forecasting of the technical readiness of WME, management of WME maintenance and repair procedures, taking into account the intensity of operation and combat damage, management of material resources (services), taking into account the intensity of operation and WME M&R strategy, formation of a rational design of WME and means of its M&R, and the formation of information and analytical support for the management of the LC WME and means of its M&R, which allows, in a systematic connection, the implementation of procedures for managing the operational reliability of WME, including when assessing the cost of its LC. Further research will focus on issues related to forecasting the LC cost of WME and the means of their maintenance and repair.

**CURRENT ISSUES IN IMPROVING BALLISTIC PROTECTION
FOR HELICOPTERS**

O. Hordiienko, Ph.D.;
*P. Openko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
National University of Defence of Ukraine*

The survivability of army aviation in modern conflicts critically depends on the ability of protective systems to provide ballistic resistance with minimal increase in surface density. The purpose of this report is to numerically optimize the architecture of hybrid multilayer armour panels designed to protect helicopter crews and critical components from high-velocity kinetic threats (7.62 mm).

In the report, the explicit dynamic analysis method (Explicit Dynamic FEM/SPH) was used in the software environment (LS-DYNA) to analyze the interaction between the projectile and the armour. At the first stage, the constitutive

model was justified. The Johnson-Holmqvist 2 model was used to describe the nonlinear behaviour of ceramics (decrease in strength under pressure), and the Johnson-Cook model was used for the projectile core and metal elements. At the second stage, the hybrid scheme was justified. The armour panel model included three main layers: a ceramic front layer (B₄C or SiC), an adhesive layer and a composite substrate (UHMWPE/aramid). At the third stage, the results obtained were evaluated. The effectiveness assessment was based on determining the ballistic limit V50 and analyzing the amount of armour-piercing trauma.

Thus, when addressing the issue of ballistic protection for helicopters, it was established that ballistic protection can be optimized by using hybrid ceramic systems with UHMWPE/aramid-based substrates and taking into account geometric factors (impact angles) at the 'development' stage of the life cycle.

TOPICAL ISSUES OF AUTOMATING THE DECISION-MAKING PROCESS IN PLANNING REPAIRS OF AIRCRAFT RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT

V. Melnyk;

*P. Openko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
National Defence University of Ukraine*

The relevance of this issue is driven by the need to improve the decision-making process and reduce the influence of the subjective factor during the formation of input data and calculations used in the developed scientific and methodological framework for assessing the reliability of radio-electronic equipment (REE) of State Aviation (SA) aircrafts of Ukraine during practical implementation in the activities of the aviation engineering service and state aviation management bodies of Ukraine.

The report defines the main requirements for a decision support system, the implementation of which will allow for the following:

- maintaining a database of relevant REE samples;
- enabling the engineering personnel of the aviation engineering service to enter quarterly data from logs and record cards;
- automatically recalculating regression equations and calculating specific durability indicators (e.g., calculation of the remaining service life) for each REE sample;
- automatically calculating the complex reliability indicator (e.g., availability coefficient) and forming a corresponding priority list of REE samples of SA aircrafts of Ukraine;
- using an economic module to calculate estimates for performing repairs of relevant REE samples and comparing them with the budget;
- performing operations for recording completed repairs and calculating expended time and material resources.

Thus, the implementation of the specified software constitutes a practical realization of the developed scientific and methodological framework, allowing it to be applied as a working tool for the aviation engineering service.

**METHODOLOGY FOR ASSESSING THE TECHNICAL-ECONOMIC
EFFICIENCY OF THE TECHNICAL OPERATION PROCESS
OF TACTICAL AVIATION AIRCRAFT IN THE CONDITIONS
OF A SPECIAL PERIOD**

*A. Kotsiuruba; O. Radko, Ph.D., Associate Professor;
S. Korotyn, Ph.D., Professor
National Defence University of Ukraine*

The tactical aviation (TA) of the Ukrainian Air Force is equipped with fourth-generation aircraft that are operated without author supervision beyond their designated resource indicators. This significantly affects the capabilities of our aviation during combat operations in the context of the Russian-Ukrainian war. That is why assessing the technical and economic efficiency of the technical operation of TA aircraft is critically important for effective management of their serviceability, ensuring combat readiness and flight safety in conditions of financial and human resource shortages, time constraints, enemy influence and constant changes in the state of the military aircraft fleet.

In the proposed methodology, scientific novelty is determined by a new approach to assessing the technical-efficiency of operation based on the technical utilization coefficient and the specific cost of one hour of aircraft operation in working order, which is based on calculations of the semi-Markov mathematical model of TA aircraft maintenance in special conditions for the three-parameter Weibull distribution law of failure-free operation.

Unlike other methods, this methodology allows not only to assess the technical and economic efficiency of the current process of technical operation of aircraft, but also to predict the values of technical and economic efficiency indicators for various probable variations in operating parameters, which, in turn, makes it possible to predict the serviceability and combat readiness of military aviation equipment for its intended use in the future to repel the Russian aggression.

**ДО ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ
ОБОЛОНКОВО-СТРИЖНЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНИХ
ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ СИЛОВОГО
І ТЕМПЕРАТУРНОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

*М.І. Войтович, к.ф.-м.н., доц.; Л.Д. Величко, к.ф.-м.н., доц.;
М.І. Сорокати́й, к.ф.-м.н., доц.; О.В. Білаш, к.е.н., доц.
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Тонкостінні конструкції використовуються в авіабудуванні, ракетобудуванні, суднобудуванні та інших галузях сучасної військової техніки. Багато з них являють собою системи тонкостінних елементів, що працюють сумісно. Серед них особливе місце займають складені тонкостінні конструкції, виготовлені із континуальних елементів різної розмірності. Ці системи в процесі виготовлення та експлуатації нерідко зазнають дії як силового, так і температурного навантажень. З'єднання елементів таких систем є концентраторами напружень, геометричні параметри яких суттєво впливають як на температурні поля, так і на напружено-деформований стан і несучу здатність таких інженерних конструкцій.

У даній роботі також досліджується температурне поле і обумовлений цим полем, а також зовнішнім тиском напружено-деформований стан системи, яка складається із сферичної оболонки, суцільної кругової пластинки і спрягаючого їх кільця-стрижня прямокутного перерізу (модель люка, ілюмінатора в інженерній конструкції сферичної форми). Неврахування неортогональності спряження оболонки зі стрижневим елементом може призвести до суттєвих похибок у визначенні характеристик термонапруженого стану в приконтактній зоні. Отримані результати також показують, що несиметричність спряження впливає на напружено-деформований стан елементів системи не тільки кількісно, але і якісно. Так зі зміною параметрів несиметричності зусилля у пластинці і в оболонці можуть змінити знак.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

*А.А. Звонко, к.т.н., доц.; В.Р. Мазій; А.М. Поліщук; О.О. Колесник
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Досвід російсько-української війни суттєво вплинув на розвиток системи експлуатації та ремонту авіаційної техніки. Підходи до технічного обслуговування потребують глибокої адаптації до умов високої інтенсивності польотів, обмежених ресурсів та постійної загрози ураження аеродромної інфраструктури.

Інтенсивне використання літаків призводить до прискореного зносу силових установок і бортового обладнання. У зв'язку з цим переглянуто міжремонтні інтервали, посилено контроль технічного стану.

Важливим висновком став ремонт, який забезпечує швидку заміну вузлів та агрегатів і скорочує час простою повітряних суден. Значна увага приділяється розвитку мобільних ремонтних спроможностей і удосконаленню логістики постачання запасних частин. Досвід російсько-української війни також підкреслив необхідність розосередження авіації та підвищення живучості техніки шляхом модернізації окремих систем.

Окремим стратегічним напрямом є інтеграція стандартів НАТО, перехід на західні зразки авіаційної техніки та підготовка висококваліфікованого інженерно-технічного персоналу.

Отже, досвід російсько-української війни зумовив комплексне оновлення системи експлуатації та ремонту авіаційної техніки, визначивши сучасні напрями її розвитку.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОГО ЗМІЦНЕННЯ ВУЗЛІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

М.І. Войтович¹, к.ф.-м.н., доц.; Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.;

А.П. Сенік², к.ф.-м.н., доц.; О.І. Степанюк³, к.ф.-м.н., доц.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний університет "Львівська політехніка";

³Львівський національний університет ветеринарної медицини

Сучасний етап розвитку авіаційної техніки характеризується посиленням вимог до ефективності та надійності літальних апаратів. Забезпечення цих вимог досягається, зокрема, шляхом зниження матеріаломісткості конструкцій

за одночасного підвищення питомої міцності та жорсткості їх елементів. Використання відповідних матеріалів накладає специфічні обмеження на технологічні процеси їхньої обробки, особливо в частині дотримання режимів термічного впливу.

Перспективним напрямом вирішення окреслених технологічних завдань є застосування методів обробки концентрованими потоками енергії. У цьому випадку обробка відбувається виключно за рахунок ініціювання специфічних фізичних явищ, притаманних конкретному виду енергетичного впливу, що дозволяє уникнути механічної взаємодії.

Для ефективного впровадження таких технологій актуальною є розробка математичних моделей, які дозволяють прогнозувати результати обробки. У роботі запропоновано математичну модель, призначену для чисельного визначення раціональних технологічних параметрів впливу високоенергетичного потоку на робочу поверхню деталі. Модель дає змогу прогнозувати геометричні параметри зони термічного зміцнення, а також ідентифікувати ділянки можливого руйнування матеріалу внаслідок перегріву. На основі побудованої моделі проведено числові дослідження розподілу температурних полів і полів термонапружень. Аналіз виконано для різних умов енергетичного впливу з урахуванням термочутливості матеріалу.

ВПЛИВ РОЗМІРНОГО ЕФЕКТУ НА НАДІЙНІСТЬ МАЛОРОЗМІРНИХ КОМПОНЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ

Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.; Ю.А. Сенік², к.т.н.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний лісотехнічний університет України

Одним із пріоритетних завдань сучасного матеріалознавства та механіки деформівного твердого тіла є забезпечення довговічності елементів конструкцій в екстремальних умовах експлуатації. Особливої актуальності це набуває для малорозмірних компонентів – кріпильних деталей, елементів приводів та систем керування, які є найбільш вразливими ділянками через високу концентрацію напружень, що призводить до прискореного втомного руйнування. Вирішення проблеми підвищення їхньої надійності неможливе без урахування розмірного ефекту, фізична природа якого полягає в суттєвій зміні механічних властивостей матеріалу при зменшенні характерних розмірів тіла. У малих об'ємах зростає роль поверхневих шарів та структурних дефектів, що зумовлює відмінність деформаційно-міцнісних характеристик від властивостей макроскопічних зразків.

Традиційні підходи до розрахунку на міцність є недостатніми для адекватного прогнозування ресурсу дрібних деталей. У зв'язку з цим у межах дослідження запропоновано математичну модель для опису напружено-деформованого стану гетерогенного електропровідного шару, яка враховує залежність модулів пружності від визначальних параметрів та уможливорює врахування розмірних ефектів. Проведено дослідження розподілу густини та напружень у малорозмірних тілах для різних типів матеріалів. Запропонована модель є ефективним інструментом прогнозування, що дозволяє оптимізувати навантаження, геометричні розміри та масу малорозмірних елементів конструкцій і сприяє підвищенню їхньої надійності та подовженню терміну служби елементів спеціальної техніки.

СТВОРЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Н.О. Копишов

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Досвід російсько-української війни підкреслив критичну роль своєчасного створення, ефективної експлуатації та оперативного ремонту авіаційної техніки. Надійність літальних апаратів визначає безпеку польотів і ефективність бойового застосування авіаційних підрозділів.

Експлуатація передбачає регулярне технічне обслуговування, дотримання процедур безпеки та оптимізацію використання ресурсів. Ремонт та модернізація літальної техніки включають швидке усунення пошкоджень, оновлення бортових систем та інтеграцію новітніх технологій.

Комплексний підхід до створення, експлуатації та ремонту авіаційної техніки підвищує боєздатність авіаційних сил і забезпечує їхню стійкість у сучасних умовах високотехнологічної війни.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ КЕРАМІЧНИХ КУЛЬ В ГІБРИДНИХ ПІДШИПНИКАХ ОБМЕЖЕНОГО РЕСУРСУ

А.Л. Майстренко, д.т.н.; О.І. Боримський, к.т.н.;

О.С. Васильчук, Ph.D., Д.С. Кустовський

*Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля
Національної академії наук України*

Підшипники в цей час виготовляються переважно зі сталі й вони відносно швидко вичерпують свій ресурс в умовах високих навантажень та температур, особливо при відсутності змащування. Заміна сталевих куль на керамічні, тобто створення гібридних підшипників, в багатьох випадках дозволяє досягти значно більш високих експлуатаційних показників і розширити область функціональних можливостей пристроїв, у яких вони застосовуються. Основними матеріалами при створенні гібридних підшипників з керамічними тілами кочення є гарячепресовані нітрид кремнію (Si_3N_4).

Мета дослідження полягала у визначенні механізму утворення та накопичення поверхневих пошкоджень в керамічних кулях гібридних пар тертя кочення. Спінання керамічних заготовок куль на основі нітриду кремнію (Si_3N_4) виконувалось під високим тиском (до 4 ГПа) при резистивному нагріванні брикету. Зі спечених заготовок Si_3N_4 виготовлялись зразки прецизійних керамічних куль діаметром 12,7 мм. Зносостійкості куль визначалась в умовах змащування маслопарогазовою сумішшю (ТС-1+МС-8п) на лабораторному приладі трьохточкового тертя кочення КІПА-1м при швидкості обертання шпинделя двигуна – 1500 об/хв та осьовим навантаженням 490 Н. Загальний час проведення трибологічних випробувань тривав до 6 годин та контактному тиску в центрі плями контакту 0,962 ГПа, що у двічі більше за границю контактної втоми для кераміки цього типу.

На підставі виконаних трибологічних випробувань визначалась сумарна втрата маси трьох керамічних та сталевих куль в результаті їх зношування при коченні по сталевому кільцю. Контактні циклічні навантаження призводять до

зміни структури матеріалу та веде до утворення мікротріщин у приповерхневому шарі на глибину до 120–150 мкм і поширюються на поверхню у вигляді сколів (піттинга).

КЕРАМІЧНІ КУЛІ ДЛЯ ОПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ ВЕРТОЛЬОТІВ В УМОВАХ СУХОГО ТЕРТЯ

*А.Л. Майстренко, д.т.н.; О.І. Боримський, к.т.н.;
С.В. Сохань, д.т.н.; О.С. Васильчук, Ph.D.; Д.С. Кустовський
Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакула
Національної академії наук України*

Мета дослідження полягала у створенні керамічних куль для підшипників, які забезпечать безпечну роботу редукторів вертольотів в екстремальних умовах експлуатації.

В результаті виконаної роботи отримані наступні результати:

– Розроблені технологічні основи механічної обробки керамічних куль великого діаметру (до Ø42 мм) для підшипників, які відповідають вимогам ISO G16.

– Виготовлені зразки керамічних куль Ø12,7 мм з карбіду бору для гібридних радіальних підшипників. Визначена статична міцність керамічних матеріалів при згині (B_4C – 336 МПа) та керамічних куль при стиску (B_4C – 16,5 тс);

– Виготовлені дослідні партії керамічних куль Ø42 мм для опорного підшипника головного редуктора вертолета (ВР-17МС).

– Радіальний гібридний підшипник з кульками з карбіду бору витримав 6 годин неперервної роботи в умовах сухого тертя кочення при контактному тиску 1,1 ГПа.

– На підставі виконаних трибологічних випробувань визначена зносостійкість керамічних куль з карбіду бору при терті кочення в умовах змащування перевищує у 28 разів їх зносостійкість в умовах сухого тертя.

Отримані результати дають підставу зробити висновок про працездатність гібридного радіального підшипника з кульками з карбіду бору працювати в екстремальних умовах сухого тертя кочення до 6 годин.

КЕРАМІКО-КОМПОЗИТНІ БРОНЕБЛОКИ ДЛЯ ЗАХИСТУ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВІД КУЛЬ КАЛІБРУ 12,7 мм

*С.П. Бісик¹, д.т.н.; А.Л. Майстренко², д.т.н.;
Е.А. Пащенко², д.т.н.; В.Г. Кулич², к.т.н.
¹Національний університет оборони України;
²Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакула
Національної академії наук України*

Відомо, що в якості броньової кераміки застосовуються різні види конструкційної кераміки, в основному, з карбіду бору, карбіду кремнію й оксиду алюмінію, з яких виготовляються бронеблоки різних конструкцій. Так істотних результатів у розробці керамічних бронеелементів для броні модульної конструкції досягли фірми Ingenieurbüro Deisenroth (MEXAS light) і Ceramtec (SICADUR).

Розглянемо деякі аспекти penetрації сталевих сердечників бронебійних куль Б-32 калібру 12,7 мм у бронеблоки кераміко-композитної двох найпоширеніших варіантів конструкції:

– Перший варіант конструкції являє собою шар ізольованих керамічних квадратних плиток з підпором із спресованого пакета скляної або поліамідної тканини. У результаті виконаного моделювання й наступних балістичних випробувань показано, що в керамічній плитці утворюється конічна тріщина Герца локалізована в одній плитці, але вся плитка руйнується від поширення радіальних тріщин.

– Другий підхід до створення дискретної керамічної броні базується на тому, що бронеблок формується із дискретних циліндричних керамічних елементів з сферичними торцями зв'язаних між собою адгезійно-активним полімером. У цьому випадку переслідуються мета створення умов, що приводять до цілеспрямованої зміни траєкторії руху (рікошету) й деформуванню сердечника кулі, а також руйнуванню керамічного елемента й зрушенню його в радіальному напрямку та зіткненню з сусідніми елементами.

Як показали балістичні випробування обох конструкцій ці бронеблоки є ефективним і достатнім захистом техніки від удару кулі Б-32 калібру 12,7 мм.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА РАЦІОНАЛЬНИХ ОБСЯГІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ГРАНИЧНИХ ТЕРМІНІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

О.Є. Мавренков, д.т.н., с.н.с.; С.В. Кубарь, к.т.н., с.н.с.

Державний науково-дослідний інститут авіації

Аналіз парків літальних апаратів (ЛА) військового призначення провідних авіаційних держав показує, що строк служби переважної їх більшості складає 35–40 років. Навіть економічно потужні країни не поспішають виводити їх з бойового складу та прагнуть максимально використати їх потенціал шляхом виконання ремонту, продовження ресурсних показників та модернізації.

На сьогодні стратегія розвитку військової авіації на довгострокову перспективу передбачає технічне оновлення парку як за рахунок переозброєння на сучасні ЛА західного виробництва, так і модернізацію наявних ЛА з залученням провідних іноземних компаній.

У рамках реалізації зазначеної стратегії авторами досліджується проблема раціонального витрачання бюджетних коштів, передбачених на модернізацію авіаційної техніки (АТ), шляхом розроблення науково-методичного апарату обґрунтування раціональних обсягів модернізації (варіантів модернізації) ЛА у залежності від їх технічного стану.

Зазначений науково-методичний апарат засновується на принципах кваліметрії, багатокритеріальної оптимізації, використанні принципу Парето та методичних прийомах зуження паретооптимальної області рішень. При цьому багатокритеріальний простір формується на основі таких показників оцінювання альтернативних варіантів модернізації ЛА: приріст коефіцієнту технічного рівня ЛА за рахунок реалізації пропозицій по модернізації; вартість

модернізації; техніко-технологічна реалізованість пропозицій по модернізації; час виконання робіт по модернізації.

Основна задача дослідження формулюється як забезпечення максимального приросту коефіцієнту технічного рівня ЛА в межах заданого (виділеного) фінансового ресурсу з урахуванням залишку його строку служби (терміну настання його граничного стану). При цьому заданий фінансовий ресурс встановлюється в залежності від залишку строку служби ЛА на основі емпіричних даних і формалізованих процедур теорії прийняття рішень.

Залишок строку служби ЛА (термін настання його граничного стану) пропонується визначати за допомогою математичної моделі прогнозування технічної надійності ЛА, в основу якої покладаються формальні алгоритми штучного інтелекту (теорії розпізнавання образів).

Подальші дослідження за вказаною тематикою проводяться авторами у рамках адаптації розробленого науково-методичного апарату для обґрунтування раціональних варіантів глибокої модернізації літака МиГ-29.

АДАПТАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ДО УМОВ ПРАВОВОГО РЕЖИМУ ВОЄННОГО СТАНУ: СИСТЕМНО-СТІЙКІСНИЙ ПІДХІД

*О.І. Скляр, к.т.н. с.н.с.; П.О. Жикол
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Визначальним чинником бойового застосування авіації сьогодні стають не лише тактико-технічні характеристики літальних апаратів, а здатність технічної системи підтримувати льотну придатність та визначений рівень спроможностей під впливом дестабілізуючих факторів. Це зумовлює потребу в адаптації системи прийняття рішень з організації експлуатації авіаційної техніки в динамічному операційному середовищі.

Метою дослідження є обґрунтування системно-стійкісного підходу до адаптації експлуатації авіаційної техніки в умовах невизначеності. Об'єктом дослідження є процес експлуатації авіаційної техніки у контурі бойового застосування, предметом – методи забезпечення її функціональної готовності в умовах інтенсивного впливу зовнішніх факторів. Дослідження ґрунтується на положеннях системного аналізу та концептуального моделювання, що дозволило розглянути експлуатацію авіаційної техніки як складову єдиної функціональної системи.

Аргументовано, що результативність бойового застосування авіаційної техніки визначається узгодженістю трьох базових контурів: фактичного технічного стану зразків, організаційної спроможності діючої експлуатаційної системи та ресурсної забезпеченості. Обмеження розвитку будь-якого з них формують системні ефекти, які не компенсуються навіть високим рівнем технологічної досконалості.

Запропоновано концептуальну модель адаптації, відповідно до якої стійкість системи експлуатації визначається збалансованістю технічного, організаційного та логістичного контурів.

ДИСКРЕТНО-КАЗУАЛЬНА ЛОГІКА ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРИЦІЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

*В.М. Рудницький, д.т.н., проф.; О.В. Сіденко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Вимогами сьогодення встановлено високий пріоритет інтенсивного впровадження інновацій, скорочення термінів розробки та виготовлення перспективних зразків озброєння та військової техніки. Прицільні комплекси, як технічні системи військового призначення, є невід'ємною частиною більшості систем вогневого ураження від яких залежить ефективність застосування озброєння в бойових умовах. Випробування прицільних комплексів, в свою чергу, це ключовий етап під час їх розробки та виготовлення. Від оперативності та якості проведення випробувань залежить скорочення термінів розробки та виготовлення зразків озброєння, прийняття рішень щодо постановки їх на озброєння чи допуску до експлуатації, закупівлі та постачання підрозділам сил оборони.

Метою даного дослідження є висування та перевірка гіпотези щодо скорочення термінів проведення випробувань шляхом використання казуальної (причинно-наслідкової) логіки під час планування випробувань прицільних комплексів. "Плани – ніщо, планування – все" – Дуайт Д. Ейзенхауер, американський військовий і державний діяч (34-й президент США). Розглядаючи планування випробування як один із етапів процесу випробувань варто зазначити його важливість для досягнення поставлених цілей випробувань. Використання казуальної логіки під час планування дозволить досягнути зменшення терміну їх проведення при збереженні якості, тобто без погіршення таких характеристик результатів випробувань як точність, достовірність та відтворюваність.

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОГАБАРИТНИХ ТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ У СКЛАДІ КЕРОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ БОЄПРИПАСІВ

*Є.В. Лайське; Н.М. Пантелєєва, д.е.н., к.т.н., проф.;
М.Е. Хуторна, д.е.н., проф.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах воєнного стану застосування малогабаритних газотурбінних двигунів (МГТД) у складі керованих авіаційних боєприпасів (КАБ) набуло актуальності, оскільки вони забезпечують автономний рух, можливість корекції траєкторії польоту та збільшення дальності дії боєприпасів.

Можливість застосування МГТД визначається вимогами до швидкості польоту, автономності роботи та маси корисного навантаження. Аналіз сучасних МГТД, які виготовляються військово-промисловим комплексами США, Ізраїлю, країн ЄС, показав, що максимальна тяга окремих типів двигунів становить 1,85 кН (EDePro, Сербія), а мінімальна – близько 0,14 кН (Jetpol, Польща). Діапазон тяги МГТД Rafael (Ізраїль) дорівнює

0,17–0,55 кН. Зазначений параметр визначає спроможність МГТД забезпечувати дальність автономного польоту з урахуванням маси корисного навантаження. Технічними викликами для МГТД є необхідність забезпечення сталості працездатності в умовах високих перевантажень, стійкості до вібрацій та значних температурних коливань. Особливого значення набувають показники питомої потужності, енергоємності джерел живлення та надійності систем керування, а також зменшення помітності виробів – акустичної, теплової та радіолокаційної.

Україна, відчуваючи дефіцит далекобійних авіаційних засобів ураження та обмеженість імпортного постачання, маючи можливість використання існуючих авіаційних платформ і наявні авіаційні боєприпаси, потребує налагодження власного виробництва КАБ з МГТД та прийняття їх на озброєння для розширення оборонних спроможностей Збройних Сил України.

ВИПРОБУВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛІВ ПЛАНЕРУВАННЯ І КОРЕКЦІЇ ДЛЯ АВІАЦІЙНИХ БОМБ ПІД ЧАС ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ рф ПРОТИ УКРАЇНИ

*В.М. Зозуля; Л.М. Кірдей; С.А. Калетнік; О.О. Гончаренко, к.е.н., доц.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Після 2022 року модулі планування і корекції (МПК) перетворилися з технології обмеженого використання на один із центральних елементів реальної бойової авіації. Їхня поява дозволила наносити удари по противнику без входження літаків у зону ураження ЗРК великої дальності, що стало критично важливим для України та рф.

Масштабне застосування МПК у цій війні створило унікальні техніко-наукові умови, для яких:

рф масово використовує МПК різних типів;

західні партнери надають високоточні системи (як приклад: JDAM-ER, AASM Hammer та інші);

Україна розробляє власні МПК, що адаптовані до радянських та іноземних вільнопадаючих авіаційних бомб.

Українські та західні системи підлягають наступним типам випробувань, серед яких:

1. Стендові – перевіряння працездатності складаних одиниць, перевірка модулів управління, приводів, імітація алгоритмів.

2. Наземні – випробування на стійкість до впливу електромагнітних полів, перевіряння працездатності та ефективності дії в наземних умовах, зручності експлуатації.

3. Льотні – випробування на міцність та безпеку при транспортуванні у складі носія, на безпеку при відокремленні від носія, на визначення траєкторних та точносних характеристик, на безвідмовність та ефективність дії в льотних умовах, в тому числі і в умовах РЕБ.

Ці випробування дозволили адаптувати JDAM-ER, AASM та українські МПК до складних реалій бойового застосування.

ІНТЕГРАЦІЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ІНОЗЕМНОГО НЕКЕРОВАНОГО ОЗБРОЄННЯ ПОВІТРЯНИМИ СУДНАМИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*О.О. Гончаренко, к.е.н., доц.; В.М. Зозуля; Є.В. Пісклов; І.М. Волинець
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах повномасштабного вторгнення та сучасної позиційної війни тактика ведення бойових дій в Україні набула характеру війни на виснаження, де ефективне ураження цілей на лінії зіткнення та в суміжних тилових районах є критично важливим. Саме для досягнення високої щільності вогню й оперативності в умовах затяжної позиційної війни, обґрунтованим є застосування некерованих авіаційних ракет (НАР), основною перевагою яких є стійкість до РЕБ та оптимальне співвідношення бойової ефективності та вартості. Наразі в Україні носіями НАР є як літаки тактичної авіації Повітряних Сил (Су-24, Су-25, МиГ-29), так і вертольоти армійської авіації Сухопутних військ (типу Ми-8, Ми-24). Для літаків передбачена широка номенклатура застосування вітчизняного та іноземного авіаційного озброєння (С-8, С-13, РС-80, Zuni, Hydra), проте їх швидкість (750–900 км/год) обумовлює високий ступінь ризику застосування пусків НАР з режиму кадрування. Ця проблема нівелюється шляхом застосування вертольотів типу Ми-8 і Ми-24, крейсерська швидкість яких коливається в межах 220–270 км/год, що забезпечує можливість польоту на гранично малих висотах та ефективне використання рельєфу місцевості як прикриття в умовах насиченої ППО ворога. Не зважаючи на бойові втрати, кількість операційно придатних повітряних суден за чотири роки війни зросла завдяки партнерській допомозі. Відповідно, застосування НАР іноземного виробництва вимагає наукового обґрунтування і моделювання умов їх бойового застосування для підвищення їх ефективності, а також проведення випробувань і формування доповнень до керівництва з льотної експлуатації (або інструкції екіпажу).

СУПУТНИКОВІ НАВІГАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ НАВЕДЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ТА АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

*В.М. Зозуля; Л.М. Кірдей; С.А. Калетнік; Л.А. Зозуля
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Інтеграція супутникових навігаційних систем (GNSS), зокрема GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou, стала визначальним чинником розвитку високоточної зброї. Водночас вимоги до навігаційних контурів керованих авіаційних засобів ураження (КАЗУ) і керованих боєприпасів артилерійських систем (КБАС) суттєво відрізняються через різні профілі польоту, динамічні характеристики та конструктивні обмеження. В умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), спуфінгу (навігаційного обману) та джемінгу (навмисних перешкод) особливої актуальності набувають диференційовані архітектури комплексування GNSS з

інерціальними навігаційними системами (ІНС), мультисенсорна інтеграція та забезпечення живучості в складному радіочастотному середовищі. Необхідність оптимізації витрат і часових ресурсів вимагає пошуку балансу між точністю, завадостійкістю, масогабаритними параметрами та вартістю як апаратних, так і алгоритмічних рішень.

У доповіді проведено порівняльний аналіз архітектур, точності та стійкості GNSS-орієнтованих систем наведення для КАЗУ та КБАС з урахуванням: експлуатаційного середовища, вибору сенсорів, алгоритмів синтезу (фільтрація/корекція), впливу РЕБ і конструктивних обмежень, а також окреслено напрямки підвищення ефективності.

До ключових напрямків підвищення стійкості та точності GNSS є інтеграція сигналів низькоорбітальних супутникових груп, залучення штучного інтелекту для виявлення спуфінгу і фільтрації перешкод, розвиток систем ситуаційної обізнаності та спеціалізованих сенсорів і алгоритмів обробки інформації.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ЗА 2020 –2024 РОКИ

*О.О. Акимов, к.т.н., с.н.с.; С.В. Аргунов; О.В. Акімова, к.ю.н.; А.О. Слюсар
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Аналіз експлуатаційної надійності авіаційної техніки (АТ) здійснювався згідно МРДА-02/16 (МР). До 2024 року спостерігається деяке збільшення загального обсягу нальоту як літаків, так і вертольотів та відповідне збільшення кількості виявлених відмов авіаційної техніки. В той же час зміна значень нальоту на відмову авіаційної техніки, виявлену в польоті, є відносно незначною, що вказує на збільшення частки відмов, виявлених при виконанні технічного обслуговування на землі.

Аналіз причин виникнення несправностей, які впливають на надійність функціонування та безпеку польотів АТ за період з 2015 по 2024 роки виявив домінуючий вплив на рівень надійності АТ конструктивно-виробничих недоліків та інтенсивною довготривалою експлуатацією АТ у продовжений період, що супроводжується фізичним старінням наявної в авіаційних частинах авіаційної техніки в умовах дефіциту якісних запасних частин. Існуючий порядок аналізу не передбачає врахування показників надійності, що притаманні бойовим діям.

Розроблені рекомендації по удосконаленню системи збору експлуатаційної інформації про надійність АТ направлені на покращення ситуаційної обізнаності на всіх рівнях управління та експлуатації АТ.

Наведені рекомендації по підвищенню безвідмовності систем АТ, що лімітують її надійність. Основні напрямки підтримання надійності: забезпечення авіаційних частин та авіаремонтних підприємств якісними запасними частинами та комплектуючими; виконання дієвих та економічно доцільних заходів з модернізації; покращення умов розміщення та зберігання авіаційної техніки; підвищення якості ремонту.

ШЛЯХИ СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГУ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ БЕЗ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ БЕЗПЕКИ

Є.І. Чемерис¹, Ph.D.; В.Т. Бояров¹; Д.В. Башинський², Ph.D.

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Державний науково-дослідний інститут авіації

Випробування в рамках супроводження життєвого циклу авіаційної техніки є визначальними у забезпеченні безпеки польотів та підтвердженні льотної придатності, особливо за відсутності авторського супроводження з боку розробника і виробника.

Створена в Україні система підтримання існуючого парку радянської авіаційної техніки складна як технічно, так і фінансово. В першу чергу це пов'язано з постійним пошуком нових технічних рішень, зокрема відновлення конструкторської документації на ресурсолімітуючі та дефіцитні деталі та їх виготовлення. При цьому цей процес завжди супроводжується різними типами випробувань які у більшості є надзвичайно тривалими і витратними. З іншого боку, проведення частини наземних та льотних випробувань полягає у безпосередньому застосуванні об'єкта випробувань у складі літального апарату, що також впливає на динаміку вичерпання ресурсних показників.

Тому, актуальним на сьогодні при підготовці та проведенні випробувань є розробка та впровадження нових наукових підходів у випробувальній діяльності спрямованих на зменшення надлишкових та дублюючих перевірок шляхом заміни їх науково обґрунтованими методами доказу.

Оптимізація випробувань авіаційної техніки є стратегічно необхідним напрямом розвитку галузі. Поєднання чисельного моделювання, ймовірнісних методів, використання статистичних підходів, цифрових технологій, експлуатаційних даних і найголовніше досвіду проведення випробувань типових зразків авіаційної техніки створює науково обґрунтовану основу для скорочення обсягів фізичних випробувань без зниження рівня льотної безпеки.

ВПЛИВ РЕСУРСНИХ ОБМЕЖЕНЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ І ВІДНОВЛЕННЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

В.В. Мамренко

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Спроможності державної авіації визначаються технічним станом і якістю технічного обслуговування ПЛІА, ефективність якого визначається ресурсними обмеженнями. Зокрема, матеріальні ресурси лімітуються наявністю запчастин, агрегатів, спеціального інструменту та обладнання, людські – кваліфікацією, чисельністю інженерно-технічного персоналу, задіяного для технічного обслуговування (ТО) і ремонту авіаційної техніки (АТ), часові – інтенсивністю льотного експлуатування.

Існує пряма залежність між ресурсними обмеженнями, ефективністю управління технічним станом та ефективністю експлуатування АТ. Для

ефективного управління технічним станом (ТС) і відновлення АТ, враховуючи обмеженість ресурсів і з метою раціонального їх використання, доцільно впроваджувати в практику ТО: прогнозну діагностику ТС; оптимізаційні моделі ТО та ремонту з акцентом на пріоритезацію робіт і адаптацію інтервалів їх проведення; найкращих міжнародних практик (за стандартами STANAG, MIL-STD, EASA для обслуговування АТ, отриманої в рамках міжнародної технічної допомоги); автоматизовані системи управління запасами, логістичні системи та ін.; цифрові технології для моделювання ТС агрегатів і вузлів, оцінки ризиків відмов.

Отже, ефективне управління ТО і відновлення АТ в умовах обмежених ресурсів потребує комплексного підходу, безперервного процесного удосконалення на основі інноваційних рішень для забезпечення надійного експлуатування АТ, що є вкрай важливим для державної авіації в умовах воєнного стану.

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ЯК СКЛАДОВА ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

С.В. Сергієв

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Російсько-українська війна стала потужним каталізатором відновлення та переосмислення національного військово-промислового комплексу. В умовах тривалої збройної боротьби Україна отримала можливість не лише відновити окремі виробничі спроможності, а й сформувати нові коопераційні зв'язки між науковими установами, підприємствами оборонної галузі та військовими підрозділами.

На сьогодні спостерігається значне зростання кількості зразків вітчизняної розробки – від модернізованих систем радянського походження до принципово нових виробів, створених із урахуванням реалій сучасної війни. Це свідчить про поступове формування власної технологічної бази.

Інтенсивна експлуатація техніки в бойових умовах висуває підвищені вимоги до її довговічності, ремонтпридатності та стабільності функціонування.

У зв'язку з цим аналіз зразків озброєння має охоплювати не лише їхні тактико-технічні характеристики, але й показники надійності. Саме надійність визначає здатність системи зберігати працездатність у складних умовах експлуатації, під впливом навантажень, кліматичних факторів та інтенсивного використання. Недостатня увага до цих аспектів може призвести до зниження ефективності навіть високотехнологічних зразків.

Важливим елементом такої роботи є системний облік усіх відмов, поломок і випадків виходу техніки з ладу з подальшим їх аналізом. Перевірка та уточнення критеріїв надійності повинні здійснюватися на основі реальних статистичних даних бойового застосування. Це дозволить своєчасно виявляти конструктивні недоліки, удосконалювати існуючі зразки та формувати обґрунтовані вимоги до нових модифікацій озброєння, підвищуючи їх ефективність і життєвий цикл.

ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ЗРАЗКА АРТИЛЕРІЙСЬКОГО ОЗБРОЄННЯ

М.П. Столяренко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

В умовах інтенсивної експлуатації артилерійського озброєння (далі – АО) та обмежених фінансових ресурсів держави капітальний ремонт (далі – КР) виступає ключовим інструментом підтримання бойової та технічної готовності зразків озброєння.

Враховуючи зазначене, пропонується методичний підхід щодо обґрунтування економічної, технічної, експлуатаційної та військової доцільності проведення капітального ремонту зразка АО, який полягає в наступному:

1. На першому етапі здійснюється збір вихідних даних щодо: результатів дефектації; вартості КР та вартості нового зразка; бойових характеристик зразка тощо.

2. На другому етапі проводиться оцінювання технічного стану зразка (технічне оцінювання доцільності КР на ньому), а саме: визначення фактичного напрацювання та залишкового ресурсу, можливості модернізації при КР; оцінюються можливості повного відновлення ресурсу.

3. На третьому етапі формується система витрат (економічна оцінка). Розраховуються економічні показники (вартість відновлення ресурсу, коефіцієнт економічної доцільності). Порівнюється вартість КР з вартістю закупівлі нового (альтернативного) зразка.

4. На четвертому етапі проводиться оцінювання військово-економічної ефективності. Визначаються: коефіцієнт технічної готовності; приріст ресурсу та надійності зразка озброєння; вплив на боєздатність підрозділу; точність і дальність стрільби після КР; скорочення експлуатаційних витрат після КР.

Запропонований методичний підхід дозволяє: приймати обґрунтоване рішення щодо доцільності ремонту зразка АО або заміни його на альтернативний зразка АО; підвищити ефективність використання бюджетних ресурсів; підтримувати необхідний рівень боєздатності та ресурсу озброєння.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПОЛІПШЕННЯ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ У БАКАХ ПАЛИВНИХ М'ЯКИХ ДЛЯ ВЕРТОЛЬОТІВ

Л.О. Ткач; М.М. Терещук

*Товариство з обмеженою відповідальністю “Український науково-дослідний
конструкторсько-технологічний інститут”*

Баки паливні м'які (БПМ) є важливим елементом конструкції паливної системи літальних апаратів, відмови яких прямо впливають на безпеку польотів авіаційної техніки.

Широке застосування вертолїтної авіації під час бойових дій потребує високої якості функціонування усіх систем і паливної системи зокрема, тому саме підвищенню якості БПМ присвячено дослідження.

Конструктивно БПМ виконують з різних за властивостями матеріалів, для поєднання яких використовують клейові композиції на основі поліхлоропренового каучуку.

В умовах активних бойових дій і руйнуванні традиційних логістичних ланцюгів поставок сировини, відбулася зміна виробників та марок клейових поліхлоропренових каучуків.

Вивчена можливість застосування сучасних поліхлоропренових каучуків марок CR 2444, CR 2442 (виробник Корея), які характеризуються високою швидкістю кристалізації у клейових складах.

Встановлена ефективність клейових складів на основі цих каучуків при склеюванні конструктивних деталей БПМ. Розроблені клейові склади надають виробу високу кінцеву міцність і стійкість до дії авіопалив, що підвищує рівень герметичності БПМ і запобігає витоку палива.

THE HEATING TEMPERATURE OF AN ELECTRICAL WIRE WITH ADDITIVES TO THE PRIMARY MATERIAL OF A CURRENT-CARRYING CONDUCT

A. Katunin¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Kolomiitsev², Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. Kolodii¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

S. Artiunov¹; D. Zarichniak¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

In today's conditions, special attention is being given to the functioning of the power supply system as a whole, and to the cable infrastructure as one of its key components. Ensuring the fire safety of cable products is one of the priority areas. The analysis of works shows that there is a lack of proper attention to researching the heating intensity of insulated electrical wires with foreign admixtures to the primary materials of current-carrying conductors under various current loads.

The work investigates investigates the effect of additives to the primary material of the current-carrying conductor exemplified by a single-core aluminium H05V-A 2.5 wire with a single-layer polyvinyl chloride insulation. Dependencies were constructed for the heating temperature of this wire with 0.05% and 0.1% chromium, vanadium, and titanium additives to the primary material of the current-carrying conductor on the operating time under different load currents.

Minor amounts of additives (less than 0.1%) to the primary material of current-carrying conductors can affect the heating temperature of a loaded wire. Chromium additives have the most effect, titanium additives have the least effect.

The work shows that for all types of additives considered in the article, a loaded electrical wire without additives to the primary material of the current-carrying conductor has the lowest heating temperature during operation.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГУСТОТИ РЕШІТКИ СПРЯМНОГО АПАРАТУ ГВИНТОВЕНТИЛЯТОРУ НА ЙОГО ТЯГУ

А.А. Кошель

Акціонерне товариство "Івченко-Прогрес"

Забезпечення високої паливної ефективності та зниження шкідливих викидів залишаються ключовими пріоритетами розвитку сучасної авіації. Перехід до силових установок з відкритим ротором (гвинтовентиляторів) дозволяє суттєво покращити тягову ефективність порівняно з класичними

турбореактивними схемами. Перспективною розробкою є використання відкритого гвинтовентилятору зі спрямним апаратом.

У доповіді подано основні результати дослідження впливу густоти решітки спрямного апарату на сумарну тягу гвинтовентилятора на крейсерському режимі польоту. Методом дослідження є моделювання течії повітря в секторі простору навколо лопаті гвинтовентилятора та спрямного апарату в програмному комплексі ANSYS CFX методом стаціонарного рішення RANS. Для дослідження побудовано гексаедральну сітку в програмному комплексі ICEM CFD. Проведено сітковий аналіз та обрано для дослідження модель турбулентності SST Re- γ .

Проведено математичне моделювання гвинтовентилятору на крейсерському режимі (висота $H = 10668$ м; число Маха польоту $M = 0,770$) з різним числом спрямних лопатей, та відповідно і різною густотою. Виявлено, що при густоті решітки $b/t = 0,443$ на відносному радіусі $0,75$, спостерігається найбільша тяга спрямного апарату, що складає $3,59\%$ відсотки від тяги робочих лопатей. В усьому дослідженому діапазоні при збільшенні густоти решітки спрямного апарату спостерігається падіння тяги на одну лопать.

Результати дослідження можна використати для проектування силових установок з повітряним гвинтом та гвинтовентилятором.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ВЕНТИЛЯТОРА З НАДВИСОКИМ СТУПЕНЕМ ДВОКОНТУРНОСТІ

Д.О. Плакуцій

Акціонерне товариство "Івченко-Прогрес"

Силові установки з надвисоким ступенем двоконтурності (більш ніж 15) є ключовим рішенням для підвищення польотної ефективності літаків.

Згідно з аналізом сучасних тенденцій, збільшення ступеня двоконтурності з $5...8$ до $15...20$ дозволяє підвищити польотний ККД з 75% до 85% і вище, що забезпечує зниження питомої витрати палива на $12...15\%$. Проте такий підхід створює низку технічних викликів, що пов'язані із масою конструкції та аеродинамічним опором мотогондоли великого діаметра.

У доповіді представлено аналіз методів оптимізації параметрів робочих процесів вентилятора та вузлів приводу для забезпечення максимальної паливної економічності. Відповідно до термодинамічного циклу ГТД, збільшення ступеня двоконтурності супроводжується зменшенням оптимального ступеня підвищення тиску у вентиляторі до значень $1,3...1,45$. Це зумовлює перехід до використання малолопатевих вентиляторів та впровадження редуктора, що дозволяє турбіні працювати на високих частотах обертання із максимальним ККД, тоді як вентилятор обертається з нижчою окружною швидкістю, що мінімізує хвильові втрати на кінцівках лопаток. Математичне моделювання показує, що для вентиляторів з надвисоким ступенем двоконтурності, критичне значення має форма профілю лопатки та геометрія вихідного пристрою. Використання регульованого сопла другого контуру дозволяє оптимізувати лінію робочих режимів, уникаючи помпажу та забезпечуючи стабільну роботу при низьких значеннях ступеня підвищення тиску. Результати дослідження можуть бути використані при розробці перспективних авіаційних двигунів із низьким питомим споживанням палива та покращеними акустичними характеристиками.

СЕКЦІЯ 5

КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН, БПАК ТА АВІАЦІЙНЕ ОЗБРОЄННЯ

Керівники секції: полковник Шелякін О.М.;
к.т.н. доц. полковник Красноручкий А.О.
Секретар секції: майор Корепанов В.В.

IMPROVEMENT OF THE ANTI-ICE SYSTEM OF THE BAYRAKTAR TB2 STRIKE UAV IN LOW TEMPERATURE CONDITIONS

*A. Krasnorutskiy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Sheliakin²; V. Matvieieva¹*

¹*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;*

²*Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine*

Modern MALE-class unmanned aerial vehicles play a key role in providing reconnaissance, surveillance, and firepower. One of the most effective strike UAV systems is the Bayraktar TB2, which is actively used in combat missions in various climatic conditions. At the same time, operating UAVs at altitudes of up to 8–10 km is accompanied by an increased risk of icing on aerodynamic surfaces, air intakes, antennas, and optoelectronic modules.

An analysis of the experience of NATO member countries in using unmanned systems shows that the most effective means of counteracting icing are electrothermal systems with integrated heating elements in the leading edges of the wing and tail elements. Unlike modern UAVs of partners, the standard configuration of Bayraktar TB2 provides only an ice indication system without actively influencing the process of its formation, which limits the effectiveness of the device in conditions of intense dripping icing.

We propose integrating an adaptive electrothermal anti-icing system with zonal heating of the most critical areas of the structure and an automatic control algorithm depending on temperature, humidity, and flight altitude. The use of thermostats allows optimizing energy consumption and ensuring the functioning of the system within the limits of the available resources of the onboard power supply.

The implementation of the proposed technical solutions will expand the range of meteorological conditions in which UAVs can be used, increase flight safety, and reduce the risk of losing the aircraft during combat missions.

METHOD FOR RECOGNITION OF CHAOTIC SIGNALS IN COGNITIVE RADAR USING NEURAL NETWORKS

*K. Vasiuta, Doctor of Technical Sciences, Professor;
U. Zbezhkhovska, Ph.D.; I. Kazmirov*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The problem of radar signal recognition in a complex signal-interference environment is considered. A method of optimal recognition of complex signals is proposed based on the CNN (Convolutional Neural Network) neural network structure, which uses convolutional layers to extract spectral features and analyze chaotic processes. A modified Chua chaotic system with nonlinear iterative

transformation is used as an information carrier, which provides a high level of secrecy.

For training and testing the model, 13 classes (1000 samples each) with different values of the parameter α and additive white Gaussian noise in the range from -5 to $+30$ dB were synthesized. The identification process was based on the analysis of spectrograms, which allowed the neural network core to detect stable statistical characteristics of chaotic dynamics that are preserved after iterative transformation. This approach provides the cognitive system with the ability to identify its own reflected signals against the background of interference without using the classical correlation model.

The simulation results confirmed the reliability of the proposed method: the identification accuracy at a signal-to-noise ratio of 0 dB exceeds 97 %. The conducted stress test demonstrated the recognition ability of the system significantly higher than the probability of random guessing at a signal-to-noise ratio of -10 dB.

It is proven that the implementation of a neural network classifier in the on-board signal processor allows to increase the selective ability of the radar with respect to small-sized UAVs and ensure the operation of the system in a complex signal-to-noise environment.

SUBSTANTIATION OF RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE PROCEDURE FOR COLLECTING AND ANALYZING INFORMATION ON MALFUNCTIONS OF AVIATION EQUIPMENT OF THE L-39 AIRCRAFT

A. Krasnorutskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Y. Ronzhyn; R. Lupashko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The level of reliability of aviation equipment laid down during design is high, but during operation, reliability indicators decrease, which leads to an increase in maintenance and repair costs. Maintaining a given level of reliability of aircraft is a key task of operation.

A significant part of the aircraft has exhausted the calendar service life and is operated according to the technical condition, which is why ensuring their further operation requires modernization and implementation of organizational and technical measures.

For the L-39 aircraft, the most typical are failures of the DC generator, voltage regulator, short circuits in the on-board wiring, wear of the collector-brush assembly and violation of contacts in the connectors, which can lead to a decrease in the voltage of the on-board network.

The efficiency of the processes of detection, accounting and troubleshooting directly affects flight safety and reliability of aviation equipment. At the same time, the current procedure for collecting and analyzing information in accordance with MRDA 02/16 is characterized by the complexity and fragmentation of information resources.

It is proposed to develop a software package for modeling the L-39 electrical circuit and automated fault detection based on the analysis of current, voltage and resistance parameters with the formation of electronic fault accounting cards.

The expected results are a reduction in the time of failure localization, a reduction in the impact of the human factor and an increase in the reliability of aviation equipment.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE APPLICATION FOR OPTIMIZING TROUBLESHOOTING IN THE ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF THE AERO L-39 ALBATROS AIRCRAFT

A. Krasnorutskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Boryshchuk; Y. Vyshnivskiy

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The electrical power supply system of the L-39 aircraft ensures the operation of onboard equipment, control systems, communication, and navigation systems. Its reliability directly affects flight safety and the effectiveness of training and combat missions. Troubleshooting in this system is typically carried out in accordance with operational documentation and requires considerable time, especially under conditions of intensive aircraft operation.

The purpose of this study is to develop a software application aimed at optimizing the process of diagnostics and fault detection in the electrical power supply system of the L-39 aircraft. The proposed application implements a step-by-step logical analysis algorithm for failure symptoms using a structured database of typical faults, their causes, and recommended verification methods.

The program functionality includes the input of failure symptoms, automatic generation of a list of possible causes, visualization of electrical diagrams of relevant units, and generation of recommendations for further inspections and checks. This approach makes it possible to reduce the time required for fault localization, decrease the probability of technical personnel errors, and improve the efficiency of maintenance operations.

It is expected that the implementation of the developed software application will enhance the operational reliability of the L-39 aircraft, optimize the time spent on diagnostics, and improve the overall quality of aviation technical support.

JUSTIFICATION OF THE SELECTION OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT OF QUALIMETRIC MODELS OF MANNED AND UNMANNED STRIKE AVIATION COMPLEXES OF FIXED-WING AND HELICOPTER CONFIGURATIONS

O. Leontiev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

M. Naumenko², Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;

M. Komarov²; M. Sheremet¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification

The task of assessing generalized indicators of the combat properties of strike systems arises when it is necessary to determine quantitative indicators of the combat capabilities of weapons and military equipment (WME) samples in performing typical mission-oriented tasks. One approach to constructing a generalized indicator of the combat properties of manned and unmanned aviation complexes (hereinafter – AC) is the well-known combat potential coefficient. The quantitative evaluation of this indicator for manned and unmanned AC is carried out using qualimetric models, which formalize the relationship between the combat potential coefficient of a WME sample and the defining indicators of its individual combat properties.

Currently, two main methodological approaches to the development of such qualimetric models are known. The first is based on expert assessment methods to determine the weight significance of the model factors, namely the tactical and technical characteristics included in the set of indicators. The second approach establishes a formalized relationship between the combat potential indicator and the model factors based on a retrospective analysis of the development of this type of WME.

Considering that fixed-wing unmanned strike AC are relatively new technical systems whose combat use in modern warfare is steadily increasing, their development pace is correspondingly high. However, the application of the second methodological approach to these systems is problematic due to the insufficient accumulation of statistical data on the values of their combat property indicators. Therefore, for this type of unmanned AC, the use of expert assessment methods is proposed. The conducted research resulted in quantitative estimates of the weight coefficients of the indicators (factors) of the qualimetric model, the adequacy of which is confirmed by satisfactory values of parameters characterizing the consistency of expert judgments.

In contrast to unmanned AC, a sufficient amount of statistical data on the combat property indicators of strike helicopter aviation complexes is available. This made it possible to develop a qualimetric model of the combat properties of attack helicopters in performing ground target engagement missions and to carry out its verification.

In the future, after accumulating a sufficient volume of statistical data on the combat capability indicators of unmanned AC, it will become possible to apply the second methodological approach in order to improve the accuracy and adequacy of the qualimetric models previously developed using expert assessment methods.

METHODS FOR OPTIMIZATION OF DETECTION AND INFORMATION PROCESSING SYSTEMS AND FORMATION OF UAV CONTROL SIGNALS IN DIFFICULT ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT

*O. Sotnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
R. Sydorenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The systems of UAV onboard equipment of the correlation-extreme type used for autonomous navigation are considered. Ensuring the effective functioning of the specified UAVs in difficult conditions of the electromagnetic environment, which arises, as the experience of conducting combat operations shows, due to the active use by the enemy of electronic warfare means, camouflage and imitation, and rapid changes in the areas of sighting requires the development of modern methods for optimizing the systems of detection and information processing and the formation of UAV control signals.

An analysis of information features used in combined navigation systems of autonomous UAVs and the possibility of their joint use was carried out. An analysis of the dependence of information features on changes in UAV navigation parameters and the influence of obstacles was carried out. A method for forming a minimum set of reference information was developed, taking into account UAV navigation parameters and angular orientation parameters. Methods and algorithms for segmenting the source information for object selection in the current image were developed. A method for forming UAV control signals under the influence of

algorithmic obstacles was developed. The effectiveness of the developed methods was assessed by numerical modeling of the process of forming a UAV control team in difficult operating conditions.

METHOD FOR PREDICTING THE FLIGHT ROUTE OF A DEEP-STRIKE UNMANNED AIRCRAFT BASED ON ANT ALGORITHMS

*O. Kivshar; H. Khudov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Taran, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of conducting combat operations in the conditions of the Russian-Ukrainian war has shown that in recent years, there has been a steady trend towards intensive and systematic use of unmanned aerial vehicles (UAVs) at the operational-tactical and strategic levels. Their role is constantly growing both in reconnaissance and in strike operations. Deep-Strike UAVs, designed for high-precision destruction of critically important objects at a considerable distance from the line of combat contact and deep behind enemy lines, require special attention. Their use significantly affects the operational situation, logistics, and overall combat potential of the enemy, which, in turn, leads to increased requirements for the autonomy of operation, platform survivability, and the effectiveness of intelligent flight route planning and adjustment systems.

The conditions of their application were analyzed, and key challenges for the effective performance of Deep-Strike UAV tasks were identified. It was established that under these conditions, the effectiveness of the combat mission directly depends on the ability of the autonomous control system to form a safe, energy-efficient, and adaptive flight route, taking into account the multifactorial uncertainty of the environment. It is necessary to simultaneously take into account the minimization of the risk of detection, reduction of the time spent in potentially dangerous areas, optimization of energy consumption, and ensuring resistance to external influences.

Traditional shortest path search algorithms (e.g., Dijkstra, A*) are considered. It is found that they do not provide a sufficient level of adaptability and flexibility in conditions of rapid changes in external environment parameters.

It has been established that a promising direction for solving this problem is the application of metaheuristic optimization methods, in particular ant algorithms (Ant Colony Optimization, ACO). A simple ant algorithm and one of its modifications, namely an ant algorithm based on elite ants, are considered.

The Deep-Strike UAV flight path prediction method based on ant algorithms was simulated, namely a simple ant algorithm and an ant algorithm based on elite ants. Two variants of launching the algorithm were performed with analysis of the results after 100 and 200 iterations.

Analysis of the obtained results showed that the simple ant algorithm demonstrates unsatisfactory search quality. The found routes are not optimal, and increasing the number of iterations from 100 to 200 does not provide the best solution. The reason is the premature concentration of pheromone on one of the initially attractive, but suboptimal segments of the route. In the early stages, the algorithm reinforces a randomly chosen direction, which may be far from the optimal trajectory, leading to the “suppression” of alternative routes.

The results of modeling the ant algorithm based on elite ants (by comparing the corresponding launch options) demonstrated a significant improvement in the search quality. Thus, the simulation confirmed the superiority of the algorithm based on

elite ants compared to the simple ant algorithm in the problem of predicting the optimal route. The modified approach is characterized by better convergence, greater resistance to local minima, and higher efficiency in finding the globally optimal solution.

Further research should be directed at optimizing the parameters of the ant algorithm based on elite ants in order to increase the speed and adaptability of the method in a complex environment.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TARGET RADIATION CONTRAST ON PASSIVE DETECTION RANGE IN THE INFRARED SPECTRUM

*V. Korepanov; Y. Kazakov; O. Polishchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In infrared search and track (IRST) systems, the detection of airborne targets at long ranges is carried out under conditions where the angular size of the target image is smaller than the instantaneous field of view (IFOV) of the receiver. In the mode of detecting unresolved targets, the useful signal in the receiving channel is formed due to the contrast between the radiation of the airborne target and the background, which characterizes the difference in their energy parameters within the instantaneous field of view of the photodetector. It is precisely the magnitude of this contrast that determines the signal-to-noise ratio (SNR) and, consequently, the maximum passive detection range.

The background component in the receiving channel is formed by atmospheric and other background radiation sources in the observation direction. As the range increases, the radiation contrast of the target relative to the background decreases, thereby determining the level of the useful signal and the maximum passive detection range.

A decrease in the radiation contrast of the target relative to the background leads to a reduction in the signal-to-noise ratio in the receiving channel and, as a consequence, to a decrease in the maximum passive detection range. Improvement of system performance can be achieved by selecting an optimal spectral observation band, reducing the intrinsic noise level of the photodetector, increasing the optical system aperture (i.e., improving optical throughput), and applying spatial-temporal digital signal processing techniques.

Thus, the radiation contrast of the target relative to the background is the principal physical factor that determines the feasibility and maximum range of passive detection of unresolved airborne targets in the infrared spectrum.

HELICOPTER AS A MEANS OF COMBATING UNMANNED AIRCRAFT

*A. Kornienko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Hrachov; O. Bilozorov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Tactics and techniques for destroying unmanned aerial vehicles (UAVs) are constantly being improved. Since 2024, the Defense Forces of Ukraine have begun to actively use helicopters to destroy enemy UAVs.

As experience shows, successful interception of UAVs by aircraft or air defense systems is very expensive. The cost of one UAV, depending on the class, varies from hundreds to a million dollars, and the cost of one shot from a Patriot-type anti-

aircraft missile system reaches 3 million dollars. Therefore, it is advisable to find new ways to combat massive attacks by relatively cheap strike UAVs.

The report analyzes the combat use of helicopters against UAVs by the Israeli armed forces and US Army helicopters during exercises and armed conflicts in recent years. During the Russian-Ukrainian war, Ukrainian Mi-8 and Mi-24 helicopters are on combat duty in the air defense system as a means of combating low-visibility, low-speed and low-altitude air targets.

There have also been cases of the Russian army using Mi-28 and Ka-52 helicopters for the same purpose.

It is noted that an onboard machine gun and guided aircraft missiles from the helicopter's armament complex are usually used to destroy UAVs. There have been cases when such weapons as a sniper rifle and an aircraft cannon (machine gun) installed in the side doors of the helicopter cabin were used to destroy UAVs.

In addition, a promising direction for destroying UAVs is considered to be the use of unguided aircraft missiles by installing homing heads on the missiles.

SELECTION OF CRITERIA FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF EMPLOYMENT OF MIXED OPERATIONAL-TACTICAL GROUPINGS OF MANNED AND UNMANNED AVIATION

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
H. Eidelshstein; Y. Krepko; O. Yeremenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

At the present time one of the priority directions of development of armies of most countries of the world is the active introduction of unmanned systems. The leader in terms of pace and scale of implementation are unmanned aerial systems. According to the realities of modern armed struggle, unmanned aerial complexes are capable of performing a significant range of combat and special tasks assigned to manned aircraft, with greater efficiency according to the criterion “costs – result”. At the same time, the tasks of delivering powerful aviation strikes with the use of guided means of destruction at long distances, interception of high-speed air targets, for the time being, remain with manned aviation. Such a situation encourages the unification of efforts of manned and unmanned aviation by forming, for the performance of certain tasks, depending on their complexity and importance, mixed aviation tactical groups or mixed aviation operational-tactical (operational) groupings. In the existing practice of employment of mixed tactical groups by the Armed Forces of Ukraine for striking maritime objects, the employment of large mixed aviation groupings for delivering massed missile-aviation strikes by the armies of Russia, Israel and Iran, the theoretical aspects of such methods of combat actions and forms of aviation employment in existing scientific publications are disclosed indirectly. The majority of military experts declare the joint employment of manned and unmanned aviation as a partial reaction to a certain situation and limit themselves to research within the framework of performing one task. To prove the role and significance of joint actions of manned and unmanned aviation, first of all, large mixed operational-tactical groupings in military campaigns and operations of troops, is possible through the assessment of their combat effectiveness. The selection of criteria and indicators is an important step towards solving the problem of assessing the effectiveness of mixed aviation groupings as complex specific organizational-technical systems and determines the relevance of the scientific article.

In the modern environment of war, any combat system can function effectively only when it combines into a single whole the following components: strike component; support component; control component.

All components of the combat system make a certain contribution to the results of accomplishing the combat task, but in the article the author dwells in more detail on the combat component, which directly conducts combat actions.

The combat capabilities of a mixed operational-tactical grouping of manned and unmanned aviation are assessed by a whole system of quantitative indicators that significantly affect the final result, namely: spatial indicators – combat radii of the means of the grouping, depth of actions, range of altitudes of actions, lines of entry into battle of aircraft of different branches of aviation and different classes and categories of unmanned aerial vehicles, etc.; time indicators – time of takeoff from different degrees of readiness for combat actions, maximum time of patrolling in patrol zones in the air, maximum time of air surveillance of the enemy, maximum number of combat sorties in a specified time, etc.; indicators of results of direct impact on the enemy – probability of accomplishing the combat task, probability of detection, recognition and identification of enemy objects, mathematical expectation of the number of destroyed enemy objects, etc.

Methods of calculation of these indicators are known and are used in full volume when planning actions of all military formations, including when planning and employing mixed operational-tactical groupings of manned and unmanned aviation. The difficulties of assessing the effectiveness of employment of mixed aviation consist in the following: firstly, in the selection of criteria and indicators precisely for such heterogeneous formations that can simultaneously perform a complex task including reconnaissance, electronic influence, deception measures and direct fire destruction; secondly, in determining the rating of the selected criteria of effectiveness, that is, the degree of influence of each of them on the overall result.

The selection of criteria is carried out by experts – specialists in the field of employment of mixed operational-tactical groupings of manned and unmanned aviation, of whom, unfortunately, there is a shortage at the present time.

According to the choice of experts, the most appropriate criteria for the effectiveness of employment of a mixed aviation grouping are the following: level of realization of the combat potential of the grouping, minimization of losses of manned aircraft and unmanned aerial vehicles, rationality of distribution of efforts, level of controllability.

The rating, the vector of priority of each criterion of assessment of effectiveness of employment of mixed groupings is determined calculated with the use of a matrix of pairwise comparisons according to the analytic hierarchy process method.

The selection of criteria and assessment of the level of their priority is the basis for determining the optimal variant of employment of mixed aviation groupings.

PECULIARITIES OF AERIAL RECONNAISSANCE OF MARITIME PLATFORMS IN THE OPEN SEA

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; A. Baiba
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Maritime platforms are a specific class of naval infrastructure objects, which include floating docks, floating workshops, floating bases, tankers, and pontoon assets. Firstly, maritime platforms are characterized by limited self-defense assets. Unlike combat ships they do not have integrated ship-based surface-to-air missile

systems, medium-caliber artillery mounts, or EW stations. This makes the platforms vulnerable to UAVs, particularly the Bayraktar TB-2, capable of conducting aerial reconnaissance outside the MANPADS engagement zone. Secondly, an important feature is the predictability of their disposition. Although individual platforms retain limited mobility, their operation is strictly tied to hydrographic conditions, port infrastructure, and logistics routes. A floating dock requires a water area with controlled depths, a floating base requires stationary berthing for receiving ammunition, and a tanker requires an oil terminal. This creates an opportunity for accumulating intelligence data, forecasting basing locations, and planning repeated strikes. Thirdly, the high operational effect of their engagement is of critical importance. The experience of combat operations in the Black Sea shows: the destruction of a floating workshop in Lake Donuzlav led to a prolonged cessation of repair capabilities in that direction, and the engagement of a floating dock in Sevastopol simultaneously disabled the submarine “Rostov-on-Don” and deprived the enemy of the ability to dock-repair other submarines. The difficulty of replacing such objects, with construction times ranging from several months to a year, makes their engagement strategically more advantageous than the destruction of an individual combat unit. Thus, aerial reconnaissance of maritime platforms should be considered an independent task requiring specific methods of detection and identification.

PECULIARITIES OF THE JOINT EMPLOYMENT OF MANNED AND UNMANNED AVIATION IN MODERN ARMED CONFLICTS

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; N. Bohun
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern armed conflicts are characterized by the active integration of Unmanned Aircraft Systems, which significantly alters the approaches to the employment of forces. The experience of wars of the late 20th and early 21st centuries indicates a steady increase in the role of UAVs in performing tasks such as aerial reconnaissance, target designation, fire adjustment, and engagement of the enemy.

The foundation of joint employment is the formation of composite aviation groupings, whose composition is determined by the mission, the nature of the forces' employment, and the anticipated operational environment. One of the main peculiarities of such groupings is the rational allocation of functions between manned and unmanned aircraft. UAS typically perform tasks related to intelligence support for the employment of forces, reconnaissance, and electronic warfare. Manned aviation, in turn, ensures the execution of complex strike missions and the use of precision-guided munitions.

A promising direction of development is the implementation of the “Loyal Wingman” concept, which envisages the coordinated operations of manned and unmanned aircraft within a single combat group. An essential prerequisite for the effective employment of composite aviation groups is comprehensive mission planning. This includes conducting reconnaissance, assessing threats, prioritizing targets, and coordinating actions with other branches of the military. Mission effectiveness is determined by a combination of indicators related to target detection, identification, and engagement.

Therefore, the joint employment of manned and unmanned aviation is a key direction in the development of modern military aviation. It ensures increased effectiveness of force employment while reducing personnel and equipment losses.

RESEARCH OF EXISTING METHODS FOR COUNTERACTING THE DESTRUCTIVE IMPACT OF THE ENEMY'S ELECTRONIC WARFARE MEANS

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; M. Vitruk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of employing unmanned aerial vehicles (UAVs) in modern armed conflicts demonstrates the active use by the enemy of electronic warfare (EW) systems aimed at jamming communication channels, intercepting control, and distorting navigation and telemetry data. In this regard, the requirements for ensuring the resilience, integrity, and confidentiality of information within UAV information and communication systems are increasing. One of the countermeasures involves the application of spread spectrum technologies, in particular the Frequency Hopping Spread Spectrum method, which provides rapid pseudo-random switching of the operating frequency. This approach reduces the impact of narrowband interference, complicates signal interception, and enhances the survivability of communication channels under active electronic suppression. Another important direction is the implementation of cryptographic protection of communication channels based on TLS/DTLS and IPsec protocols, as well as the use of symmetric and asymmetric encryption algorithms. Considering the limited resources of UAV platforms, the use of lightweight cryptographic algorithms and optimized protocols is advisable to ensure an acceptable level of security while reducing energy consumption and computational load. Therefore, effective counteraction to the destructive impact of EW systems requires an integrated approach combining frequency agility methods, cryptographic protection, and artificial intelligence technologies. The integration of adaptive analysis and response algorithms makes it possible to improve interference resistance, maintain data integrity, and ensure stable operation of UAV information and communication systems under active enemy counteraction.

METHODS OF COMBAT OPERATIONS AND TACTICAL TECHNIQUES FOR THE APPLICATION OF INTERCEPTOR UAVs

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; O. Hnatenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat confrontation is forming a new class of air defense assets interceptor UAVs, the tactics of which are based on a combination of physical ramming engagement, the use of specialized payloads, and integration into multi-layered counter-Unmanned Aerial Vehicle systems. A decisive role in interception tactics is played not only by the drone itself, but also by the integrated detection and targeting system. A promising direction is the creation of multi-layered countermeasure systems, where interceptor UAVs are integrated into the overall air defense architecture. The methods and tactical techniques for employing interceptor UAVs are extremely diverse and are constantly being improved in response to the emergence of new threats. The most common remains physical ramming engagement – engagement by a kamikaze drone that simply crashes into an enemy aircraft and self-destructs along with it, which is effective against high-speed and

maneuverable targets. Thus, interceptor UAVs have become a full-fledged participant in modern aerial warfare, capable of independently solving tactical air defense tasks and ensuring the protection of ground units from enemy aerial reconnaissance and strike drones.

ADVANTAGES OF SWARM APPLICATION OF EXPENDABLE UAVS OF THE AN-196 TYPE

*A. Babych, Candidate of Military Sciences, Associate Professor; I. Sebko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The swarm application of expendable UAVs of the AN-196 “Liutyi” type provides a decisive advantage due to the combination of strike UAVs with decoy UAVs. This allows for creating a “swarm effect” – saturating the airspace, exhausting the enemy's air defense systems, and dramatically increasing the probability of penetrating to strategic targets at a depth of over 1000 km. The swarm is formed as a system: the AN-196 “Liutyi” acts as the strike core with a warhead of 50–75 kg and a range of over 1000 km. Smaller decoy drones of the “Rubaka” type distract air defense assets, forcing them to reveal their positions and expend ammunition. Launches are synchronized from different directions, which complicates the work of enemy air defense. Massed application creates an excessive load on air defense, which is physically incapable of destroying all targets. Different elements of the swarm perform distributed functions: part attacks the target directly, part attacks air defense infrastructure elements, and part conducts reconnaissance and battle damage assessment. The integrated Skynode S machine vision system ensures autonomous navigation even under GPS jamming conditions. The ability to fly routes with up to 1000 waypoints complicates interception. The optical homing head guarantees precise engagement regardless of EW operation. About 80 % of strikes on Russian oil infrastructure are attributed to the “Liutyi”. Successful attacks at a distance of over 1300 km demonstrate the ability to penetrate echeloned air defense precisely due to swarm tactics. The combination of strikes on oil refineries, military airfields, and military-industrial complex facilities creates a cumulative effect of exhausting the enemy's defense capability. Thus, the swarm application of the AN-196 “Liutyi” represents a qualitatively new tactic.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO ENGAGE ENEMY AIR DEFENSE FORCES AND ASSETS

*B. Ivashchuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; M. Atlasiuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern air defense represents a complex, layered system whose key elements include radar stations (RS), command posts, and launchers. Combat experience demonstrates that the destruction or suppression of these elements is a critical condition for achieving air superiority. In this context, unmanned aerial vehicles (UAVs) serve not only as reconnaissance tools but also as effective and economically efficient means of destroying enemy air defense assets.

The war has demonstrated a transition from manned aviation to a “drone-centric” model of warfare. According to estimates, up to 60 % of fire damage is delivered by unmanned systems. This requires a revision of intelligence approaches:

detecting not only air defense systems themselves but also elements of their infrastructure warehouses, command and control points, radar supply routes, camouflaged launchers, and crew deployment locations.

The effectiveness of UAVs against air defense systems is based on mass employment, coordination with reconnaissance and electronic warfare (EW) units, as well as tactical adaptability. A key aspect in the use of UAVs against air defense assets is conducting research on the selection of reconnaissance equipment and strike means, as well as developing new methods and tools for the employment of unmanned aerial systems (UAS).

This will make it possible to develop a methodology for the employment of UAS that would assess the area and depth of air defense deployment, take into account electronic warfare effects, determine the required number of reconnaissance and strike UAVs, and evaluate the effectiveness indicators of reconnaissance equipment and the probability of target destruction.

The developed recommendations may be useful in planning operations (combat actions) for calculating the required number of UAVs, taking into account their technical characteristics.

JUSTIFICATION OF FIRING MODES FROM REMOVABLE, MOBILE ARTILLERY TURRELS OF THE MI-24V HELICOPTER

B. Holovko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

E. Matveev; E. Buharenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Recently, the issue of countering massive drone attacks, in the face of rapid changes in the tactics of their combat use and the development of technical characteristics, has become increasingly relevant.

However, a significant difference in the development and modernization of removable aviation artillery installations is the need to conduct additional research on not exceeding the limit values of the static and dynamic stability characteristics of the helicopter when firing from removable mobile installations in different operating modes of the aircraft weapon control system, outside the horizontal construction axis of the fuselage.

Solving such a scientific and practical problem is associated with both significant difficulties and limitations in conducting experimental (field) research, and quantitative assessment of the negative impact of forced oscillations of removable aviation artillery installations during firing on the regulatory characteristics of the dispersion of aviation ammunition.

The proposed methodology allowed to obtain the increased relative values of the random components of the mean square deviation of the group dispersion of aviation ammunition, from 5.5 to 30.6 %, for 7.62 mm and 12.7 mm calibers.

The analysis of the obtained results confirmed the negative impact on the accuracy characteristics of the AWCs of Mi-24 helicopters in all modes of operation of the aviation weapon control system, which in turn allows us to quantitatively clarify the probability of hitting the target during firing and to propose conditions and rational modes of operation of the aviation weapon control system from removable mobile aviation artillery installations.

APPLICATION OF A CHAOTIC NEURO-LIKE NETWORK FOR IMPROVING ANTI-JAMMING

*O. Barsukov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; M. Boiko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Analysis of combat experience of the Russian-Ukrainian war shows that the problem of improving anti-jamming in aircraft avionics remains relevant. One of the approaches to solving such problems is based on the use of chaotic neuro-like networks (CNIN). Their properties are characterized by the ability to demonstrate diverse internal nonlinear dynamics, from simple (harmonic) to complex (chaotic) modes, depending on the values of variable parameters that describe the state of the function, which makes the research task quite voluminous.

The report presents the results of the analysis of the information transmission model using a chaotic neuro-like network based on a modified nonlinear dynamical system with delay. The main properties of the phase portraits and bifurcation diagrams of the CNIN are analyzed. A variant of the structural diagram of the transceiver based on the CNIN is presented.

Thus, based on the results of the conducted study of the chaotic neuro-like network model, the possibility of its application to solving the problem of increasing the anti-jamming of aviation radio engineering systems has been established. It has been determined that with given weighting coefficients of the chaotic neuro-like network, it is possible to control the process of its training, according to the structure of the signal.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ENEMY RADIO INTERFERENCE ON RADIONAVIGATION SIGNALS AND CONTROL CHANNELS OF SECOND- AND THIRD-CLASS UAVs

*O. Barsukov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Zynchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Today, second- and third-class unmanned aerial vehicles (UAVs) play a decisive role in the execution of combat missions. At the same time, their deployment gives rise to a number of relevant issues related to the need to counteract enemy radio interference. Depending on the objectives and intended effects pursued by the adversary, radio interference may take various forms. It is classified according to generation methods, modes of application, and spectral characteristics. Under conditions of intensive electronic warfare, investigating the impact of radio interference on the functioning of navigation systems and UAV control channels becomes particularly significant.

This paper is devoted to the analysis of the effects of radio interference – specifically spoofing and jamming – on the signals of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) used by second- and third-class UAVs, as well as on radio control channels. The study considers the main approaches to implementing spoofing attacks: Replay Spoofing Attack (RSA), Forgery Spoofing Attack (FSA), Estimation Spoofing Attack (ESA), and Advanced Spoofing Attack (ASA). In addition, methods for spoofing detection are analyzed, including those based on measuring interference signal power, analyzing Doppler frequency differences, and estimating the direction of arrival of the interfering signal.

The results of the analysis indicate that the spoofing detection method based on Doppler frequency differences provides a higher probability of detecting a spoofing attack. For further development of this approach, it is advisable to consider the classification of spoofing signals according to their characteristics and to investigate other signal types with different properties.

ANALYSIS OF DEVELOPMENT TRENDS OF ONBOARD COMINT AND ELINT EQUIPMENT OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

A. Rybiak, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

M. Berlizova; V. Popenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The analysis of the principles of construction and the main tactical and technical characteristics of modern COMINT and ELINT means of unmanned aerial vehicles (UAVs), developed by leading world manufacturers, was carried out. These means are intended for detection, recognition and determination of the coordinates of radiation sources (radio communication means, radars, electronic warfare means, etc.). To solve the above tasks, complex means are used that ensure the conduct of aerial COMINT in the short-wave and ultra-short-wave ranges (from 1.5 GHz to 6 GHz) and the conduct of aerial ELINT in the spectrum range from 0.5 GHz to 18 GHz with the possibility of optional expansion to 40 GHz.

A distinctive feature of the on-board COMINT and ELINT means of UAVs is their small weight and dimensions, low power consumption, multi-channel, modularity and the use of modern digital signal processing technologies.

It is shown that the main trends in the development of modern airborne means of UAVs are as follows:

- high accuracy of direction finding of radiation sources;
- use of angle of arrival and time difference of arrival methods to determine the coordinates of radiation sources;
- high accuracy of measurement of frequency-time parameters of signals of radiation sources;
- processing of radio frequency signals in real time;
- use of modern methods of digital processing of radio frequency signals;
- use of modern algorithms of automatic radiation sources recognition.

METHODS FOR PROTECTING AIRBORNE RADAR SYSTEMS AGAINST COMBINED INTERFERENCE

O. Sukhanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Halysh; S. Datsenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Protection of airborne radar systems of various purposes from external active and passive interference, as well as their various combinations, is essential for the effective performance of diverse tasks by airborne radio-electronic complexes. The jamming environment in which ARS must operate is characterized by the presence of multiple types of intentionally generated, mutually interacting interference created by electronic countermeasure techniques and assets, which reduces the efficiency of useful signal extraction.

At the present stage of ARS development, the following methods of protection against combined interference are known: protection simultaneously against all types of interference implemented within a single device; protection against combined interference by separating signal processing into the spatial domain, where the active component of the combined interference is compensated, and the temporal domain, where the passive component of the combined interference is suppressed, followed by signal integration in an optimal filter against the background of internal noise; suppression of active interference in the presence of passive interference due to differences in the spectra of the received signals, followed by suppression of passive interference.

Overall, for solving the problem of combined interference suppression, filtering algorithms using a reference signal from a source located in those regions of the interference field where the signal was not identified or was significantly attenuated are applied. The practical value of such filtering algorithms lies not only in their high efficiency, but also in the possibility of their real-time implementation with minimal required hardware and computational resources.

GROUP PROTECTION OF AIRCRAFT AGAINST WEAPON CONTROL RADAR SYSTEMS

O. Sukhanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Mytchyk; T. Hoptsi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the effective methods of group protection of aircraft against electronic attack systems and radar-guided weapons is the employment of blinking (intermittent) jamming. The principle of this technique consists in programmed switching on and off of jamming transmitters installed on escort jamming aircraft.

The blinking jamming effect can be achieved by using spatially separated frequency-agile jammers. In this case, the weapon control radar will alternately detect different targets whenever the jammer transmitter frequency falls within the receiver passband of the radar. As a result, the radar antenna system will switch tracking from one target to another, causing angular tracking oscillations in accordance with the jammer frequency-switching program.

The jammer frequency switching rate, which depends on the radar operating frequency band and the time intervals between successive jamming impacts, is selected so as to significantly enhance the expected “blinking” effect on the tracked target.

At frequency switching rates where the time interval between jamming impacts becomes comparable to the receiver time constant, the expected effect in the radar angular tracking channel approaches that of a group (extended) target, regardless of the differences in range between the radar and individual aircraft in the formation, since the radar range resolution is degraded by the jamming action.

The advantage of frequency-agile (frequency-swept) jamming lies in its capability to affect multiple radars whose operating frequencies fall within the jammer tuning range, as well as in the relative simplicity of the airborne active electronic countermeasure station installed on escort jamming aircraft.

DIAGNOSTICS OF DC GENERATOR CONTROL EQUIPMENT IN LIGHT TRANSPORT AIRCRAFT

V. Khlop'yachiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Melnyk; A. Shkabura

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The reliability of the power supply system of a light transport aircraft is a key condition for the trouble-free operation of onboard equipment and the performance of combat and logistical tasks in wartime. Its operational reliability is determined by the technical condition of DC generators and related control and regulation equipment.

The main causes of failure are voltage regulator parameter drift, reduced current protection sensitivity, thermal overload of power elements, and degradation of contact connections, which imposes increased requirements on diagnostic procedures and condition monitoring.

Diagnostic procedures should be based on quantitative indicators, including: measuring the transition time of the regulator when the load changes, determining the voltage instability coefficient, checking the current protection threshold, contactless thermal control of power elements, and evaluating the voltage drop at contact connections.

The key task is the timely detection of pre-failure conditions by comparing the measured parameters with the limit values; exceeding the permissible deviations indicates the development of degradation processes.

Systematic recording of diagnostic data combined with periodic trend analysis enables the implementation of predictive maintenance, reduces the risk of in-flight failures and emergencies, and increases the efficiency of engineering and technical personnel resources.

ADAPTIVE CONTROL ALGORITHM FOR IMPROVING GAS TURBINE ENGINE STARTING RELIABILITY

V. Khlop'yachiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; P. Shvets

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The reliability of a gas turbine engine start is a prerequisite for the successful completion of an aircraft flight mission

The existing aircraft engine starting system is based on a rigid time-based sequence that does not account for the actual condition of the engine or the aircraft electrical power system during start-up. Transitions between cranking, fuel introduction, and starter cut-out are performed without analyzing the actual rotor acceleration rate, temperature dynamics, or the available power capacity of the electrical source. Under adverse operating conditions, this reduces the probability of a successful start and increases the risk of abnormal start modes, including hung or hot starts.

Additional issues include increased load on the starter-generator and onboard batteries, as well as limited diagnostic capabilities of the system.

The combination of these factors substantiates the need to modernize the starting system based on adaptive control using real engine operating parameters.

The proposed modernization involves transitioning from rigid time-based control to an adaptive algorithm incorporating feedback on rotor speed, its

acceleration rate, exhaust gas temperature, and electrical parameters of the starting circuit. It also includes implementation of starter current control with load limitation and soft-start functionality, as well as expanded diagnostic capabilities through parameter recording and fault code generation. These measures will enhance the reliability, safety, and energy efficiency of engine start under various operating conditions.

ANALYSIS OF BUILT-IN TEST CAPABILITIES FOR FAULT DETECTION IN THE STR6-5A SYSTEM

*V. Khlopiachyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; R. Buhai
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The built-in test of the STR6-5A system on the MiG-29 aircraft provides operational health monitoring without removal. The control algorithms are implemented in “CONTROL R(D)” and “CONTROL T(A)” modes and are based on substituting reference signals for real measurement inputs.

In the “CONTROL R(D)” mode, the real flow sensor is disconnected, and a control sequence from an internal generator is fed into the pulse circuit. The conditioning amplifiers, fuel consumed integrator, indicator stepper motor control logic, and range computer are verified. The indicator must perform a specified test deflection, confirming the serviceability of the pulse and computing channels.

In the “CONTROL T(A)” mode, the capacitance level sensors are disconnected, and test capacitors, equivalent to fixed fuel mass values, are connected to the measurement bridge. The fuel gauge channel amplifier, the indicator servo system, and the discrete automation signaling logic are verified.

Thus, the built-in test ensures functional verification of electronic circuits, integrators, relay switching, and indicator mechanics. It effectively detects major electrical faults – open circuits, loss of amplification, motor stalls, and logic failures.

At the same time, the depth of analysis is limited. In the control mode, real sensors are disconnected, their operation in the fuel medium is not checked, linearity across the entire range is not evaluated, and vibration and temperature influences are not reproduced. Intermittent contact defects may also not manifest during a short test.

Therefore, the built-in test of the STR6-5A system is a means of functional verification of the system's electronic part but does not provide a complete diagnosis of the measurement circuit under real operating conditions.

ONBOARD AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING AND DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF AN ATTACK HELICOPTER

*O. Klimishen, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; R. Myropolskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern helicopters are characterized by high structural complexity and a significant number of critical components: power plant, main gearbox, transmission, main and tail rotors, hydraulic and electronic systems. Failure of any of these elements can lead to a significant decrease in flight safety.

Traditional methods of maintenance according to regulations or operating hours do not ensure timely detection of hidden defects. Therefore, the introduction of

onboard automated control and diagnostic systems is an important direction for increasing the operational reliability of helicopters.

In the report considers the principles of building an on-board automated system for monitoring and diagnosing the technical condition of a helicopter. The system structure, the composition of information channels, algorithms for detecting faults and predicting the residual resource of units are analyzed. The concept of integrating vibration monitoring, parametric diagnostics and elements of intelligent data analysis is proposed to increase the reliability and safety of flights.

The purpose of the research is to develop a conceptual structure of an on-board automated system for monitoring and diagnosing the technical condition of a helicopter with functions for early detection of defects and prediction of the resource of units.

IMPROVEMENT OF THE PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT SET FOR A MULTI-ROLE AIRCRAFT PILOT

*O. Klimishen, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; S. Klipalka
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The relevance of the topic of the report lies in the fact that the pilot's personal protective equipment is a key element in ensuring his safety and life during high-altitude flights on multi-purpose aircraft. This equipment must meet modern requirements, provide reliable protection in various conditions, in particular in combat conditions, and not limit the effectiveness of task performance. The purpose of the study is to analyze existing sets of pilot's personal protective equipment and suggest ways to improve them.

Pilot's personal protective equipment on modern aircraft consists of several main elements, such as helmets, oxygen masks, protective and anti-overload suits. All these elements perform important functions, in particular, protection against the negative effects of high-altitude flight conditions, as well as ensuring the pilot's life support in the event of emergency situations, in particular, depressurization of the aircraft cabin.

Several ways of improvement can be used to improve the pilot's personal protective equipment. One of the main ones is the development of lighter but effective materials for helmets and suits, which allows to reduce the overall weight of the equipment without losing protective properties. Another important aspect is the improvement of ventilation and thermoregulation, which will ensure the comfort of the pilot during long flights. Pilot health monitoring systems, in particular using sensor technologies, will help to respond in a timely manner to health problems, for example, with a decrease in blood oxygen levels or increased pressure.

DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM WITH A STUDY OF ITS CONTROLLABILITY

*O. Klimishen, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
R. Bovkun; A. Melnichuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

This report examines the autonomous operation of global navigation satellite systems (GNSS) and inertial navigation systems (INS), as well as their integration to improve coordinate determination accuracy. The key advantages and disadvantages

of each system, related to error accumulation, noise interference, and dependence on external factors, are described. Navigation data correction methods are presented to compensate for the shortcomings of both technologies. Particular attention is paid to data processing algorithms and the principles of combined navigation. The obtained results demonstrate that the integration of GNSS and INS can significantly improve the accuracy and reliability of navigation solutions in challenging operating conditions.

Special attention is paid to addressing the issue of testability of the integrated navigation system.

DIGITAL AUTOMATIC CONTROL AND MONITORING OF HELICOPTER ENGINES

*O. Lykhodieiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Martynenko; D. Vasekin; S. Kalmutsky
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of conducting modern combat operations, in particular the Russian-Ukrainian war, confirms the decisive role of the aviation component in ensuring the successful execution of offensive and defensive operations. Current trends in the development of aviation technology envisage the transition from hydromechanical and electro hydromechanical engine control systems to digital automatic control systems, in particular systems of the FADEC (Full Authority Digital Engine Control) type.

In the course of the study, an analysis of the existing ERD-3VM hydromechanical system used on the Mi-8MTV-1 helicopter was carried out, and its main limitations were identified: insufficient accuracy of parameter regulation, dependence on mechanical units, and increased workload on the crew. Modernization of the control system through the installation of a digital FADEC system has been proposed. An important advantage of the digital system is the possibility of recording engine operating time by regimes, integration with onboard monitoring systems, and prospective compatibility with fly-by-wire technologies.

The results of the study confirm that the implementation of a FADEC-type digital automatic control system on the Mi-8MTV-1 helicopter makes it possible to increase the overall efficiency of the power plant operation by up to 30 %, optimize engine operating modes under extreme conditions. Thus, the modernization of existing aircraft engine control systems through the integration of digital technologies is a promising direction for the development of aviation equipment of the Armed Forces of Ukraine and meets the modern requirements of combat aviation employment.

GYROSCOPE TECHNOLOGIES ON THE PRECISION OF FIGHTER AIRCRAFT CONTROL AUTOMATION

*O. Lykhodieiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Serediuk; R. Smetankin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report analyzes the critical relationship between the sophistication of gyroscopic technologies and the level of fighter aircraft control automation. Relevance is determined by the demands of modern aerial combat, where electronic

warfare, mass attacks by cruise missiles and UAVs, as well as high dynamic loads limit the application of traditional navigation solutions. The accuracy and continuity of orientation determination are fundamental prerequisites for any autopilot algorithm, from simple course-keeping to complex evasion maneuvers.

A comparative analysis of core technologies – MEMS, laser (RLG), and fiber-optic (FOG) gyroscopes – shows that the latter are the priority for fighter aviation. Fiber-optic gyroscopes demonstrate an optimal combination of high accuracy, resistance to extreme overloads, and independence from external signals. This makes them key for building resilient inertial systems capable of functioning in the complete absence of satellite positioning, which is critical under conditions of intense electronic warfare.

Based on such reliable sensor data, the implementation of next-generation advanced automation algorithms is possible. This involves the creation of adaptive systems capable not only of autonomously executing pre-programmed evasion maneuvers but also of instant tactical situation analysis. Specific goals include automatic target tracking under high G-load conditions, dynamic target distribution among aircraft in a group, and even automated aircraft return to base in critical situations. Thus, the enhancement of the gyroscopic core directly expands the functional boundaries of aviation automation, transforming it from a stabilization tool into an active combat assistant, which increases both the overall effectiveness of the “pilot-aircraft” system and its survivability.

INCREASING THE EFFICIENCY OF THE AIRCRAFT POWER SYSTEM BASED ON ADAPTIVE VOLTAGE REGULATION

O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Kolesnyk; A. Hrytsiuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Aircraft are an integral part of combat missions in the Russian-Ukrainian war, providing reconnaissance, artillery fire correction and support for ground units with significantly lower risks for personnel. The aircraft's on-board electronics are powered by generators, which must provide stable voltage parameters regardless of the engine operating mode and current load.

Traditional PID voltage regulators are tuned to a specific operating mode and do not always effectively cope with significant changes in operating conditions. Since the dynamic characteristics of the generator vary significantly depending on the speed and load, fixed regulator parameters lead to a deterioration in the quality of voltage stabilization in certain operating modes.

To solve this problem, an adaptive control system is proposed that automatically adjusts the PID regulator parameters based on current data from the generator speed, voltage and load sensors. The microprocessor unit processes these signals and performs optimal adjustment of the regulator in real time.

The study was conducted by modeling in the MATLAB environment. Four different configurations were compared: a standard PID regulator, an adaptive PID regulator with tabular parameters, an adaptive regulator with a reference model, and an adaptive regulator based on fuzzy logic. The modeling covered different operating modes of the generator with changes in rotation speed and load jumps.

The results showed that adaptive regulators provide higher accuracy of voltage stabilization compared to a standard PID regulator. Voltage deviations during disturbances are reduced, transition times are shortened, and the overall stability of

the power system is improved. This directly affects the reliability and quality of on-board equipment and the effectiveness of combat missions performed by reconnaissance aircraft.

IMPROVEMENT OF AVIATION STATIC CONVERTERS OF THE PTS-800 TYPE

*O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Korol
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern aviation equipment requires reliable power sources capable of providing stable voltage and frequency parameters in various flight modes. One of such devices is the PTS-800 static converter, which converts a constant voltage of 27 V into a three-phase alternating voltage of 200/115 V, 400 Hz.

The shortcomings identified during operation: low efficiency, overheating of power elements, a significant coefficient of nonlinear distortion of the output voltage (THD = 8 %), lack of digital control and significant weight – necessitated modernization.

It is proposed to use a modern semiconductor base (MOSFET or IGBT), introduce a digital control system based on a microcontroller with pulse width modulation, apply advanced cooling with brushless fans and modular design. Such solutions will increase efficiency up to 92 %, reduce the coefficient of nonlinear distortion to 2 %, reduce the mass by 10–15 %, reduce the heating of elements and increase the service life up to 12 years.

The results obtained are aimed at improving energy efficiency, stability of initial parameters and reliability of power supply of aviation equipment.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE BRN-120 VOLTAGE REGULATOR UNIT OF THE Su-27 AIRCRAFT

*O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Hapych; N. Kharchenko; O. Kolesnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat operations, the reliability and stability of onboard power supply systems are among the key factors ensuring the combat effectiveness of fighter aviation. In the electrical power supply system of the Su-27 aircraft, the BRN-120 voltage regulator unit is used to stabilize the voltage in the onboard electrical network.

The unit consists of a measuring element, a phase-shifting device, a pulse shaper, an executive unit (a controlled thyristor rectifier), and a relay for switching on the generator excitation. The BRN-120 implements the principle of proportional-derivative control, which, in addition to the positional error component, provides flexible negative feedback based on the exciter field current. The power source for generator excitation and unit operation is the generator pre-exciter.

An analysis of the design, operating principle, and operational experience of the BRN-120 revealed its main shortcomings, including the following:

- the component base of the unit is morally outdated; component parameters are sensitive to load fluctuations, temperature variations, and vibration effects. This may lead to reduced output voltage stability, increased probability of failures, and more complicated maintenance;

– voltage stabilization is achieved using a classical proportional-derivative controller with constant coefficients tuned for nominal operating conditions. When operating modes change, the quality of transient processes may deteriorate. In addition, the absence of an integral component in the control law results in a steady-state error.

To improve the reliability and efficiency of the voltage regulator unit, it is proposed to enhance the BRN-120 by modernizing its component base using contemporary semiconductor devices, as well as by introducing digital monitoring and diagnostic methods. The use of a microcontroller module is considered appropriate for implementing adaptive voltage control algorithms, monitoring operating parameters, and early fault detection.

The proposed technical solutions will increase voltage regulation accuracy, reduce thermal losses, improve noise immunity, and shorten maintenance time. The modernized BRN-120 unit will enhance the reliability of the Su-27 onboard electrical system and ensure stable operation of its equipment during combat missions.

ENGINEERING PROPOSALS FOR UPGRADING THE MIG-29 PROTECTION AND CONTROL UNIT

*O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Vlasiuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Protection and Control Unit is an essential component of the MiG-29 aircraft direction current electrical power supply system. It is designed for voltage regulation and protection of commutator-type direction current generators and performs the following functions: high-accuracy generator voltage regulation; protection of the generator and electrical loads against overvoltage; protection of the generator and its feeder against short circuits with limitation of short-circuit current.

The Protection and Control Unit consists of the following functionally interconnected modules housed within a single enclosure: voltage regulation module; overvoltage protection module; short-circuit protection module; electromagnetic circuit breaker.

An analysis of the Protection and Control Unit design and operating principle has identified its main shortcomings, including the following:

– the Protection and Control Unit modules are implemented using magnetic amplifiers, electromechanical relays, legacy diodes, and transistors. Protection and annunciation functions are based on relay-contact logic. However, the existing design is characterized by low response speed, significant mass, thermal losses, and contact wear, which adversely affect reliability and require frequent maintenance.

– voltage stabilization is achieved using a classical proportional-derivative controller with fixed coefficients tuned for nominal operating conditions. When operating modes change, transient performance may deteriorate. In addition, the absence of an integral component in the control law results in a steady-state error.

For modernization purposes, it is suggested to replace electromechanical components with solid-state switching modules featuring microprocessor-based control and to implement a digital diagnostic system. The voltage regulator should employ adaptive control algorithms based on a microprocessor platform, while the power stage should be implemented using modern IGBT or MOSFET power transistors. The project also provides real-time monitoring of voltage, current, and

temperature; automatic fault identification; event logging; and data exchange with the aircraft's onboard digital systems.

The proposed solutions will increase response speed, electromagnetic compatibility, and reliability of the unit, reduce thermal losses and weight, and enable predictive failure analysis. The modernized Protection and Control Unit can be integrated into a digital electrical power control system in line with current trends in aviation technology development and will contribute to enhanced combat effectiveness of the MiG-29 aircraft.

DESIGN OF REDUNDANT POWER SUPPLY SYSTEMS FOR UAV COMPLEXES AS A RELIABILITY ENHANCEMENT FACTOR

*O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; T. Naida
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat conditions, the reliability of power supply systems in unmanned aerial vehicle (UAV) complexes is a critical factor in ensuring mission continuity. Failure of onboard power systems leads to loss of control, navigation capability, and payload functionality, significantly reducing operational effectiveness. This paper analyzes the principles of designing redundant power supply architectures and their impact on UAV reliability indicators.

The main redundancy approaches include structural redundancy (duplicated power sources), functional redundancy (load distribution between independent channels), temporal redundancy (use of energy storage elements as buffers), and algorithmic redundancy (automatic switching in case of failure). Special attention is paid to dual-channel power architectures with independent batteries and DC-DC converters.

It is shown that the implementation of redundant power structures increases the probability of failure-free operation during a specified flight time and reduces the risk of total UAV loss caused by a single component failure. A generalized structural model of a redundant power system with automatic voltage and current monitoring is proposed.

The obtained results can be applied in modernization programs and in the development of next-generation operational and tactical UAV systems.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVEMENT OF AIRCRAFT SWITCHING AND PROTECTION EQUIPMENT

*O. Zienovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Kharchenko; M. Hapych
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under the conditions of modern combat operations and the intensive development of aviation technologies, the issue of increasing the reliability and survivability of onboard electrical equipment of aircraft is of particular relevance. Currently, a wide range of contact-type switching and protective devices is used for electrical circuit switching in aircraft, including push-buttons, switches, selector switches, limit switches, contactors, relays, thermal circuit breakers, and fuses. Switching of an electrical circuit is accompanied by arc formation between contacts, which leads to contact erosion and accelerated wear. Contact-type switching equipment susceptible to vibration and has relatively low response speed. With an

increase in switching voltage, especially in DC systems, operating conditions of switching devices deteriorate. The characteristics of thermal protective devices significantly depend on ambient temperature. Due to the large number of components, the probability of failures, including combat damage, is relatively high and, according to various estimates, accounts for 60–70 % of the total number of aircraft system failures. The paper proposes the main directions for improvement of aircraft switching and protection equipment. The first direction involves transitioning from electromechanical switching elements to solid-state modules based on modern semiconductor components (MOSFET, IGBT). The use of solid-state switching devices significantly increases system response speed, reduces weight and dimensional parameters, and extends service life due to the absence of mechanical wear. The second direction of modernization is the development of a multi-level protection system that includes: high-speed electronic short-circuit protection, overcurrent protection, and protection against transient overvoltages. The third direction is the modular design principle of switching units. Modularity simplifies maintenance procedures, reduces fault localization time, and ensures rapid replacement of individual functional modules without dismantling the entire system. This is especially important under combat conditions when aircraft restoration time is critical.

In addition, integration of a built-in test and self-diagnostic system with the aircraft onboard computing complex is proposed. Transmission of information regarding the condition of switching and protective equipment to the central control system will enable automatic generation of crew alerts concerning potential malfunctions and provide accumulation of statistical data for further analysis. The expected result of implementing the proposed solutions is an increase in reliability and survivability of aircraft systems, reduction of in-flight failure probability, decreased operating costs, and improvement of flight safety. Modernization of switching and protection equipment is an essential stage in the development of modern integrated avionics that meet the requirements of high-technology combat operations.

METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF USING HIGH-PRECISION WEAPONS FROM UNMANNED AERIAL PLATFORMS

S. Smyk, Candidate of Technical Sciences; O. Shmyhlenko;

P. Martynenko; O. Bepalko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of the russian-Ukrainian war and modern military conflicts demonstrates the growing role of high-precision weapons in solving a wide range of combat tasks. One of the current trends is the use of unmanned aerial platforms for the delivery and use of high-precision weapons. The assessment of effectiveness refers to the quantitative determination of indicators and criteria for effectiveness. The indicators of the effectiveness of the use of high-precision weapons from unmanned aerial platforms should quantitatively describe the most important aspects of the successful completion of tasks and resource costs. A generalized indicator of the effectiveness of such actions is the probability of completing a combat mission. The cost of the weapons used can be taken as a generalized indicator of the necessary resources.

In modern armed conflict, high-precision weapons can be used from positions that prevent unmanned aerial vehicles from entering the range of enemy ground-based air defense systems or minimize the time they spend in that range. At the same time, threats from enemy fighters remain and can be reduced through situational awareness of ground crews and the actions of fighter cover. Accordingly, the probability of accomplishing a combat mission will be influenced primarily by the probability of hitting the target with high-precision weapons, while the probability of an unmanned aerial platform being hit by enemy air defense systems will be minimal.

Based on the results of the effectiveness assessment, it is possible to select options for the use of unmanned aerial platforms and weapons. The mathematical model used in this methodological approach can be used to find the most effective options for the use of the object being assessed or options for its construction.

DEVELOPMENT OF A PROPOSAL FOR IMPROVING THE TECHNICAL CONDITION MONITORING SYSTEM OF INTERNAL LIGHTING EQUIPMENT OF A MULTI-PURPOSE AIRCRAFT

*Y. Fedoryshyn; Y. Borsuk; Y. Heorhiiev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The internal lighting equipment of an aircraft provides illumination of the cockpit, instrument panels, and service compartments, which directly affects flight safety and the working conditions of the crew. During operation, lighting components are exposed to vibrations, temperature fluctuations, and aging, which may lead to gradual degradation or sudden failures. Existing monitoring methods are mainly based on periodic inspections and visual checks, which do not ensure timely detection of hidden faults. This complicates the prediction of the technical condition of the equipment and increases the risk of failures during flight.

The aim of the study is to improve the monitoring system by increasing the informativeness of diagnostic parameters and implementing automated monitoring. It is proposed to use current, voltage, and luminous flux sensors together with a microprocessor module for continuous monitoring of the condition of lighting elements.

The expected result is an increase in diagnostic reliability, a reduction in the probability of in-flight failures, and a decrease in the labor intensity of maintenance.

RESEARCH OF METHODS OF COUNTERING THE DESTRUCTIVE IMPACT OF THE ENEMY'S RADIO-ELECTRONIC WARFARE MEANS IN THE CONDITIONS OF APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

*I. Tupitsya, Ph.D.; M. Vitruk; N. Gubsky; D. Chezlov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of using unmanned aerial vehicles (UAVs) in combat operations on the territory of Ukraine indicates the enemy's active use of electronic warfare means to jam communication channels, intercept control systems, and distort navigation and telemetry data. In this regard, the requirements for ensuring the stability, integrity, and confidentiality of information in UAV information and communication systems are increasing.

One countermeasure is the use of spread-spectrum technologies, in particular the FHSS method, which involves rapid pseudo-random frequency hopping. This reduces the impact of narrow-band interference, makes signal interception more difficult, and increases the survivability of the communication channel under active electronic jamming.

Another important direction is the cryptographic protection of communication channels using TLS/DTLS and IPsec protocols, as well as symmetric and asymmetric encryption algorithms (AES, RSA, ECDSA). However, this approach requires sufficient computing power and financial resources.

In turn, one innovative approach to improving data stability in the transmission lines of unmanned aircraft systems (UAS) is the use of artificial intelligence and deep machine learning. The use of this approach enables the prompt detection of spatio-temporal anomalies in the UAS data link within the sequence of useful signals.

Therefore, further scientific research will aim to develop a model for detecting anomalies in UAS command and control lines to increase their resistance to the destructive effects of enemy electronic warfare.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF AN INTEGRATED BATTERY MONITORING SYSTEM FOR A MULTI-PURPOSE AIRCRAFT

A. Pidlisnyi; Y. Heorhiiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Batteries of multi-purpose aircraft perform the functions of a backup and emergency power source, the reliability of which determines the performance of onboard systems in critical modes.

Traditional methods of monitoring the technical condition of batteries, based on periodic inspections, do not provide timely detection of hidden defects and degradation processes.

A promising direction for improving the reliability of power supply systems is the introduction of built-in battery monitoring systems. Such systems provide continuous monitoring of the main parameters: voltage, current, temperature, internal resistance, degree of charge and technical condition of the battery.

The implementation of the proposed solutions allows you to increase the information content of diagnostics, ensure early detection of malfunctions and proceed to maintenance according to technical condition.

The expected effect of the implementation is to increase the reliability of batteries, reduce operating costs and improve flight safety performance.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE STRUCTURE OF TEST AND MONITORING EQUIPMENT FOR THE ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEM OF A MULTIROLE AIRCRAFT

Y. Borsuk; Y. Fedoryshyn; Y. Heorhiiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Reliability of the electrical power supply system of a multirole aircraft determines flight safety and the operational stability of onboard equipment. The complexity of modern electrical networks, the presence of various power sources

and conversion devices necessitate the improvement of test and monitoring equipment (TME) to enhance diagnostic efficiency during operation.

The aim of the work is to develop proposals for a rational structure of TME for the electrical power supply system, which will ensure increased reliability of monitoring, reduced inspection time, and decreased maintenance labor intensity.

The proposed structure is based on a modular design principle with the allocation of functional units: a measurement unit, a switching unit, a computational and analytical unit, and an indication and recording unit. It involves the application of digital means for measuring voltage, current, frequency, and power quality parameters, with subsequent data processing by a microprocessor module.

The expected result is an increase in the informational content of technical condition monitoring for elements of the electrical power supply system, timely fault detection, and ensuring the aircraft's readiness for mission accomplishment.

IMPLEMENTATION OF “SMART” STORAGE BATTERIES INTO THE DC EMERGENCY POWER SUPPLY SYSTEM OF A MULTI-PURPOSE AIRCRAFT

A. Maleieva; Y. Heorhiiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern multi-role aircraft are characterized by a high level of electrification of onboard systems, which leads to increased requirements for the reliability of emergency power supply. The improvement of DC systems that ensure the functioning of critical consumers in the event of failure of primary power sources is becoming particularly relevant.

One of the promising areas of modernization is the implementation of “smart” battery systems equipped with built-in Battery Management Systems.

The integration of smart batteries into the emergency DC power supply system increases the level of flight safety, reduces the likelihood of sudden power failure, and optimizes maintenance through the transition to the concept of Condition-Based Maintenance. Additionally, the implementation of modern lithium-ion batteries allows for a reduction in the weight of the power system and an increase in specific energy capacity compared to traditional nickel-cadmium batteries.

Overall, the use of smart batteries in emergency power supply systems of multi-role aircraft is a technically justified solution that contributes to increasing the reliability, safety, and operational efficiency of aviation equipment.

COMMUNICATION EQUIPMENT OF ON-BOARD SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A COMPONENT OF THE LATEST AIRSPACE DEFENSE TECHNOLOGIES

I. Stebliuk; Y. Myroniuk; Y. Heorhiiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the current conditions of airspace defense system development, unmanned aerial systems (UAS) play a key role in reconnaissance, monitoring, and targeting. Their reliability is largely determined by the efficiency of the switching equipment of onboard systems.

Switching equipment ensures power distribution, protection against emergency modes, power channel redundancy, and rapid equipment switching. It must meet

increased requirements for speed, reliability, resistance to vibration, temperature effects, and electromagnetic interference.

A promising direction is the introduction of solid-state switching elements and intelligent modules with self-diagnostic and digital control functions. This increases the survivability of UAVs, reduces the risk of failures, and provides adaptive power management.

Therefore, the improvement of switching equipment is an important component in increasing the efficiency and reliability of modern unmanned systems in the structure of airspace protection.

FEATURES CONTROL AND MAINTENANCE OF ACCUMULATORY BATTERIES UNCREWED AIRCRAFT SYSTEM MILITARY PURPOSE IN THE CONTEXT OF IMPLEMENTING THE LATEST TECHNOLOGIES FOR AIRSPACE PROTECTION

*Y. Myroniuk; I. Stebliuk; Y. Heorhiiev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the system of the latest technologies for airspace protection, unmanned military aviation systems play a key role in reconnaissance, surveillance and the performance of combat missions. The reliability of their use directly depends on the technical condition of the batteries, which are the main source of energy for on-board systems.

A feature of the operation of UAS batteries is their operation in conditions of variable temperatures, vibrations, pulse loads and frequent charge-discharge cycles. This necessitates constant monitoring of voltage, current, temperature, internal resistance and residual capacity.

The introduction of intelligent monitoring systems with self-diagnostic functions allows for timely detection of element degradation, forecasting the resource and preventing emergency situations.

Maintenance should be based on the principles of predictive diagnostics, automated data collection and digital processing of parameters. This ensures increased operational reliability, reduced UAS preparation time for use and reduced risk of flight failures.

Therefore, improving methods of monitoring and maintenance of batteries is an important condition for increasing the efficiency of using unmanned systems in modern airspace protection conditions.

WAYS TO IMPROVE THE EQUIPMENT FOR MEASURING THE ROTATION OF AN AIRCRAFT ENGINE IN A TRANSPORT AIRCRAFT

*Y. Zderko; H. Revko; A. Polonskiy; R. Drevenchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Aviation engine speed measurement systems are a critical component in ensuring the reliability of both transport and multi-purpose aircraft operating under intense loads. The engine speed measurement system is designed to determine and indicate the rotational speed of the power plant shafts, enabling the pilot to monitor engine operating modes and power in real time.

The basic design of the An-26 aircraft uses DTE-type induction sensors, which are heavy and have a higher measurement error in engine shaft rotation speed compared to modern magnetoresistive (MR) and Hall sensors.

The introduction of magnetoresistive or Hall sensors into the rotation speed measurement system of the An-26 aircraft engine should be carried out by integrating them structurally and functionally into the installation locations of the standard DTE-1 induction sensors. This approach minimises the amount of mechanical modifications and maintains compatibility with existing engine components.

The sensors are to be installed in the rotation zone of a gear or magnetic marker rigidly connected to the engine shaft, observing the required working clearance specified in the technical characteristics of MR or Hall sensors. To ensure measurement stability, permanent magnets or existing ferromagnetic rotor elements can be used.

The electrical connection of modern sensors to the onboard system requires the implementation of a matching electronic module that provides the formation of an output signal equivalent in parameters to the DTE-1 sensor signal, or the adaptation of the signal to the requirements of existing indicators and processing units. Particular attention should be paid to electromagnetic compatibility, interference protection and power supply to the sensors.

The proposed installation method allows for increased accuracy and reliability of rotation speed measurement, reduces the system's dependence on rotation speed at low engine operating modes, and creates the conditions for further modernisation of the system without significant interference with the design of the aircraft's power plant.

Thus, the modernisation of the An-26 aircraft engine rotation speed measurement system using magnetoresistive or Hall sensors is not only technically feasible but also strategically expedient. The introduction of these sensors contributes to increased flight reliability and safety, reduced weight and dimensions, lower energy consumption, and reduced maintenance costs. The proposed technical approaches create the conditions for the further electrification of onboard aviation systems and the creation of adaptive energy platforms tailored to the needs of modern military aviation.

DEVELOPMENT OF IMPROVEMENTS TO THE DA-200 FLIGHT HORIZON REPLACEMENT TO INCREASE THE ACCURACY OF AERODYNAMIC PARAMETER MEASUREMENTS

D. Bobrivnyk; R. Vasylenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aviation requires increasingly accurate measurements of aerometric parameters due to the growing complexity of flight conditions and higher demands for mission effectiveness. This necessitates the continuous improvement of on-board measurement systems.

An important direction for enhancing safety is the redundancy of key measurement instruments, exemplified by the use of the DA-200 backup attitude indicator. Despite its multifunctionality (combining a variometer, turn indicator, and slip indicator), the device has significant limitations: low accuracy in measuring vertical speed and correct bank angle indication only at one fixed airspeed. Addressing these issues is a relevant task.

It is proposed to improve the accuracy of vertical speed measurement through optimal processing of vertical acceleration signals and the derivative of altitude, using a developed third-order filter Simulink model. To ensure the versatility of the turn indicator, an approximated dependence of the bank angle on flight speed (V) and turn rate (ω) was obtained. Based on this dependence, a Simulink model was created that operates successfully across the entire range of operational flight conditions.

STUDY OF THE ENHANCED FUEL QUANTITY AND FLOW MEASUREMENT SYSTEM OF THE MiG-29 FIGHTER AIRCRAFT AND DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE PROPOSED TECHNICAL SOLUTIONS

*A. Hrabovetskyi; R. Vasylenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the modern operation of combat aircraft, the issue of ensuring high accuracy in monitoring fuel resources on board is becoming particularly relevant.

An analysis of fuel level measurement methods has confirmed the dominance of capacitive fuel gauges, the operation of which is based on changes in the electrical capacitance of the sensing element according to the degree of tank filling. The primary factors limiting the accuracy of such systems are the type of fuel, variations in its dielectric permeability, and the spatial orientation of the aircraft during flight.

As a path for improvement, a modification of the fuel quantity and flow measurement system is proposed, which takes into account changes in the dielectric properties of the fuel and the aircraft's angular position. The implementation of such technical solutions will contribute to increasing the accuracy of estimating fuel remaining and consumption, minimizing measurement errors, and, consequently, enabling more rational use of fuel reserves during flight missions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPROVEMENT OF THE EXTERNAL LIGHTING EQUIPMENT OF THE MiG-29 FIGHTER AIRCRAFT FOR THE USE OF NIGHT VISION GOGGLES (NVGs)

*Y. Heorhiiev; M. Holyshv; N. Holysheva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The modern nature of armed warfare is characterized by the growing role of night operations, increased mobility of aviation, and the necessity of maintaining operational concealment. The majority of combat missions performed by tactical aviation are carried out under limited visibility conditions, which requires the use of advanced visualization systems. One of the key such systems is night vision goggles (NVG), which enhance the pilot's situational awareness without the use of active illumination sources.

Ensuring the compatibility of external lighting equipment with NVG can significantly improve combat effectiveness without fundamentally altering the aircraft's design. Such modernization is more economically feasible compared to developing entirely new aviation platforms.

Therefore, the improvement of the external lighting equipment of the MiG-29 aircraft, taking into account NVG compatibility requirements, is a relevant scientific

and technical task aimed at increasing flight safety, reducing visual signature, and expanding the tactical capabilities of the fighter aircraft in modern combat conditions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE AIR DATA SYSTEM (PITOT-STATIC SYSTEMS) OF A MULTIROLE AIRCRAFT FOR PRECISE LANDING SPEED DETERMINATION

I. Ivanychko; R. Vasylenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analysis of the MiG-29's operational characteristics shows that during landing, the air data system (ADS) operates under conditions of increased aerodynamic disturbances. High angles of attack, the influence of induced vortices, and changes in the airflow pattern over the fuselage and wing lead to static pressure distortion. Simultaneously, the significant length and internal volume of the pitot-static lines create system inertia, resulting in dynamic lag in pressure transmission to the instruments during changes in flight regimes.

In a traditional configuration, the line length is 2–3 m, resulting in a time constant of approximately 0.2–0.5 s and an additional dynamic error in differential pressure measurement of up to 4–5 %. Given the quadratic relationship between airspeed and ΔP , this leads to an error in determining landing speed of about 2–2.5 %, which at 270 km/h corresponds to a deviation of 6–8 km/h. Additional sources of error include joint leakage and moisture accumulation in the pipelines.

The use of the WF200D 0.1BG piezoresistive differential MEMS pressure sensor by WF Sensors, with a range of ± 10 kPa and an extended frequency bandwidth, is a technically sound approach for modernizing the air data system of a multirole aircraft. The proposed solution provides a significant reduction in dynamic errors, improving the accuracy of landing speed determination and the overall level of flight safety during landing.

Consequently, the accuracy of landing speed determination is increased approximately 4–5 times compared to the traditional pneumatic configuration.

OPTIMIZATION OF THE MiG-29 FIGHTER FUEL SYSTEM TO IMPROVE MEASUREMENT ACCURACY

S. Kalmutskyi; E. Rodiuk; A. Martynenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The effectiveness of tactical aviation operations in combat depends on many factors. One of the critical factors for flight safety is the accuracy of automatic fuel remaining measurement, provided by the STR6-5 system.

The MiG-29 aircraft has outdated fuel measurement equipment: the PKU-6 control panel is characterized by low reliability, and the ISTR6-5 indicator has a significant error (up to 20 % deviation from the norm), as the system uses capacitive fuel gauges. This leads to inaccurate fuel remaining determination. To improve measurement accuracy, it is proposed to modernize the system by installing a digital display to replace the outdated ISTR6-5 indicator and replacing the PKU-6 control panel with modern equivalents.

In order to improve the accuracy of fuel remaining measurement on the MiG-29 aircraft, it is proposed to modernize the STR6-5 system. The modernization involves

replacing the standard ISTR indicator with a modern digital display (for example, manufactured by Collins Aerospace), as well as the PKU-6 control panel with a digital equivalent (for example, manufactured by AMETEK). The proposed components have significantly higher reliability indicators compared to the existing equipment.

Implementation of the proposed solution will achieve the following results:

- increased display accuracy;
- reduced system preparation time for operation;
- reduction of measurement error to 1–2 %.

Ultimately, this will contribute to an increase in combat radius and enhancement of combat potential by the Air Force aviation.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF MODERN INERTIAL MEASURING UNITS INTO THE IK-VK80 MULTIPURPOSE AIRCRAFT

*I. Kalenchuk; R. Vasylenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In combat conditions, it is critically important to use aircraft at low altitudes in radio silence mode, which requires autonomous, secure navigation systems, including inertial navigation systems (INS). On MiG-29 aircraft, this function is performed by the IK-VK80 complex, but in modes of intensive maneuvering (diving, evading missiles, combat turns), its accuracy and reliability are usually insufficient, which leads to a decrease in combat effectiveness.

The proposed solution is to modernize by replacing obsolete electromechanical components (such as the 30 kg IKV-80 course vertical) with modern digital inertial modules with laser or fiber optic gyroscopes and integration with a satellite positioning system (EMBEDDED GPS/INS H-764 type). Such a replacement will not only significantly reduce the weight, dimensions, and power consumption of the equipment, but also dramatically increase the accuracy of measuring angular parameters and accelerations in extreme flight modes. The implementation of an integrated system will reduce setup and preparation time, simplify maintenance, and increase the overall reliability and survivability of the navigation complex, which is a decisive factor for the successful execution of combat missions in modern air defense conditions.

Thus, the proposed modernization is aimed at transforming the navigation system into a key component for improving the pilot's situational awareness and the overall combat effectiveness of the aircraft.

IMPROVEMENT OF THE ANTI-ICE SYSTEM OF THE Mi-8MSB-V HELICOPTER

*A. Aliferenko; A. Mileiko; V. Chorny
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The anti-icing system (AIS) of the Mi-8MSB-V helicopter plays a decisive role in ensuring flight safety in conditions of atmospheric icing, preventing ice formation on the blades of the main and tail rotors, the windshields of the cockpit and the engine air intakes.

The standard design of the Mi-8MSB-V uses an electrothermal system with heating elements (metal tape or heating elements) on the blades, electric heating of the glass, and hot air to protect the air intakes. The main disadvantages of such a system are high energy consumption, rapid wear of heaters, delayed response to icing, insufficient efficiency in areas of high water content, and lack of predictive control.

The introduction of a hybrid low-energy anti-icing system will improve the helicopter's anti-icing system. Integration of signals from the onboard weather radar (which has already been installed on many Mi-8MSB-V helicopters since 2020) for predictive activation of the anti-icing system 2–5 minutes before entering an area of intense icing. This ensures proactive operation, reducing unnecessary load on the heaters and extending their service life.

Replacement or supplementation of traditional electric heating with a hybrid system of pulsed electric heating (PWM control) or low-energy electric pulse de-icing to remove already formed ice. Short powerful pulses (500–1500 V, lasting 1–3 ms) through built-in coils or film elements create a mechanical impulse that separates the ice without significant thermal stress. This reduces energy consumption by 50–70 % compared to continuous heating, reduces thermal stress and prevents microcracks on heating surfaces.

To further improve efficiency, thin-film heaters based on graphene or MXene (2D materials) are proposed, applied as a flexible film with a thickness of 10–50 μm to the leading edge of the blade. Such elements provide uniform heating, minimal weight (80–90 % reduction compared to metal tape), high cycle resistance and the possibility of zonal control (only the zone of maximum ice formation). Electrical connection and signal processing require the implementation of a matching electronic module that ensures compatibility with the onboard network and stable power supply.

The proposed solutions significantly improve the energy efficiency of the PWS, reduce blade wear, eliminate critical dependence on the power supply system, ensure early and predictive detection of icing, and lay the foundation for further electrification of onboard systems. This approach minimises mechanical modifications, maintains compatibility with existing components, and has an acceptable implementation cost in conditions of limited resources.

Thus, the hybrid low-energy anti-icing system for the Mi-8MSB-V helicopter, based on electric pulse de-icing, predictive control using weather radar data, and thin-film heaters, is technically promising and strategically justified. It contributes to increased flight reliability and safety, expanded operational capabilities in difficult weather conditions, reduced maintenance costs, and preparation for the integration of advanced materials into military aviation.

IMPROVEMENT OF EXTERNAL LIGHTING EQUIPMENT OF THE MIG-29 USING NIGHT VISION GOGGLES

*A. Demianenko; N. Holysheva; M. Holyshev; Y. Marchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat experience confirms the need to transfer aviation operations to a round-the-clock regime. However, the standard lighting equipment (LE) of Soviet-made MiG-29 aircraft is not adapted for use with night vision goggles (NVG). The radiation of incandescent lamps in the near-infrared spectrum causes NVG

“blinding”, which makes it impossible to fly in formation, take off/land on unequipped runways, and identify aircraft at night.

The introduction of modernised external lighting equipment for the MiG-29 to ensure compliance with MIL-STD requirements will allow pilots to use NVG without losing visual orientation. To achieve compatibility, a comprehensive upgrade is proposed, including the introduction of LED light sources, replacement of standard aeronautical navigation lights (ANL) and light marking lights (LML) with specialised LED modules. These have a narrow emission range in the visible part of the spectrum and minimal ‘noise’ in the IR range. For existing powerful taxi and landing lights (e.g., LFS-200), it is proposed to install infrared filters (NVIS Glass) that cut off wavelengths above 650–700 nm and the use of the ‘NVIS Friendly’ mode, which provides brightness control with the ability to switch to a special night mode, where the intensity of external lighting is reduced to levels that do not overload the electron-optical converters (EOC) of the eyepieces.

The integration of the proposed changes is not only technically feasible but also strategically expedient. It will allow the MiG-29 to be integrated into the overall NATO night operations system, improve flight safety in difficult weather conditions at night, and ensure the concealment of manoeuvres during combat missions. The modernisation of the LE contributes to increased reliability, reduced energy consumption and lower maintenance costs. The proposed technical approaches create the conditions for further modernisation of the LE and the creation of adaptive energy platforms tailored to the needs of modern military aviation.

IMPROVEMENT OF THE OXYGEN SYSTEM OF A MULTI-PURPOSE AIRCRAFT BY IMPLEMENTING AN OXYGEN GENERATOR AS AN ELEMENT OF THE LATEST TECHNOLOGIES OF AIRSPACE DEFENSE

D. Nesterova; Y. Myroniuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern conditions of combat operations in the airspace require increased autonomy, reliability and survivability of on-board systems of multi-purpose aircraft. One of the key systems for ensuring the life of the flight crew is the oxygen system, the safety of flight at high altitudes and the ability to economically perform combat missions under conditions of increased loads depend on the efficiency of its functioning.

Traditional oxygen storage systems based on the balloon principle have a limited resource, require complex logistics and regular maintenance. A promising direction for improvement is the introduction of an on-board oxygen generator, which provides for the production of a breathing mixture directly during the flight by air separation. This allows reducing the mass of the equipment, increasing the autonomy of the aircraft, reducing the cost of ground maintenance and minimizing the risks associated with the transportation and storage of compressed oxygen.

The use of an oxygen generator as a component of the on-board equipment complex contributes to increasing the combat effectiveness of a multi-role aircraft, ensures a long stay in the mission area and meets the requirements of modern airspace protection technologies. Improving the oxygen system based on such solutions is an important step towards the modernization of military aviation equipment and increasing its operational capabilities.

ADVANCED TECHNOLOGIES FOR AIRSPACE PROTECTION: DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF A PROMISING UNIFIED OBJECTIVE CONDITION MONITORING SYSTEM FOR UAVS

R. Yatskiv; I. Stebliuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The intensive use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in airspace protection operations necessitates increased reliability of onboard equipment and improvement of technical condition monitoring methods. Existing objective condition monitoring systems are mostly platform-specific, which complicates their unification and integration across different classes of UAVs.

A structure of a promising unified objective condition monitoring system (OCMS) is proposed for integration into the onboard equipment of various UAV classes. The system provides standardized collection, recording, and analysis of the operational parameters of key onboard subsystems, including flight control, navigation, power supply, and payload. The OCMS architecture is based on a modular principle and includes a data processing unit, diagnostics module, onboard recorder, and ground analytical segment.

The proposed approach aims to enhance the reliability of technical condition assessment, reduce the risk of failures, and create the basis for the implementation of predictive maintenance.

RESEARCH ON APPROACHES TO MODERNIZING VHF-BAND RADIO STATIONS OF FIGHTER AIRCRAFT

A. Sivov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of aviation technology development requires deep integration of airborne radio communication systems, which necessitates strict compliance with ICAO regulations (Annex 10). A priority area of modernization for HF and VHF radio stations is the transition to the 8.33 kHz channel spacing and the implementation of digital data links based on the VDL Mode 2 protocol. This will mitigate frequency congestion and ensure proper interoperability with automated Air Traffic Control (ATC) systems in civil airspace sectors.

An analysis of operational performance indicators of legacy radio equipment reveals the critical vulnerability of amplitude-modulated channels to selective fading and harmonic interference in a complex electromagnetic environment. The technical challenge lies in achieving a high level of resistance to interference under conditions of active electronic countermeasures, without violating spectral masks established by civil regulatory standards. Requirements for signal integrity and the minimization of intermodulation distortion in dense traffic environments necessitate a transition from analog processing techniques to advanced signal-coding schemes.

In conclusion, the optimal engineering solution is the adoption of a software-defined radio (SDR) architecture, enabling the implementation of flexible frequency-agile algorithms, including pseudorandom frequency hopping adapted to civil regulatory constraints. The application of digital filtering techniques based on FPGA platforms, combined with robust error-control coding, significantly enhances the radio link energy efficiency and resilience. Thus, the integration of modular

digital components ensures electromagnetic compatibility with ICAO ground infrastructure and provides survivability of command-and-control channels under deliberate jamming conditions.

PROPOSALS FOR MODERNISING THE ON-BOARD DEFENCE SYSTEM OF THE SU-24M AIRCRAFT IN THE CONTEXT OF NETWORK-CENTRIC THREATS

S. Karateev; S. Hoptsii

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of countering armed aggression has shown that the Su-24M front-line bomber remains one of the primary carriers of precision-guided air-to-surface munitions.

At the same time, challenges have arisen in the employment of Su-24M aircraft due to network-centric air defense systems, where radars, surface-to-air missile systems, optoelectronic devices, reconnaissance UAVs, and satellite targeting systems are integrated into a single operational loop.

The Su-24M's onboard defensive suite is a critical component for ensuring survivability in the face of highly effective network-centric air defense. By combining early threat detection, active electronic countermeasures, and the deployment of passive decoys, the Su-24's defensive system enables the crew to successfully counter modern surface-to-air missile systems during flights at low and extremely low altitudes, utilizing terrain masking. However, in the dynamic landscape of electronic warfare, maintaining this advantage is only possible through a comprehensive modernization of the defensive suite.

Thus, the improvement of the Su-24 aircraft's onboard defence system is aimed at increasing survivability through the integration of modern countermeasures and automated protection. Key areas include the use of artificial intelligence to detect threats, modularity for rapid task-specific upgrades, and the introduction of high-precision weapon defence systems.

RADIO NAVIGATION CORRECTION OF UAVS IN SPACE USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

M. Digtyar; M. Semenov; A. Dolya

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In conditions where electronic warfare measures are in effect, ensuring stable and highly accurate positioning of unmanned aerial vehicles (UAVs) is a critically important task. Basic satellite technologies, in particular the Global Navigation Satellite System (GNSS), are vulnerable to interference and spoofing, which necessitates the introduction of alternative navigation correction methods.

Radio navigation correction of UAVs involves the integration of data from inertial measurement modules, radio-technical means of determining coordinates, and cross-platform information exchange. The use of artificial intelligence algorithms allows for adaptive signal processing, identification of systematic errors, and prediction of motion parameters under conditions of a priori uncertainty. Unlike classical state estimation methods, intelligent models are capable of accounting for nonlinear dynamics and complex stochastic influences.

The proposed approach is based on the formation of a multidimensional state vector and its correction in real time using neural network structures. This ensures increased accuracy in determining coordinates, noise immunity, and autonomous operation of UAVs under the influence of electronic warfare measures.

FEATURES OF FUNCTIONING OF AIRBORNE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS IN THE VHF RANGE

M. Digtyar; O. Korshenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Airborne radio communication systems of the ultra-high frequency (VHF) range are integral components of the radio-electronic equipment of aircraft. They provide operational communication within the limits of line-of-sight radio visibility. Their structure is based on the combination of a transmitter, receiver, antenna-feeder system, control units, and interfaces for interaction with other onboard systems.

A distinctive feature of the receiving path of aviation VHF radio stations is the implementation of the signal conversion principle (the superheterodyne method), which ensures high selectivity and sensitivity in complex electromagnetic environments. The transmitting path generates a modulated, highly stable (10^{-9}) signal of specified power.

The efficiency of aviation VHF radio stations is determined by antenna characteristics. The radiation pattern, efficiency, and input impedance depend on design parameters and installation conditions on the aircraft. The amplitude-phase field distribution and spatial radiation characteristics are related through the Fourier transform.

The communication range in the VHF band is determined by line-of-sight conditions and flight altitude, which defines the dependence of the radio horizon on flight geometry parameters. To enhance reliability, channel redundancy, automatic performance monitoring, and integration with onboard radio-electronic systems are implemented.

Thus, the design principles of airborne VHF radio communication systems are defined by optimization of transmitter and receiver paths, proper antenna system matching, and ensuring electromagnetic compatibility, which guarantees the required range, interference immunity, and operational reliability.

PROPOSALS FOR THE DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A HELICOPTER PROTECTION SYSTEM FOR ARMY AVIATION

S. Degtyarenko; A. Soldatenko; A. Dolya

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Currently, the presence of combat-ready army aviation is a prerequisite for the successful fulfillment of the main tasks of aviation support for troops (forces) and comprehensive support for them in the performance of combat missions.

Army aviation units include helicopters that provide comprehensive support for troops (forces) during combat missions.

Despite the high level of protection of helicopters from missiles with infrared homing heads by the ADROS active protection system, which prevents target acquisition through optical-electronic suppression (KT-01AVE) and the release of special false thermal targets (KUV 26-50), there are a number of unresolved

problems, in particular, the limited effectiveness of countering missiles with combined guidance systems and the complexity of simultaneously detecting and suppressing several different types of threats.

Therefore, this paper provides justification for improving the ADROS active protection system, which will enable the army aviation to perform its entire range of tasks with high efficiency.

Thus, it is proposed to equip the ADROS active protection system with radar, laser, and missile warning systems and an active jamming station, which will make it possible to detect threats in a timely manner, determine their type, and automatically select an effective countermeasure.

RESEARCH ON METHODS FOR ALTERNATIVE HEADING DETERMINATION USING AN ONBOARD RADIO NAVIGATION SYSTEM OF A UAV

D. Yatskiv

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Determining the UAV heading is critical for flight stability and navigation performance. In the event of GNSS signal loss or under conditions of electronic interference, the accuracy of conventional sensors (magnetometer, gyroscope) degrades significantly. Therefore, employing an onboard radio navigation system as an alternative source of heading estimation is considered appropriate.

The filtering model is based on an Extended Kalman Filter (EKF) that integrates inertial measurement unit data with radio navigation measurements (phase difference and Doppler shift). The state vector comprises heading angle, angular rate, and sensor bias terms. The algorithm performs state prediction using the kinematic motion model and applies measurement updates to reduce the impact of noise and drift.

The proposed approach improves heading estimation accuracy and enhances UAV operational robustness in conditions of partial navigation signal denial. The integration of radio navigation data with optimal filtering techniques mitigates error accumulation and increases the overall reliability of the onboard navigation system.

RESEARCH ON METHODS FOR ENHANCING DATA CONFIDENTIALITY IN AIRBORNE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

M. Boiko; K. Yakymchuk; A. Andrus

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Enhancing data confidentiality in airborne radio communication systems involves protecting command-and-control signals, telemetry, and service information against interception, spoofing, and unauthorized access. The primary requirement is to ensure cryptographic robustness of communication links while maintaining the integrity of transmitted messages.

The set of protective measures includes data encryption, user authentication, message integrity control, and the application of pseudorandom frequency hopping techniques. In addition, digital signal processing algorithms are employed to mitigate interference effects and to detect unauthorized intrusion into the communication channel.

Implementation of these measures reduces the probability of information leakage and increases the resilience of the radio communication system to technical threats. The integrated deployment of cryptographic and hardware-software solutions forms the foundation for ensuring data confidentiality in airborne communication systems.

MODERNISATION OF THE FIGHTER AIRCRAFT RADAR TRANSMISSION CHANNEL

V. Zhuk; A. Vedernikova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Based on the experience of the Russian-Ukrainian war, the effectiveness of fighter jets directly depends on the performance of the radar system. The radar system is a key element of the weapon control system, which determines the aircraft's capabilities in terms of detection range, tracking and engagement of air targets.

Currently, combat experience has revealed one of the weak points of the radar system – the transmission channel, namely the transmission device, which uses an outdated travelling wave tube (TWT).

Its low reliability and limited characteristics reduce the overall potential of the aircraft during combat missions.

One way to improve the efficiency of the complex is to replace the standard tube with a modern dB-3708P1 model in the transmitter. The use of modern TWTA amplifiers increases the stability of the transmission channel and will allow for an increase in the frequency range of the device. This implementation will increase the detection range of the fighter's radar and improve the reliability of the transmitter.

To modernise the radar, we will switch to modern TWTA amplifiers, which will lead to the expanded use of fighters during combat missions.

PROPOSALS FOR THE APPLICATION OF THE LORA PROTOCOL AND PROSPECTS FOR ITS USE IN UAV COMMUNICATION CHANNELS

S. Karatieiev; M. Dysyuk; R. Skoropadsky; V. Sukhyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The use of unmanned aerial vehicles in modern armed conflicts demonstrates the decisive role of information transmission systems in ensuring their combat effectiveness. In conditions of armed aggression, the data transmission channel becomes the target of targeted electronic warfare measures, which are implemented by creating interference, suppressing signals, intercepting or simulating control commands. Under such conditions, the stability and survivability of the data transmission channel become critical, since the loss of control or telemetry leads to the failure of the combat mission and the loss of the aircraft.

Combat experience has shown that using a single radio channel to transmit all types of data is technically unjustified and vulnerable. A rational approach is to build a multi-component architecture in which control, telemetry and video transmission channels are functionally separated and implemented using different frequency resources and modulation technologies.

Thus, it is proposed to use data transmission methods with spectrum expansion, which will increase receiver sensitivity and resistance to narrowband interference.

The use of LoRa technology, which is characterised by more efficient use of power resources, low energy consumption, high autonomy and long transmission range, will ensure the efficiency of two-way telemetry data exchange.

INTEGRATED AVIONICS SYSTEMS OF MILITARY MANNED AND UNMANNED AIRCRAFT

*M. Semko; A. Tambovtsev; O. Babych; I. Skliar
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Increasing the combat effectiveness of modern military aircraft and unmanned aerial systems (UAS) directly depends on the level of integration of onboard radio-electronic equipment, weapons control systems, and data exchange facilities.

The introduction of open-architecture onboard computing systems, multispectral sensor complexes, and intelligent data processing algorithms significantly reduces the time between target detection and impact, increases the accuracy of air weapons, and ensures effective operations in a network-centric battlespace. This concept involves the transformation of means and systems from traditional hierarchical structures into flexible and adaptive network formations capable of achieving information superiority, increasing the speed of decision-making and significantly increasing combat effectiveness. Spectral visualization allows you to obtain additional information from the received images in certain wavelength ranges in the electromagnetic spectrum.

The experience of modern armed conflicts, in particular the full-scale aggression of the Russian Federation against Ukraine, demonstrates the crucial importance of operational target identification and reduction of decision-making time. The effectiveness of aviation weapons is ensured by the integration of on-board systems.

Tactical advantage is determined by the coordinated integration of subsystems, and a promising direction is the creation of unified modular complexes with an open architecture, capable of rapid adaptation to combat missions.

INTEGRATION OF ON-BOARD EQUIPMENT COMPLEXES OF MILITARY AIRCRAFT AND OBAC INTO THE SYSTEM OF APPLICATION OF AVIATION WEAPONS

*M. Semko; O. Kolesnyk; O. Babych; I. Skliar
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern military aircraft and unmanned aerial vehicles are equipped with integrated on-board equipment complexes that provide navigation, communications, reconnaissance and combat use of aviation weapons. On-board systems combine radio-electronic, opto-electronic and computing resources into a single information and control environment that allows for rapid data processing and real-time decision-making.

An important trend is the integration of aiming and navigation systems with weapons control systems. This increases the accuracy of target engagement, reduces response time, and ensures the effectiveness of combat use in conditions of electronic countermeasures. For UAVs, protected communication channels and autonomous navigation systems are of particular importance.

The effectiveness of the complexes is determined by their reliability, noise immunity, electromagnetic compatibility and level of technical operation. Timely

maintenance, diagnostics and control of the technical condition ensure the maintenance of combat readiness of aviation equipment. Modular architecture and digitalization create conditions for rapid modernization in accordance with modern requirements.

Therefore, the development and improvement of on-board equipment complexes of military aircraft and UAVs is a key factor in increasing the combat capabilities of aviation and the effectiveness of the use of aviation weapons.

UNMANNED AVIATION SYSTEMS (UAS): STRUCTURE AND PRINCIPLE OF OPERATION

*Kh. Dukhnyak; M. Semko; O. Khizhniuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of armed aggression, it is extremely important to have reliable and combat-ready equipment capable of performing assigned tasks in a timely manner.

Unmanned Aerial Vehicle Systems (UAVS) represent an integrated set of interconnected systems that ensure autonomous or remotely controlled flight, execution of combat and reconnaissance missions, navigation, communication, and deployment of payloads. Modern UAV systems, such as the Bayraktar TB2 or the MQ-9 Reaper, demonstrate a high level of capability, providing precise navigation, resistance to electronic warfare, and effective weapon employment.

Further research and modernization of UAV systems are key factors in enhancing their efficiency, reliability, and combat effectiveness. Improving control algorithms, strengthening communication channel security, and integrating the latest technologies will contribute to increasing the overall performance of aerial systems.

Thus, the effectiveness of UAV systems is of decisive importance in conditions of armed aggression, and their continuous development is a guarantee of successful mission execution and strengthening the technical potential of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ONBOARD SYSTEMS OF MILITARY AIRCRAFT AND UAVs

*M. Semko; M. Dihtiar; O. Babych; I. Skliar
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern military aircraft are complex technical systems whose effectiveness is determined by the level of integration of onboard equipment and the capabilities of aviation armament. Onboard equipment includes a set of interconnected systems that provide navigation, flight control, communication, reconnaissance, protection, and combat employment. The перспективу systems of navigation support are represented by inertial and satellite systems which, in combination, ensure autonomy and high positioning accuracy even under conditions of electronic warfare. Radio-electronic complexes play an important role in combat employment, including airborne radar stations, electro-optical surveillance systems, identification systems, and electronic warfare systems.

Unmanned aerial systems must have a high level of automation and be built according to a modular principle. They should consist of an aerial platform, a ground control station, communication channels, and payload. A distinctive feature of UAVs is the integration of navigation modules with the autopilot and real-time data

transmission systems, which enables remote control and the execution of reconnaissance or strike missions. The system must be protected against electronic interference and provide redundancy of navigation data.

The effectiveness of aviation armament directly depends on the accuracy of navigation and targeting systems, as well as on the information interaction between the carrier and the weapon. Current development trends include increasing autonomy, sensor data integration, network-centric operations, and the implementation of artificial intelligence elements. Thus, onboard equipment systems and aviation armament form a unified functional system that determines the combat capabilities of aviation in modern conditions.

RESEARCH ON METHODS FOR IMPROVING THE RELIABILITY OF BLOCK N019-01 IN THE RADAR-TARGETING SYSTEM OF THE RLPK-29 TYPE ON THE MIG-29 AIRCRAFT

*D. Sokolova; V. Kudryashova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat conditions, the reliability of onboard radio-electronic systems directly determines the effectiveness of combat missions. In this context, improving the operational stability of the RLPK-29 radar targeting system of the MiG-29 aircraft is an important factor in ensuring its combat readiness. Of particular importance is the N019-01 unit, which is responsible for the formation and processing of radar signals and affects the stability of the entire system.

The main goal of the modernization is to reduce the number of failures, increase the service life, and simplify maintenance under conditions of increased thermal and vibration loads. Among the main ways to improve the system are the optimization of thermal regimes, the use of modern components, the introduction of automated diagnostics, and a modular approach to equipment design.

An important technical solution is the replacement of the standard transceiver unit with the modern block, which provides increased energy efficiency, reduced heat dissipation, and improved reliability. The implementation of these measures will contribute to the stable operation of the radar complex and increase the combat effectiveness of the aircraft.

FEATURES OF THE OPERATION OF ON-BOARD SYSTEMS OF UNMANNED AVIATION COMPLEXES IN COMBAT APPLICATION CONDITIONS

*A. Kozlova; T. Kryva; O. Khizhniuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The functioning of on-board systems of unmanned aerial vehicles (UAVs) significantly affects the effectiveness of combat missions, such as reconnaissance, enemy surveillance, and target destruction during armed aggression. The main factor in the combat effectiveness of UAVs is the reliability and stability of the on-board equipment, even in critical conditions.

The on-board systems of UAVs include navigation systems, communications, flight control systems, power supply, and target load. In combat conditions, the functioning of the on-board equipment of unmanned aerial vehicles is affected by various external factors: radio-electronic interference, high dynamic loads,

significant temperature fluctuations, and limited resources for operational maintenance. The malfunction of at least one system can reduce the effectiveness of the task or lead to the loss of the aircraft. Therefore, it is important to increase the resistance of all systems to external influences, ensure the reliability of electronic equipment, and maintain the coordinated operation of various subsystems.

Special attention should be paid to the level of autonomy of the UAV; in case of loss of communication with the control point or the influence of electronic warfare means, the aircraft must provide the ability to stabilize the flight, navigate in space and safely complete the mission. An important role in this is played by software that ensures adaptation to changing conditions and prompt response to failures of individual components. Therefore, taking into account these features increases the effectiveness of the use of UAVs, ensures stable operation of onboard systems and reduces the risk of losses in combat conditions.

APPROACHES TO IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF UNMANNED AIRCRAFT

V. Suprunov; A. Semeniuk; A. Voronin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improving the energy efficiency of unmanned aerial vehicles (UAVs) is a key factor in increasing flight duration, mission range, and reducing operating costs. In conditions of limited battery capacity, optimizing energy consumption is becoming a strategic task of modern aviation engineering.

The main directions of increasing energy efficiency are: improving the aerodynamic shape of the hull, reducing the mass of the structure through the use of composite materials, optimizing the propellers and power plant, as well as the use of intelligent flight control algorithms. An important role is played by software optimization of the trajectory, which allows minimizing energy consumption during takeoff, climb and cruise mode.

In addition, a promising direction is the introduction of hybrid power systems, solar panels and energy recovery systems. An integrated approach that combines structural, electrical and software solutions allows for a significant increase in UAV autonomy without a significant increase in their mass.

Thus, increasing the energy efficiency of UAVs is a complex engineering task that combines optimization of the design, electrical parameters and control algorithms. The integration of modern materials, high-performance components and intelligent control systems allows for an increase in flight duration by 15–30 % without a significant increase in weight and dimensions.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF PLANE BOMBS AND DIRECTIONS FOR THEIR IMPROVEMENT BASED ON THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

O. Potseluiev; S. Borisenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Since the beginning of the full-scale invasion of the Russian Federation into Ukraine, the Air Force aviation has been actively using glide bombs (PLAB) as an effective means of destroying command posts, ammunition depots, concentrations of personnel and munitions. At the beginning of the war, the Air Force used the

remains of Soviet-era aviation bombs, which had become irrelevant in the conditions of the enemy's significant air defense, so the defense forces were faced with the urgent issue of supplying new bombs or creating their own modernized PIAB model.

The issue of creating a Ukrainian model of PIAB is becoming more and more relevant with each passing day of the confrontation. Over time, attempts began to create their own model of PIAB, which could fully meet the needs of bomber aviation.. Its characteristics did not meet the needs of modern warfare, its use was risky for the carrier, and also did not allow hitting targets properly and with high accuracy. The flight range of the first model was about 40–60 km. Navigation is carried out via GPS and an inertial control system. The developed wings are easily put on the bomb, and installing the gliding module takes only a few minutes. Domestic enterprises are involved in the development and production. The product is not perfect, and it is also not localized, despite the fact that many parts are manufactured in Ukraine, but some components are supplied from abroad. Hence, it is relevant to analyze ways to modernize the PIAB, which will help meet the requirements of modern warfare, which dictates increasingly tough confrontation every day. Promising ones includes: installing a turbojet. Under existing conditions, the PIAB is launched from a height of no more than 100 m and a distance of 35–45 km from the line of combat contact, in order to be safe for the carrier aircraft.

TRAJECTORY OPTIMIZATION FOR THE GLIDE FLIGHT OF AERIAL MUNITIONS BASED ON ENERGY ANALYSIS

O. Sorochkin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The development of aerial munitions increasingly incorporates glide flight regimes in order to extend engagement range without proportional growth in propulsion requirements or structural complexity. Under these conditions, trajectory optimization after release becomes a critical factor influencing operational effectiveness.

Conventional range assessment methods primarily rely on initial release altitude and velocity. However, such approaches do not explicitly consider the redistribution and dissipation of mechanical energy throughout the glide flight phase. In this study, an energy analysis framework is applied to describe the post release motion as a progressive conversion of initial potential and kinetic energy into work against aerodynamic drag.

It is shown that glide performance is governed by the lift to drag ratio, which determines the portion of available mechanical energy converted into horizontal displacement. The analysis demonstrates that maximum range is achieved not by maximizing velocity or descent angle independently, but by selecting a trajectory that ensures balanced energy expenditure during flight.

The results indicate that optimal glide trajectories correspond to regimes that minimize energy loss per unit horizontal distance. The relative contribution of initial kinetic and potential energy significantly influences the structure of the optimal flight profile and the achievable range.

The proposed energy based formulation provides a systematic basis for trajectory optimization and may support refinement of range estimation methodologies and operational planning for aerial munitions employing glide flight.

RESEARCH OF AERODYNAMIC AND BALLISTIC CHARACTERISTICS OF PROMISING GLIDING AERIAL MUNITIONS WEIGHING 500 KG

*Y. Savieliev; O. Yonka; S. Harmash
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The relevance of the topic is due to the rapid development of high-precision weapons and the need to increase the effectiveness of aerial munitions while minimizing risks to the carrier aircraft. Gliding aerial munitions weighing about 500 kg allow engagement of targets from safe distances due to the use of aerodynamic lift and optimization of the flight trajectory. The study of their aerodynamic and ballistic characteristics is an important stage in the development of promising weapon systems and the improvement of the combat employment methods.

The purpose of the study is to determine the main aerodynamic parameters and ballistic characteristics of gliding aerial munitions weighing 500 kg, as well as to assess their influence on range, accuracy, and flight stability.

The main objectives include analysis of lift and drag coefficients, study of stability and controllability of the munition, modeling of gliding trajectories under various release conditions, as well as determination of optimal employment parameters.

The study established that gliding efficiency largely depends on the aerodynamic configuration of the munition, wing area and shape, as well as the lift-to-drag ratio. An increase in aerodynamic efficiency contributes to extended flight range and expansion of the engagement zone.

Ballistic analysis involves consideration of initial release conditions (altitude, carrier speed, angle of attack), as well as the influence of gravity and aerodynamic forces on the motion trajectory. The modeling results show that optimization of the flight profile makes it possible to increase engagement accuracy and reduce dispersion.

Thus, comprehensive research of the aerodynamic and ballistic characteristics of promising gliding aerial munitions weighing 500 kg is a necessary condition for improving their effectiveness. Further research should be aimed at improving mathematical models of motion, applying modern computer simulation methods, and optimizing the structural parameters of the munitions.

FEATURES OF DETERMINING THE PAYLOAD OF AVIATION VEHICLES OF INJURY

*A. Khyzhniak; V. Zakladnyi; D. Berezytskyi; B. Revko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Air weapons include air missiles, air bombs, torpedoes, mines and artillery ammunition designed to destroy targets from the air. Thus, there is a variety of aviation means of destruction – from guided to unguided, which determines the peculiarities of understanding their payload.

Also, it should be noted that the main element of aviation means of destruction, which ensures the destruction of the target, is its payload – the combat part, which determines the functional expediency of the creation of the product. Therefore, the question of understanding and feasibility of its justified definition, especially in the early stages of its creation, requires thorough study.

Reasonable determination of the mass of the payload of aircraft weapons, especially at the initial stage of their creation, is critical for the formation of the entire configuration of the product. Incorrect determination of the parameters of the payload can lead to unjustified establishment of ratios of mass-dimensional characteristics of the product and irrational use of resources.

It should be noted that changes to product requirements at an early stage have minimal cost compared to changes at the manufacturing or testing stages.

Therefore, the understanding and justified formation of the parameters of the payload of each type of aviation means of destruction, especially at the initial stage of creating a sample, will contribute to the justified determination of the ratio of mass-dimensional characteristics of the product, the rational use of resources and ensuring the technical and economic feasibility of its creation.

PROMISING MI-24 ARMAMENT COMPLEX BASED ON HYDRA-70 UAR WITH THE APKWS MODULE AS AN ALTERNATIVE TO S-8L

*V. Popov; D. Krupskyi; A. Vaskiv
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Tactics and methods of engaging small air targets (UAVs) and ground objectives are constantly evolving. For Mi-24 helicopters, it is critical to increase rocket employment accuracy without a disproportionate rise in the cost of combat use.

Conventional unguided 80-mm S-8 rockets provide high fire density, but their practical accuracy is limited at typical engagement ranges. This forces the helicopter to close the distance to the target, increasing exposure to air defense fire and raising ammunition expenditure.

Developing a guided S-8L variant is a logical way to improve the precision of legacy rocket systems; however, it requires validation, serial production, and comprehensive integration with the aircraft's fire control system.

An alternative and faster-to-field approach is the use of 70-mm HYDRA-70 rockets equipped with the APKWS guidance kit, which turns a standard rocket into a semi-active laser guided munition. For the Mi-24, this means obtaining a "precision unguided-class rocket" through the integration of 70-mm launchers, updates to fire-control algorithms, and provision of laser target designation.

RESEARCH INTO THE CAPABILITIES OF THE ZUNI AIRBORNE TARGETING SYSTEM WITH A LASER HOMING HEAD

*M. Sosulin; A. Pedorich; M. Mikhno; V. Omelchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern armed conflict, aviation weapons play a key role in ensuring the accuracy and effectiveness of firepower. Thanks to modernization with a laser homing head, unguided aviation missiles (UAM) of the ZUNI type gain new capabilities for high-precision application, which significantly increases their combat potential at minimal rearmament costs.

The use of a laser homing head allows the ZUNI UAM to implement a "fire and watch" mode, ensuring high-precision guidance to the illuminated target. This significantly reduces dispersion and increases the probability of hitting the target compared to a conventional missile launch. In combination with an aviation

targeting system, the missile can be used to engage small and moving targets, including armored vehicles and fortified positions.

The upgrade does not require significant changes to the launchers, making it cost-effective. Among the limitations are dependence on weather conditions and the presence of obstacles to the laser guidance channel, as well as limited effective range. This solution increases the combat effectiveness of aviation, ensuring accuracy while maintaining low weapon costs.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF COMPUTER VISION TECHNOLOGIES FOR THE DETECTION OF AIR RECONNAISSANCE OBJECTS USING GRAPHICAL AUTOMATED STATIONS

V. Artemiev; O. Lova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid development of airborne reconnaissance technologies necessitates the improvement of automated airborne surveillance data processing systems to ensure timely detection and identification of objects using advanced remote sensing image analysis methods. Traditional approaches based on threshold segmentation and motion detection algorithms demonstrate limited robustness to illumination variations, atmospheric effects, complex background structures, and noise distortions. The application of computer vision technologies provides increased invariance to external factors and improves detection accuracy for small-sized aerial targets.

The proposed solution involves the development of a hardware–software complex based on graphical automated workstations equipped with high-performance graphics processing units (GPU) that support parallel computation. The system architecture implements a multi-stage video data processing pipeline, including preprocessing procedures (noise filtering, image stabilization, and brightness normalization), object detection using neural networks, followed by target classification and tracking.

The use of GPU acceleration enables near real-time processing of continuous video streams. The integration of adaptive learning modules allows incremental retraining of models on updated datasets, thereby enhancing their capability to generalize to newly detected objects.

REAL-TIME OBJECT DETECTION AND CLASSIFICATION BY UAV EQUIPPED WITH SYNTHETIC APERTURE RADAR

R. Pidletyuk; O. Lova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Research into methods for detecting and classifying objects in near real time using unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with synthetic aperture radar (SAR) systems is highly relevant. The range of UAV payloads – including electro-optical systems, SAR sensors, electronic intelligence systems, and electronic warfare (EW) modules – is continuously expanding and is being actively implemented, primarily in the military domain. These developments are driven by

the growing demand for unmanned systems in military operations, search and rescue missions, and aerial surveillance tasks.

Medium-Altitude Long-Endurance (MALE) class UAVs are capable of conducting Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (ISR) missions and acquiring critical data on objects of interest. At the same time, lower-class UAVs are increasingly being equipped with advanced reconnaissance technologies, including modern payloads and algorithms for pattern recognition and data fusion, particularly those integrating SAR imagery.

In this study, two approaches were evaluated: classical image processing techniques and a deep learning-based method using a convolutional neural network (YOLOv5). Based on the experimental results, a hybrid detection framework was developed, combining YOLOv5 with post-processing based on classical image analysis methods. The proposed system demonstrates improved classification accuracy and enhanced localization performance.

Furthermore, the implementation of computationally efficient detection algorithms enables a significant reduction in the volume of SAR data transmitted to the ground control station. This approach optimizes communication bandwidth while maintaining high object detection performance, which is particularly important for real-time UAV-based reconnaissance applications.

RESEARCH INTO DIRECTIONS FOR INCREASING THE DETECTION RANGE OF AIR TARGET BY A QUANTUM OPTICAL LOCATION STATION

Y. Kazakov; O. Polishchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The quantum optical location station is an onboard optoelectronic system that combines an infrared surveillance and tracking channel with a laser rangefinder. The station provides passive detection, acquisition and automatic tracking of air targets based on their own thermal emissions. Range measurement is performed in active mode after the target is transferred to auto-tracking.

The maximum range of passive detection is determined by the ability of the receiving path to provide the required signal-to-noise ratio. As the range increases, the radiation flux from the target arriving at the input aperture of the optical system decreases, resulting in a decrease in the electrical signal level at the output of the photodetector module. An increase in the maximum detection range is associated with an increase in the useful component of the signal and a decrease in the noise of the receiving path.

Signal level increase is achieved by optimising the effective aperture, increasing the transmission coefficient of the optical system, and using modern infrared materials with improved spectral characteristics. An important factor is the minimisation of losses in lens elements through the use of multilayer anti-reflective coatings.

Noise reduction is achieved by using photodetector matrices with low inherent noise levels, improving the cooling system, and optimising the parameters of the electronic circuitry. Additional efficiency gains are achieved by implementing spatial-temporal processing algorithms, in particular adaptive filtering and multi-frame signal accumulation.

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO ONBOARD SYSTEMS OF MILITARY UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

*H. Eidelshstein; O. Sheremet; V. Sorochuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

High-intensity conflicts show massive UAS use in reconnaissance, strikes, EW, and network-centric ops. UAS effectiveness now hinges on onboard AI sophistication and autonomy, not aerodynamics or payload. Standardized AI integration in contested EM environments remains underdeveloped.

AI boosts capabilities via real-time multispectral sensor fusion (EO/IR/radar/ELINT), enhancing target detection/classification/prioritization and cutting operator load. In jammed/lost-link conditions, onboard AI enables autonomous decisions within mission rules, maintaining task continuity.

AI counters GNSS jamming/spoofing through fusion with inertial, terrain-referenced, and visual odometry navigation for GNSS-denied accuracy. ML-based adaptive controls handle damage and disturbances.

Strike/loitering platforms gain ATR and dynamic engagement, shortening kill chains and raising precision but require human-in/on-the-loop oversight for ethical/IHL compliance.

Modular architectures with heterogeneous computing (CPU/GPU/FPGA/AI accelerators) and high-speed buses allow fast AI upgrades without airframe changes. Open standards improve interoperability and lower costs.

Conclusion. AI turns UAS into adaptive semi-autonomous systems resilient in contested spaces. Onboard AI drives superior mission effectiveness, survivability, and EW resistance. Future focus: secure distributed systems, explainable AI, and joint-network interoperability for responsible superiority.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF SURFACE OBJECTS OF THE FOREIGN OBJECT ENEMY NAVAL FORCES USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES

*R. Bairak; O. Halepa
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

With the beginning of full-scale hostilities, the role of the maritime domain in the national security system has significantly increased. Maritime areas have become zones of heightened military activity, where the adversary employs ships of various classes, missile platforms, and unmanned surface vehicles. Under such conditions, the prompt detection and accurate identification of surface objects are critically important for timely response and effective decision-making. Traditional surveillance systems do not always provide the required speed of information processing or sufficient resilience to adverse weather conditions, camouflage, and information overload.

One of the promising directions for improving the effectiveness of maritime monitoring is the application of computer vision technologies and deep learning methods. The use of neural networks for analyzing images and video streams enables automation of detection, recognition, and classification processes in real time. Modern object detection algorithms can process data obtained from unmanned

aerial vehicles, coastal surveillance systems, and other optoelectronic monitoring tools.

It is expected that the developed model will increase the level of automation in surveillance systems, reduce information processing time, and decrease operator workload, which, under wartime conditions, is an important factor in strengthening the state's defense capability.

PROGRAMS FOR DEVELOPMENT OF UNMANNED AIRCRAFT UNDER THE “LOYAL WINGMAN” CONCEPT

Yu. Skoryi¹, Candidate of Technical Sciences; R. Lyashchenko¹; Yu. Musienko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

An unmanned aerial vehicle (UAV) with artificial intelligence on board and the ability to interact with promising 6th generation manned aircraft has been named “loyal wingman”.

UAVs under this concept are considered cheaper compared to 5th and 6th generation manned aircraft. The emergence of such a concept was led by the high efficiency of air defense systems and the insane cost of manned aircraft, and its use will allow saving money on training pilots of manned aircraft and significantly increasing the quantitative composition of tactical aviation.

Work on the creation of such UAVs is underway in the USA, some countries of the European Union, China, Turkey, South Korea, Japan and Russia. The main feature that distinguishes a “loyal wingman” from a conventional UAV is a high degree of autonomy and the ability to make decisions independently, including on the use of weapons.

The report provides data on the progress of programs to create “loyal wingman” according to information from open sources. It is determined that all these programs have a high level of secrecy, information on technical details is practically absent. At the heart of almost all programs is a requirement for a low cost per unit compared to a manned aircraft. The “loyal wingman” are tasked with performing various combat missions: detecting and destroying air defense systems, striking ground (surface) targets with high-precision weapons, conducting reconnaissance, and conducting air battles as a known fighter.

Currently, intensive development of data necessary for training artificial intelligence to conduct air battles with the participation of manned aircraft is underway.

INCREASING THE JAMMING RESISTANCE OF UAV CONTROL CHANNELS UNDER CONDITIONS OF NAVIGATION AND TELEMETRY SUPPRESSION

V. Kryvonos¹, Candidate of Technical Sciences; H. Tymchuk²; N. Kasian¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

Modern combat operations are characterized by extensive use of electronic warfare (EW) systems aimed at suppressing satellite navigation, telemetry, and control links of unmanned aerial vehicles (UAVs). Loss or distortion of navigation

data, as well as disruption of the control link, reduces mission effectiveness and increases the risk of UAV loss. The primary threats include jamming of Global Navigation Satellite System (GNSS) signals, navigation spoofing (position falsification), and both energy-based and information-based suppression of control radio channels.

Enhancement of jamming resistance is achieved through a combination of technical and algorithmic measures. First, multi-channel operation and redundancy are employed, including the use of alternative frequency bands, duplicated communication links, and integration of GNSS with an Inertial Navigation System (INS), barometric sensors, and magnetometers.

Second, spectrum-spreading techniques such as Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) and Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) are applied, which increase the energy robustness of the channel and complicate selective jamming.

Third, cryptographic protection is a mandatory component, including encryption of control channels, command authentication, and prevention of unauthorized access or data substitution.

An additional important direction is UAV autonomy, which involves implementing automatic return algorithms, autonomous mission completion, and inertial trajectory correction in the event of communication loss.

ISSUES IN THE APPLICATION OF FUZES IN SMALL-CALIBER MUNITIONS FOR FIRST-CLASS UNMANNED AERIAL VEHICLES

A. Datsenko¹; A. Datsenko²; D. Vazhnyi²; A. Vasko²

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of combat operations during the repulsion of the full-scale military aggression of the Russian Federation against Ukraine has demonstrated a persistent trend toward the large-scale employment of unmanned aerial vehicles (UAVs) of various types by both parties to the conflict. The use of modern UAVs significantly expands the combat capabilities of forces in engaging enemy targets under diverse operational conditions, conducting aerial reconnaissance, adjusting fire, and exercising command and control of subordinate units.

Among the wide variety of UAV types, particular attention is given to Class I UAVs, which perform strike missions primarily against small, often single targets such as personnel, military equipment, and field fortifications directly on the battlefield.

The limited mass and dimensional characteristics of these UAVs as weapon carriers require not only the availability of small-caliber munitions but also appropriate fuzes capable of ensuring reliable initiation of the warhead while meeting all safety requirements, under conditions that differ substantially from standard employment from combat aircraft or helicopters.

The report presents the results of an analysis of the characteristics of aerial munitions employed from Class I UAVs, their technical features, advantages, and limitations, and provides proposals for the possible adaptation of existing fuze types to the conditions of UAV-based employment.

CHALLENGING ISSUES IN THE USE OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN THE STATE SECURITY FRAMEWORK

A. Kudriavtseva¹; U. Zbezhkhovska², Ph.D.

¹National Academy of the Security Service of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the conditions of the full-scale aggression of the Russian Federation against Ukraine, unmanned aerial systems (complexes) (UAS(C)) have become not only an important tool of conducting combat operations, but also a key component of national security. They are actively used for conducting reconnaissance, adjusting fire, engaging targets, controlling territories, logistical support, border guarding, and operational monitoring.

The presence of UAS(C) ensures an advantage in the information space, prompt response to threats, and reduction of risks for personnel and the protection of objects of terrorist encroachments. At the same time, the present day and the fast-moving processes of development and use of UAS(C) put forward new requirements for the systems of their management, legal regulation, technical support, and so on.

Taking into account the current realities, there arises a necessity to study a wide spectrum of issues of the application of UAS(C), related risks and prospects of sustainable deployment of unmanned technologies in the structure of state security at the strategic level, as well as to develop effective methods and intelligent models for UAS(C) application.

The development of scientifically substantiated approaches to the application of UAS(C) in the system of ensuring the state security of Ukraine, taking into account hybrid threats, legal challenges, and the needs of development of the defense-industrial complex, may become a basis for the further effective development of state policy in the sphere of application of unmanned technologies and improvement of legislation and standards of application of UAS(C).

APPLICATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR MONITORING COMBAT MISSION EXECUTION

L. Ivashchuk¹; A. Ivashchuk²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring the execution of combat tasks is highly relevant, as it allows obtaining objective data, increasing the efficiency of unit management, and reducing risks for personnel.

Due to the mobility of UAVs, they can be used to monitor and record the results of target engagement and the actions of military units. Thanks to optical and thermal imaging cameras, UAVs provide the transmission of video and photo information in real time, which makes it possible to objectively confirm the completion of assigned tasks. The obtained data can be used to evaluate the effectiveness of actions and to adjust further operations.

Thus, it is necessary to study the use of UAVs as one of the possible effective means of monitoring the execution of combat tasks. The use of the obtained objective information in the analysis of conducted actions increases the accuracy of evaluating the results of combat task execution and contributes to more effective management of military units.

RESEARCH ON THE ERGONOMIC PROPERTIES OF MODERN SU-27 AIRCRAFT FLIGHT INFORMATION DISPLAY DEVICES AND DIRECTIONS FOR THEIR IMPROVEMENT

Y. Berdnikov¹; R. Vasylenko¹; T. Parashchenko², Ph.D.

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

The Su-27 aircraft flight information display system is an important element of its avionics and determines the effectiveness of aircraft control in difficult flight conditions. At the same time, modern combat conditions for multi-role fighters are characterized by a significant increase in the volume of information. The pilot is forced to simultaneously monitor flight parameters, navigation, weapons, and the tactical situation. A key feature of the Su-27 aircraft is its flight and navigation system, which operates on the “sensor – processing – display” principle.

An ergonomic analysis of the Su-27 cockpit shows that there are major shortcomings, such as fragmented information, a large number of indicators, lack of integrated display, and limited ability to adapt information to flight mode.

To modernize the Su-27 aircraft, it is advisable to use modern multifunctional displays, in particular, promising solutions are MFD-10 (Elbit Systems), and SmartDisplay (Thales Group). In addition, it is advisable to modernize the windshield indicator, ensuring the display of tactical information and prompts.

The expected results of the modernization are a reduction in the pilot's workload, a reduction in the time required to analyze the flight situation, an increase in combat effectiveness, and compliance with modern ergonomic requirements.

APPLICATION OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES FOR ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF KAKHOVKA HYDROELECTRIC POWER STATION STORAGE FACILITY EXPLOSION

K. Vasytskyi¹; S. Andrieiev², Ph.D.; S. Velychko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”

The environmental consequences of the explosion of the Kakhovka hydroelectric power station (HPS) and the impact of the disaster on the ecosystem of the Kakhovka reservoir are investigated. The methods of remote sensing, geoinformation technologies and geostatistical analysis were used to assess changes in the water mirror, the degree of water pollution and changes in the adjacent ecosystems.

The analysis of Sentinel-2 L2A and OPERA Sentinel-1 RTC satellite data allowed us to perform a retrospective study of changes in the water mirror of the Kakhovka Reservoir and assess the extent of environmental damage. Based on the data obtained, mapping models were created to demonstrate the level of water pollution and the impact on flora and fauna.

A methodology for an integrated water quality assessment has been developed that allows for a comprehensive analysis of the consequences of the disaster. In addition, recommendations for restoring the ecosystem of the Kakhovka Reservoir

were formulated, and the main areas of action to minimise the negative effects of the disaster at different time intervals were identified.

The obtained results confirm the effectiveness of the use of geographic information technologies in monitoring environmental disasters and making decisions on environmental restoration.

ПСИХОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТА РИЗИКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОКУЛЯРІВ НІЧНОГО БАЧЕННЯ

*В.В. Коломієць¹; Є.О. Поронос¹;
Т.В. Паращенко¹, д.філос.; В.І. Чистов², д.філос.*

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Виконання нічних польотів із застосуванням окулярів нічного бачення (далі – ОНБ) докорінно змінює структуру професійної діяльності льотного екіпажу, створюючи специфічне інформаційне та психофізіологічне навантаження. Основним чинником впливу є значне обмеження поля зору 40 градусів, що спричиняє “тунельний ефект” і позбавляє екіпаж периферійного сприйняття. Це змушує пілота здійснювати частіші рухи головою для огляду простору, що в поєднанні з вагою ОНБ та протитяги призводить до швидкої втоми і дискомфорту.

Психологічна напруга зростає через інформаційну нееквівалентність зображення в ОНБ порівняно з денним зором: картинка є дискретною, мерехтливою та менш контрастною, що викликає помилки у визначенні висоти та дальності до об’єктів орієнтовно на 10–40 %. Постійна потреба переключати увагу між закабінним простором через окуляри та приладовою дошкою неозброєним оком веде до когнітивного виснаження та зростання нервово-емоційної напруги, особливо на гранично малих висотах. Критичним ризиком є виникнення просторової ілюзії, втрати орієнтиру на висінні або хибного відчуття руху через коливання рослинності від гвинта, що може тривати до 30 секунд і провокувати стресові стани.

Тривале спостереження через ОНБ також спричиняє астенію та “синдром сухого ока” через зниження частоти кліпання. Для мінімізації негативного впливу на психіку та здоров’я льотного екіпажу необхідна суворо регламентація часу польотів з використанням ОНБ (не більше 2 годин за виліт), спеціальна психологічна підготовка та регулярний медичний контроль стану здоров’я.

THE OPERATIONAL ROLE OF UAVs IN CONTEMPORARY CONFLICT

R. Akhundov¹; E. Hashimov^{1,2}

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

This study examines the expanding role of unmanned aerial vehicles (UAVs) in contemporary armed conflict through the empirical lens of the Russia–Ukraine war, emphasizing how UAV-enabled sensing, targeting, and strike functions reshape battlefield dynamics and operational decision cycles. The conflict is treated as a

defining case of technology-driven adaptation in which drones have become central not only to reconnaissance and fire correction, but also to precision strike, close-combat engagement, and the rapid diffusion of countermeasures. The article aims to systematize the main UAV categories observed in the conflict, clarify the mechanisms through which they generate tactical effects, and outline plausible directions for future development based on observed operational trends.

The analysis groups UAVs into four functional classes. First, reconnaissance UAVs provide persistent surveillance, near-real-time situational awareness, target detection, and artillery fire adjustment. Their operational value derives from shortening the observe–orient–decide–act cycle by improving the timeliness, accuracy, and continuity of information, which in turn increases the probability of effective engagement while reducing uncertainty for maneuver and fire support elements. Second, strike UAVs are employed for precision attacks against high-value targets, including command and control nodes, air defense components, logistics assets, and critical infrastructure. These platforms contribute to cost-effective standoff effects and enable selective targeting that can alter the local balance of forces without the risks and resource demands associated with manned aviation. Third, loitering munitions and kamikaze-type drones integrate search, identification, and strike within a single mission profile, facilitating rapid engagement under contested air conditions and reducing exposure time to defensive fires. Their combination of persistence and terminal precision supports opportunistic targeting and the exploitation of short-lived windows of vulnerability. Fourth, modified commercial UAVs, widely represented by small quadcopters, have been repurposed for frontline reconnaissance, short-range payload delivery, and improvised strike tasks. Their low cost, accessibility, and rapid replacement rate enable mass employment, frequent tactical experimentation, and the creation of localized effects even under intense attrition.

A principal finding is that the decisive impact of UAVs is determined less by isolated platform specifications and more by the speed and reliability of the integrated kill chain that links sensing to decision-making and fires. By enabling continuous target acquisition and battle damage assessment, UAVs enhance artillery accuracy, increase pressure on armored units and field fortifications, and partially substitute for manned aviation in high-risk environments. At the same time, the wide adoption of drones has accelerated the deployment of electronic warfare (EW) systems, specialized air defense adaptations, and dedicated counter-UAV technologies. This competitive interaction creates a dynamic equilibrium between UAV effectiveness and the saturation capacity and responsiveness of countermeasures, including jamming, spoofing, detection, and kinetic interception.

Looking forward, the evolution of drone warfare is expected to involve higher degrees of autonomy, artificial intelligence-supported target recognition and mission management, coordinated swarm tactics, greater EW resilience through diversified communications and navigation methods, and continued militarization of commercial platforms. Overall, the Russia–Ukraine war demonstrates that UAVs have become a pivotal driver of modern military strategy, requiring doctrinal updates, training reforms, and integrated counter-UAV architectures to manage emerging operational risks and opportunities.

References

1. Hasanov A.H. et al. Hybrid GIS-UAV framework for revealing concealed objects in mountainous landscapes. In *Current directions of development of*

information and communication technologies and control tools. 2025, Volume 4: sections 6. p. 60.

2. Dergachov, K. et.al. Adaptive algorithm for visual positioning of UAVs in the local environment / CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol.3981. P.103-114.

3. İsmayil, İsmayil et al. Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. Collection of Scientific Papers “SCIENTIA”, (October 3, 2025; Berlin), 107–115.

4. Hashimov E. G. The flight dynamics of drones //National security and military sciences. – 2016. – Т. 2. – №. 3. – С. 11-16.

5. Muradov S.A. et al. Determining the location of the UAV equipped with a homing device based on radio beacons // Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – № 6. – С. 54-56.

6. Hashimov E. G. et al. About some aspects of using a flock of UAVS // Ін Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. – 2023. – Т. 1. – С. 4-5.

7. Hashimov E. et al. Mathematical aspects of determining the motion parameters of a target by UAV //Advanced Information Systems. – 2023. – Т. 7. – № 1. – С. 18-22.

8. Hashimov E. G. About one method of navigation task solution // AHMC after H. Aliyev. Scientific Review. – 2013. – Т. 1. – №. 20. – С. 45-49.

9. Bayramov A. A. et al. Unmanned aerial vehicle applications for military GIS task solutions // Automated systems in the aviation and aerospace industries. – IGI Global Scientific Publishing, 2019. – С. 273-296.

10. Nasibov Y. A. et al. Modelling of the rationally deployment of observing systems //Сучасні інформаційні системи. – 2019. – № 3, № 2. – С. 10-13.

11. Hashimov E. G. et al. Development of the multirotor unmanned aerial vehicle // National security and military sciences. – 2017. – Т. 3. – № 4. – С. 21-31.

UAV APPLICATIONS AND OPERATIONAL CONSTRAINTS: A SYSTEMATIC REVIEW

A. Hasanov¹; E. Hashimov^{1,2}; E. Sabziev³

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;

³Institute of Mathematics, Baku, Azerbaijan

This systematic review synthesizes current knowledge on unmanned aerial vehicle (UAV) applications and the operational constraints that shape their effectiveness across military, security, and emergency response contexts. The review addresses a central problem in contemporary UAV employment: performance gains achieved through rapid platform proliferation are increasingly bounded by constraints related to sensing, communications, autonomy, survivability, regulation, and sustainment. The objective is to map dominant application domains, identify recurring constraint patterns, and consolidate mitigation approaches that appear consistently across empirical studies, operational reports, and technical evaluations.

The review organizes UAV applications into four recurrent clusters. The first cluster is intelligence, surveillance, and reconnaissance, including real time monitoring, target detection, and situational awareness in complex terrain. The second cluster is precision support tasks, such as fire correction, target designation,

and time critical strike support, including loitering effects in contested environments. The third cluster is protection and security missions, including border monitoring, facility security, and convoy route assessment. The fourth cluster is civil protection and disaster response, where UAVs support rapid mapping, search and rescue cueing, infrastructure assessment, and logistics in disrupted areas. Across these clusters, UAV value is consistently linked to shortened decision cycles, improved spatial resolution, and flexible deployment compared to manned alternatives.

Operational constraints are synthesized into six categories. First, sensing constraints include limited performance under clutter, camouflage, low contrast backgrounds, adverse weather, and illumination variability, as well as challenges in multi-sensor calibration and georeferencing. Second, communications and navigation constraints involve bandwidth limits, latency, intermittent links, contested electromagnetic environments, and vulnerabilities to jamming and spoofing, which can degrade mission continuity and reduce confidence in target localization. Third, autonomy and human machine teaming constraints arise from limited onboard computing, reliability of perception and tracking algorithms, explainability requirements, and workload tradeoffs between automation and operator control. Fourth, survivability constraints reflect exposure to air defenses, counter-UAV systems, signature management limits, and the attrition economics of expendable versus reusable platforms. Fifth, logistics and sustainment constraints include battery endurance, payload weight tradeoffs, maintenance complexity, spare parts availability, and training requirements for operators and analysts. Sixth, regulatory and ethical constraints affect airspace access, data governance, privacy, and rules of engagement, with direct implications for cross-domain interoperability and scalability.

Mitigation strategies are summarized in three layers. At the platform layer, improvements include energy management, modular payloads, redundancy, and low-cost manufacturing for high attrition environments. At the systems layer, multi-sensor fusion, edge processing, and resilient communications architectures increase robustness, while mission planning tools reduce exposure and optimize coverage. At the decision layer, data driven analytics and artificial intelligence support detection, classification, and prioritization, but require rigorous validation, domain adaptation methods, and safeguards against deception. The review concludes that UAV effectiveness is best understood as a systems property that emerges from platform capability, network resilience, operator proficiency, and operational governance. Future research should prioritize standardized evaluation protocols, uncertainty quantification for detection outputs, resilience in electronically contested environments, and scalable approaches for coordinated multi-UAV operations.

References

1. Dergachov, K. et.al. Adaptive algorithm for visual positioning of UAVs in the local environment / *CEUR Workshop Proceedings*. 2025. Vol. 3981. P. 103-114.
2. Hasanov A.H. et al. Hybrid GIS-UAV framework for revealing concealed objects in mountainous landscapes. In *Current directions of development of information and communication technologies and control tools*. 2025, Volume 4: sections 6. p. 60.
3. Hashimov E. G. About one method of navigation task solution // *AHMC after H. Aliyev. Scientific Review*. – 2013. – T. 1. – № 20. – С. 45-49.

4. İsmayil, İsmayil et al. Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. Collection of Scientific Papers “SCIENTIA”, (October 3, 2025; Berlin), 107–115.

5. Hashimov E. G. The flight dynamics of drones //National security and military sciences. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 11-16.

6. Muradov S.A. et al. Determining the location of the UAV equipped with a homing device based on radio beacons // Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – № 6. – С. 54-56.

7. Hashimov E.G. et al. About some aspects of using a flock of UAVS. In Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. 2023. Т.1. с. 4-5.

8. Bayramov A. A., Hashimov E. G. Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain // Defence Science Journal. – 2018. – Т. 68. – № 4. – С. 343-346.

9. Bayramov A. A. et al. Unmanned aerial vehicle applications for military GIS task solutions //Automated systems in the aviation and aerospace industries. – IGI Global Scientific Publishing, 2019. – С. 273-296.

10. Nasibov Y. A. et al. Modelling of the rationally deployment of observing systems // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – № 3, № 2. – С. 10-13.

РАДАР БЛИЖНЬОЇ ДІЇ НА БАЗІ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ FMCW СЕНСОРІВ

*А.Д. Єгоров¹, к.ф.-м.н.; В.А. Єгоров¹, к.ф.-м.н.; С.А. Єгоров², Ph.D.;
Ю.Ф. Логвінов¹, д.ф.-м.н.*

*¹Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Розглянуто можливість створення радару ближньої дії на базі цивільних радіолокаційних датчиків діапазону 24 ГГц для систем виявлення, попередження, цілевказання та наведення БПЛА. Актуальність роботи зумовлена суттєвим зниженням вартості безпілотних засобів ураження порівняно з традиційними засобами ППО та потребою у масштабованих недорогих системах спостереження та наведення.

Більшість комерційних 24-ГГц сенсорів працюють за принципом лінійної частотної модуляції неперервного випромінювання (FMCW), що забезпечує вимірювання дальності без “мертвої зони” та дозволяє контролювати відстані починаючи від десятків сантиметрів. Елементна база таких систем широко представлена на ринку, зокрема мікросхемами ADF5901, ADF5904, BGT24ATR12, BGT24ATR22, RC2412, ICL1122.

Розрахунки показують, що для типової ефективної площі розсіювання БПЛА $\sigma \approx 0,01$ м² та потужності мікросхем передавача <10 dBm дальність виявлення обмежується десятками метрів. Підвищення дальності можливе шляхом застосування підсилювачів потужності, та оптимізації передавальної та приймальної антенної системи з урахуванням динамічного діапазону, фазового шуму й когерентної інтеграції FMCW сигналу.

ЦИФРОВА ФАЗОВАНА АНТЕННА РЕШІТКА НА БАЗІ SDR

А.Д. Єгоров¹, к.ф.-м.н.; В.А. Єгоров¹, к.ф.-м.н.; С.А. Єгоров², Ph.D.;

Ю.Ф. Логвінов¹, д.ф.-м.н.

¹Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Розглянуто підхід до побудови цифрової антенної решітки на базі SDR-платформи з метою здешевлення сучасних систем виявлення та цілевказання. Актуальність роботи зумовлена високою вартістю традиційних радіолокаційних засобів і потребою у масштабованих програмно-керованих рішеннях.

Як базовий елемент запропоновано використання SDR-трансверса AD9361, що забезпечує повнодуплексну роботу двох передавальних і двох приймальних каналів у діапазоні 70 МГц – 6 ГГц із смугою обробки до 56 МГц. Мікросхема поєднується з програмованою логічною матрицею (FPGA), яка виконує функції цифрового формування променя, синхронізації, фільтрації та первинної обробки сигналів.

Запропоновано структуру елемента фазованої антенної решітки з конфігурацією 2TX/2RX, що може масштабуватися шляхом каскадування декількох модулів. Апаратні засоби синхронізації дозволяють забезпечити когерентну роботу багатьох елементів, формування діаграми спрямованості та реалізацію режимів активної й пасивної радіолокації.

Невисока вартість плат SDR трансверсів у поєднанні з програмною гнучкістю відкриває можливість створення адаптивних багатоканальних систем із цифровим формуванням променя та динамічним керуванням параметрами сигналу.

THEORETICAL LIMITS OF COMPACT INTERFEROMETRIC RADAR IN UAV TERRAIN NAVIGATION

A. Shcherba, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Myachykov; R. Atamas

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

The primary limitation of compact interferometric radar arises from restricted antenna baseline length. Small UAV platforms physically constrain antenna separation, reducing height sensitivity and increasing susceptibility to phase ambiguity. This geometric limitation directly impacts elevation estimation accuracy.

Signal-to-noise ratio (SNR) represents a second fundamental bound. Limited transmit power and small antenna apertures prevent compact systems from achieving high phase precision under all operating conditions. Even with advanced signal processing, phase estimation accuracy cannot exceed limits imposed by noise statistics.

Platform dynamics further constrain performance. UAV vibrations, rapid maneuvers, and attitude instability introduce phase decorrelation and coherence loss. In highly dynamic scenarios, motion-induced errors may dominate the error budget.

Bandwidth and spectral constraints limit range resolution and terrain feature discrimination, reducing robustness in complex or low-coherence environments such as vegetation or rough terrain.

These factors create unavoidable trade-offs between miniaturization and accuracy. While sub-meter altitude precision is theoretically achievable under favorable conditions, performance degrades significantly in low-SNR or high-dynamic regimes.

Theoretical analysis demonstrates that compact interferometric radar performance is fundamentally bounded by baseline geometry, noise limits, and platform stability. These constraints must be considered at the system design stage. Robust UAV terrain navigation therefore requires sensor fusion approaches combining radar, inertial systems, and terrain databases to approach theoretical performance limits.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ РАДІОПЕРЕШКОДИ РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ГОЛОВЦІ САМОНАВЕДЕННЯ

В.О. Дяченко

Національний університет оборони України

Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у сучасних збройних конфліктах супроводжується високими ризиками знищення з боку керованих засобів ураження (КЗУ) класів “повітря-повітря” та “поверхня-повітря”, оснащених радіолокаційними головками самонаведення (РГСН). Забезпечення живучості БПЛА в таких умовах вимагає впровадження ефективних систем активного захисту, зокрема засобів радіоелектронного подавлення (РЕП). Водночас традиційні методи РЕП характеризуються фіксованими налаштуваннями параметрів радіоперешкод і, як наслідок, обмеженою адаптивністю до змін параметрів зондуючих сигналів, що знижує ефективність впливу на РГСН.

Сучасні засоби протидії КЗУ класу “повітря-повітря” та “поверхня-повітря” з РГСН потребують постійного вдосконалення в умовах стрімкого розвитку адаптивних систем наведення КЗУ противника. Існуючі методи РЕП ґрунтуються на застосуванні запрограмованих сигналів радіоперешкод, що істотно обмежує їхню ефективність щодо сучасних типів КЗУ, які використовують адаптивні алгоритми обробки та розпізнавання сигналів радіоперешкод.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності РЕП РГСН КЗУ є удосконалення методики вибору параметрів сигналу радіоперешкоди шляхом впровадження нечіткої системи Такагі-Сугено. Такий підхід забезпечує можливість динамічного налаштування параметрів сигналу радіоперешкоди залежно від параметрів зондувального сигналу виявленої РГСН.

ВИМОГИ ДО БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ДЕРЖАВИ

П.В. Оріховський; М.М. Наконечний

Національний університет оборони України

Проведений аналіз локальних війн та збройних конфліктів сучасності показує, що провідна роль у них відводиться угрупованням повітряного нападу, які здатні вирішувати, як оперативні так і стратегічні завдання.

Враховуючи ці обставини, проблема протиповітряної оборони (ППО) держави (військ та критичних об'єктів) набуває ще більшої актуальності та масштабується до державного рівня.

Безпілотні системи стають невід'ємною частиною сучасної протиповітряної оборони. Вони дозволяють ефективно вирішувати завдання виявлення, розпізнавання та знищення повітряних загроз, знижуючи при цьому ризики для особового складу. Вимоги до таких систем включають надійність, автономність, високі оперативні характеристики та здатність інтегруватися в єдину систему ППО. З розвитком технологій безпілотні системи ставатимуть дедалі ефективнішими

Авторами окреслено ряд технічних, операційних, тактичних та бойових вимог до безпілотних систем, які залучаються до виконання завдань ППО, а саме:

- дальність польоту та тактичний радіус;
- висота польоту;
- стійкість до радіоелектронних перешкод;
- засоби керування та навігації;
- мобільність і швидкість;
- автономність;
- можливість інтеграції з іншими системами ППО;
- здатність до виявлення, розпізнавання загроз та їх усунення;
- забезпечення безпеки операторів та мінімізація людських втрат.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО ЗАСТОСУВАННЯ СЕЙСМІЧНИХ МІН У СТРУКТУРІ ОЗБРОЄННЯ БпАК

С.О. Кібіткін, к.т.н.

Національна академія Служби безпеки України

Сучасні бойові дії характеризуються високою динамікою, маневреністю підрозділів та широким застосуванням безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). Одним із перспективних напрямів розвитку їх озброєння є інтеграція інженерних боєприпасів, зокрема сейсмічних мін, що реагують на вібраційні коливання ґрунту. Такий підхід поєднує можливість дистанційного мінування з технологічною мобільністю безпілотних платформ.

Сейсмічні міни як тип боєприпасів призначені для ураження живої сили або техніки противника на основі фіксації характерних коливань поверхні, що виникають під час руху. Використання БпАК для їх доставки забезпечує низку оперативних переваг: зменшення ризику для особового складу, прихованість встановлення, оперативність зміни районів застосування та можливість точкового мінування в складних або важкодоступних умовах.

Інтеграція такого озброєння в систему БпАК потребує комплексного підходу. Важливими аспектами є сумісність із масо-габаритними характеристиками платформи, вплив на аеродинаміку та енергетичний баланс, а також можливість безпечного транспортування й скидання.

Отже, з оперативної точки зору, застосування сейсмічних мін у складі БпАК може виконувати функції стримування, блокування маршрутів пересування противника, прикриття флангів або обмеження маневру бронетехніки. Особливої актуальності це набуває в умовах асиметричних дій, де важливо створювати тимчасові зони дистанційного контролю територій без значного залучення ресурсів.

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ОБРОБКИ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ КАМЕР У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

В.О. Грунович

Національна академія Служби безпеки України

В умовах бойового застосування безпілотного літального апарата (далі – БпЛА) накопичується великий обсяг відеоданих. Передача потоку на наземний пункт управління ускладнена через обмежену пропускну здатність каналів зв'язку. Затримка обробки інформації призводить до сповільненого прийняття рішень. Для ефективного контролю та швидкого реагування необхідні методи обробки даних безпосередньо на борту апарата.

З огляду на зазначене, метою роботи є визначити апаратні та алгоритмічні вимоги до бортових систем обробки зображень на основі нейромереж, що забезпечують розпізнавання об'єктів у реальному часі при обмежених обчислювальних ресурсах.

Для досягнення поставленої мети на борту БпЛА використовують нейронний процесор (NPU) для швидкої роботи нейромереж. Оптиміальні моделі – однопрохідні YOLO і MobileNet. Вони знаходять об'єкти за одну ітерацію. Для зменшення навантаження на нейронний процесор і зниження енергоспоживання застосовують квантизацію до формату INT8 (процес зменшення точності представлення вагових коефіцієнтів нейромережі), а також “pruning” – метод структурної оптимізації моделі шляхом видалення надлишкових зв'язків нейромережі. Архітектура передбачає паралельну обробку потоків з асинхронним AI-модулем для одночасного трекінгу кількох об'єктів. Результати у вигляді координат, класу та ідентифікатора інтегрують у загальну мережу обміну даними.

Отже, використання нейромереж на борту БпЛА забезпечує автономне розпізнавання об'єктів у реальному часі з мінімальним навантаженням на канали зв'язку. Перспективними напрямками подальших досліджень є адаптація моделей до умов обмеженої видимості, змін освітлення та дії завад.

КОМПЛЕКС ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ У ВИСОТНИХ ПОЛЬОТАХ

С.В. Рудаков, к.т.н., доц.; О.В. Миргород, к.т.н., доц.;

О.В. Пирогов, к.т.н., доц.

Національний університет цивільного захисту України

Аналіз статистичних даних щодо виникнення надзвичайних ситуацій (НС) на військових повітряних суднах свідчить про необхідність розробки засобів забезпечення безпеки членів екіпажу повітряних судів при виникненні нештатних ситуацій. Такими комплексами є: комплекс технічних засобів колективного інформування пілотів про величини граничного резервного часу збереження свідомості при надзвичайних ситуаціях в висотних польотах та комплекс технічних засобів індивідуального інформування пілотів повітряних судів в НС висотних польотів на основі кисневих масок [1]. Наведені результати досліджень та розробок в авіаційній галузі, які дозволили виявити деякі розбіжності між можливостями інформування членів екіпажу літаків при виникненні НС висотного польоту та відсутністю комплексу технічних

засобів, які дозволяють реалізувати таке інформування. Для усунення таких розбіжностей розглянуто математичний підхід до синтезу інтегральних показників небезпеки надзвичайних ситуацій висотного польоту. Це дозволило обґрунтувати необхідність розвитку технологій моніторингу обстановки у салоні повітряного судна для своєчасного розпізнавання потенційно небезпечних ситуацій, обумовлених зниженням барометричний тиску.

Література

1. Рудаков С.В., Пирогов О.В., Петухова О.А., Миргород Л.В. Реалізація безпеки пасажирів при порушенні герметичності салону літака у висотних польотах. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2024. № 2(40). Харків: НУЦЗУ, 2024. С. 218-234.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ БпАК ДЛЯ ХОРОНИ ТА ЗАХИСТУ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ В УМОВАХ СУЧАСНИХ

А.О. Римаришина; А.І. Мостовий, д.філос.

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Використання БпАК є одним із ключових напрямів модернізації охорони державного кордону. Вони дозволяють організувати ефективний дистанційний моніторинг та значно знизити ризики для життя особового складу в умовах сучасних загроз. У структурі ДПСУ БпАК найбільш доцільно застосовувати для повітряної розвідки, своєчасного виявлення диверсійно-розвідувальних груп (ДРГ), супроводу оперативно-розшукових заходів, спостереження за важкодоступними та віддаленими ділянками кордону. Компактні малорозмірні системи вирізняються високою мобільністю та швидкістю розгортання, малою помітністю для візуального виявлення, ефективною роботою вночі завдяки тепловізійним камерам. Найсерйозніша загроза – це вразливість каналів керування та навігації до ворожих засобів РЕБ. Тому критично важливо впроваджувати стійкі до перешкод канали зв'язку, алгоритми автономного польоту, незалежні від супутникової навігації. Рівень ефективності охорони кордону прямо залежить від якості підготовки особового складу та від того, наскільки глибоко сучасні безпілотні технології інтегровані в загальну систему безпеки. Подальший розвиток БпАК має ґрунтуватися на трьох основних принципах: максимальній автономності, стійкості до радіоелектронних перешкод та швидкому обміні даними в реальному часі.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК ЧАСТОТ НА ЯКІСТЬ ЗВ'ЯЗКУ З БПЛА

*О.Л. Сидорчук, к.т.н., доц.; В.Й. Залевський; В.Т. Карпукін
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Радіочастотні гармоніки сигналів мають суттєвий вплив на якість зв'язку в FPV безпілотних літальних апаратах (БПЛА). Це можуть бути внутрішні перехресні завади, що спричинені гармоніками, що виникають у цифро-аналогових перетворювачах і спричиняють завади між передавачами або приймачем і передавачем у складі БПЛА. Також деякі підсилювачі потужності у складі FPV-дрона здатні генерувати небажані гармоніки, що призводить до

розширення спектру сигналу у каналі передачі даних та спричиняють зростання рівня помилок.

Для усунення такого впливу у доповіді проаналізовано відомі методи, що зазвичай використовують для боротьби з негативним впливом радіочастотних гармонік на якість зв'язку:

компенсація нелінійності підсилювачів, шляхом цифрового попереднього спотворення сигналу для їх лінеаризації;

розширення спектру, шляхом застосовування спеціальної технології динамічної зміни робочої частоти з метою уникнення ділянок з високим рівнем шумів;

підключення зовнішніх фільтрів для очищення сигналу керування, шляхом використання порожнистих та смугових фільтрів;

екранування окремих елементів від високочастотних складових, шляхом їх фізичного розділення для запобігання внутрішнім наведенням струмів тощо.

У доповіді запропоновано додатковий, удосконалений метод боротьби з негативним впливом радіочастотних гармонік на якість зв'язку. Це застосування спеціальної удосконаленої таблиці частот радіокерування від 1080 до 5945 МГц, які найменше впливають на канали відео-передачі.

За даною удосконаленою таблицею під час підбору конфігурації радіозв'язку можна обрати найбільш оптимальну частоту радіокерування і використовувати її в першу чергу. Це дозволить покращити електромагнітну сумісність, підвищити чутливість приймача, знизити коефіцієнт похибки та покращити якість зв'язку з БПЛА.

ВДОСКОНАЛЕННЯ АУТОНОМНОГО ДОНАВЕДЕННЯ ПО ОПТИЧНОМУ КАНАЛУ ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ПЕРЕХОПЛЮВАЧІВ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ

Ю.А. Мирончук, к.т.н., доц.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

В умовах війни безпілотних систем для боротьби з ударними та розвідувальними безпілотними літальними апаратами дальньої дії противника повинні застосовуватись безпілотні перехоплювачі повітряних цілей, вартість виробництва та застосування яких значно менша у порівнянні із зенітно-ракетним озброєнням та пілотованими перехоплювачами. Застосування безпілотних перехоплювачів повинне бути організоване у складі єдиної системи протиповітряної оборони. Виявлення повітряних цілей та наведення перехоплювачів на ціль повинні здійснюватися засобами системи протиповітряної оборони.

Процес атаки цілі повинен здійснюватися безпілотним перехоплювачем автономно, під керуванням бортового модулю автоматичного донаведення. Для реалізації обчислювальних алгоритмів перехоплення повітряної цілі модуль автоматичного донаведення безпілотного перехоплювача повинен отримувати у режимі реального часу інформацію про відстань до цілі, курс цілі, швидкість цілі. Малі розміри і маса безпілотних перехоплювачів 1-го класу не дозволяють розмістити на їх борту радіолокаційне обладнання. Тому для таких перехоплювачів єдино доступним бортовим засобом для визначення поточних параметрів руху цілі є оптико-електронні системи.

Для можливості перехоплення методом паралельного зближення оптико-електронна система перехоплювача повинна бути поворотною по осях

рискування і тангажу. За результатами стислого огляду відомих методів визначення відстані до цілі за допомогою бінокулярних та монокулярних оптико-електронних систем сформовано перелік вимог щодо технічних рішень, внесення яких до конструкцій бортових оптико-електронних систем підвищує точність визначення відстані до цілі. Розглянуто принципи побудови траєкторії цілі відносно траєкторії перехоплювача на основі даних від бортової оптико-електронної системи перехоплювача, без застосування бортових інерціальних та супутникових навігаційних систем. Розглянуто принципи розрахунку маневру перехоплення, в тому числі цілей які маневрують, на основі поточної інформації від бортової оптико-електронної системи.

МЕТОД УСУНЕННЯ СПІЛЬНИХ НЕОДНОЗНАЧНОСТЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ КУТОВИХ КООРДИНАТ ЦІЛЕЙ ТА ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ В БОРТОВИХ РЛС БО

*Н.М. Карацук, к.т.н., доц.; В.В. Казакова
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Неоднозначність у визначенні кутових координат цілей, а також неоднозначність у визначенні дальності до цілі (якщо апріорно не відома висота польоту літального апарату) можуть існувати при використанні методу синтезування апертури антени бортової радіолокаційної станції бокового огляду (РЛС БО).

Заходи по усуненню вказаних неоднозначностей або недостатньо ефективні, або на практиці зустрічають труднощі.

Запропоновано та розглядається більш доцільний метод усунення спільної неоднозначності визначення кутових координат і координат з дальності бортовою РЛС БО. Він полягає у збільшенні частоти повторення зондувальних сигналів до величини, при якій невизначеність зникає.

Виводиться умова для вибору частоти повторення зондувальних сигналів для усунення спільних неоднозначностей. При врахуванні спрямованих властивостей реальної антени частота повторення зондувальних сигналів повинна бути не менше спектра доплерівських частот. Наводяться геометричні співвідношення для визначення умови усунення неоднозначності з дальності, які враховують ширину діаграми спрямованості реальної антени у вертикальній площині, нахил антени РЛС БО відносно надиру, смугу огляду земної поверхні.

При виникненні протиріч в умові можна знайти компроміс шляхом зміни ширини діаграми спрямованості реальної антени у вертикальній площині.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ЕЛМ- НЕЙРОМЕРЕЖІ В ЗАДАЧАХ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ БПЛА

*М.О. Гуменюк, к.т.н., доц.; С.П. Оверчук; Р.В. Розаль
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

В умовах автономного застосування БПЛА за наявності радіоелектронного подавлення або відсутності сигналів супутникової навігації істотно підвищуються вимоги до точності інерціально-навігаційної системи (ІНС). Використання MEMS-датчиків зумовлює накопичення похибок швидкості та

координат, що зростають у часі та призводять до значних відхилень у визначенні просторового положення БпЛА.

Базове оцінювання навігаційних параметрів здійснюється із застосуванням розширеного фільтра Калмана, однак в умовах відсутності GNSS-корекції його можливості щодо компенсації нелінійного дрейфу ІНС є обмеженими. Для підвищення точності запропонована нейромережева модель NARX з реалізацією нелінійної регресії на основі Extreme Learning Machine (ELM), що характеризується високою обчислювальною ефективністю та придатністю до роботи в реальному часі.

Ключовим параметром ELM-нейромережі є кількість нейронів прихованого шару, яка визначає апроксимаційні можливості моделі та її обчислювальну складність. Експерименти проводилися в середовищі Matlab/Simulink з використанням імітаційної моделі ІНС БпЛА. За незмінної структури моделі варіювалась лише кількість нейронів прихованого шару, а ефективність оцінювалась за точністю прогнозування похибок у режимі відсутності GNSS-корекції.

Результати експериментів показали, що застосування 100 нейронів у прихованому шарі ELM забезпечує раціональний компроміс між точністю компенсації інерціальних похибок та обчислювальною складністю алгоритму та може бути рекомендоване для практичного використання в автономних навігаційних підсистемах БпЛА.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СКРИТНОСТІ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ БПЛА

*А.М. Токар, к.т.н., ст.д.; І.В. Кухарчук; Д.О. Серветник
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Масове застосування БпЛА у російсько-українській війні підтвердило їхню високу ефективність, однак на тактичному рівні залишається актуальною проблема надійної ідентифікації власних апаратів для запобігання дружньому вогню.

Переважаюча більшість сучасних систем ідентифікації БпЛА I класу реалізується через радіоканал із використанням методів модуляції, завадостійкого кодування та криптографічного захисту. Криптографія забезпечує конфіденційність, а кодування – перешкодостійкість, проте вони не усувають можливості виявлення самого факту випромінювання. Тому, поряд із перешкодостійкістю важливого значення набуває розвідзахищеність, зокрема її енергетична складова.

Енергетична скритність визначає ймовірність детектування сигналу за енергетичним критерієм. Оскільки метод модуляції формує спектральну структуру та розподіл енергії сигналу, саме він впливає на спектральну цільність потужності й, відповідно, на його помітність.

У доповіді наводяться результати порівняльного оцінювання енергетичної скритності методів Amplitude Shift Keying (ASK), Phase Shift Keying (PSK), Frequency Shift Keying (FSK), Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) та Chaos Shift Keying (CSK) за однакових умов передавання. Показано, що зменшення спектральної цільності потужності за рахунок розширення смуги та збільшення бази сигналу знижує ймовірність

енергетичного виявлення. За прийнятих умов найвищу скритність продемонстрував CSK, тоді як ASK і PSK залишаються найбільш помітними.

Отримані результати дозволяють обґрунтувати доцільність застосування широкосмугових методів модуляції в системах ідентифікації БПЛА I класу.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ТАКТИЧНИХ БПАК ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПОВІТРЯНИХ РЕТРАНСЛЯТОРІВ

Д.А. Рибчинський

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Одним із шляхів підвищення ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів (БПАК) є формування топології мережі БПЛА-ретрансляторів та методу частотного розподілу сигналів управління телеметрії комплексу.

Формування топології мережі ретрансляторів на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) здійснюється для забезпечення стійкого та ефективного зв'язку в умовах складного рельєфу місцевості, великих відстаней і активної радіоелектронної протидії противником. Використання такого підходу дозволить значно збільшити значення бойового радіуса порівняно з тактико-технічними характеристиками комплексу.

За умови успішного подавлення частот управління БПЛА противником, виконується реконфігурація мережі зв'язку "БПЛА – ретранслятор – наземна станція управління" з використанням відомих алгоритмів та протоколів маршрутизації. В такому разі переналаштування здійснюється до найближчого за відстанню до розвідувального БПАК та енергетично доступним БПЛА-ретранслятором з каналом зв'язку на відповідній частоті.

Запропонований підхід дозволить мінімізувати потужність сигналів, зменшити енергоспоживання БПЛА-ретранслятора та розвідувального БПАК.

Таким чином, використання даного підходу дозволить значно збільшити значення бойового радіуса в порівнянні з тактико-технічними характеристиками комплексу, а також значно підвищить живучість комплексів в ході ведення розвідувальних операцій.

ГІБРИДНА СЕНСОРНА СИСТЕМА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ УДАРНО-РОЗВІДУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Т.Ф. Шмельова, д.т.н.; С.А. Сімченко

Національний університет "Київський авіаційний інститут"

FPV-дрони стали одним із головних засобів знищення БПЛА в сучасному конфлікті. Часовий дефіцит при атаці унеможливує реакцію оператора, тому розробка автономних бортових систем захисту є нагальною задачею.

Запропонована система поєднує акустичний сенсор та мультисекторний лазерний далекомір. Акустичний канал працює безперервно, забезпечує виявлення та первинне пеленгування загрози на дистанції до 150 м незалежно від умов видимості. Лазерний далекомір – щонайменше чотири модулі, рознесені по азимуту, – забезпечує кругове покриття навколо БПЛА. При виявленні загрози акустичною підсистемою в роботу автоматично вступає той

модуль, у секторі якого знаходиться ціль. Лазер забезпечує точне вимірювання дистанції, проте втрачає ефективність при поганій видимості. В таких умовах система працює виключно в акустичному режимі з розрахунковим визначенням дистанції.

При досягненні загрозою порогової дистанції обчислювач автономно формує команду ухилення і передає її на автопілот через відповідний протокол з вищим пріоритетом, ніж команди оператора.

Гібридна архітектура дозволяє ефективно протидіяти FPV-загрозам у широкому діапазоні умов застосування. Автономність системи виключає людський фактор із найбільш критичного за часом етапу реакції, забезпечуючи характеристики маневру ухилення, недосяжні при ручному керуванні. Впровадження подібних рішень у склад ударно-розвідувальних комплексів здатне суттєво підвищити їх живучість на полі бою і, як наслідок, ефективність виконання бойових завдань.

ЗАХОДИ РОСІЇ ЩОДО РОЗВИТКУ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*П.Б. Володівський, к.військ.н., с.н.с.; П.М. Стешенко, к.т.н., ст.д.;
С.О. Богославець, к.т.н., с.н.с.; Н.С. Кібіткіна
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Інновації в галузі безпілотних авіаційних систем (далі – БпАС) росії становлять загрозу обороноздатності України і тому вимагають постійного моніторингу. Так, у січні 2025 року керівництвом росії був затверджений перелік доручень уряду щодо розвитку БпАС, зміст якого полягає у таких тезах:

- прискорений розвиток БпАС до 2030 року;
- формування центру розвитку БпАС в м. Самара;
- відкриття інституту БпАС в університеті м. Тольятті;
- використання інтегрованого цифрового простору БпАС;
- створення центру колективного користування;
- розвиток державної бібліотеки даних БпАС.

Інтегрований цифровий простір призначений для об'єднання всіх учасників галузі (компаній, науковців, експертів тощо) в єдине середовище з метою координації дій, оптимізації робіт та забезпечення спадкоємності. Визначено п'ять спеціальних напрямів діяльності, назва яких характеризує зміст робіт, заходів, сервісів, що виконуються: “Розробка”, “Виробництво”, “Небо” (безпека польотів), “Експлуатація”, “Кадри”.

Центр колективного користування забезпечує доступ розробникам БпАС до високотехнологічного устаткування, наукомістких послуг, сервісу суперкомп'ютерного обчислення і дозволяє знизити витрати підприємств.

Державна бібліотека даних являє собою єдину цифрову платформу для централізованого збирання даних, одержаних від БпАС (фото, відео, метадані), їх оброблення та зберігання.

Таким чином, противник активно здійснює заходи щодо інноваційного розвитку в галузі БпАС. Зазначена інформація потребує врахування під час планування розвитку вітчизняної безпілотної авіації та протидії ворожій.

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ І КЛАСУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛІЗУ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛАМИ ОБОРОНИ УКРАЇНИ

О.А. Жевтюк, к.т.н., с.н.с.

Державний науково-дослідний інститут авіації

За результатами аналізу досвіду застосування силами оборони України безпілотних авіаційних комплексів (далі – БпАК) І класу вітчизняного та іноземного виробництва виявлено певні недоліки, що найчастіше зустрічаються і потребують усунення. Враховуючи зазначене, основними напрямками їх розвитку є:

застосування комплексних модулів із денною та інфрачервою оптико-електронними системами, апаратурою дальнометрування та підсвічування цілей;

оснащення перешкодозахищеними лініями пересилання даних, керування та контролю, які виконані за модульним принципом, функціонують у широкому частотному діапазоні, інтеграція до бортового обладнання модулів LTE/4G зв'язку, радіомодемів з функціями створення локальних мереж тощо;

реалізація у складі бортового обладнання комбінованих навігаційних систем (зокрема систем, дія яких заснована на альтернативних фізичних принципах);

оснащення БпЛА бортовими комплексами оборони;

оснащення БпЛА силовими установками, які функціонують на альтернативних видах палива;

уніфікація БпАК І класу по типах та призначенню та відповідних засобів ураження;

застосування ударними БпЛА керованих засобів ураження або їх корегування в реальному масштабі часу;

інтеграція алгоритмів штучного інтелекту (далі – ШІ) у систему автоматичного управління БпЛА, систему дешифрування розвідувальної інформації;

інтеграція процесів планування та результатів застосування БпАК до автоматизованих систем управління військами (систем ситуаційної обізнаності).

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ШІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ З РОЗВІДУВАЛЬНИХ БПЛА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

А.Ю. Поляков; Б.Ю. Наусенко, д.філос.

Державний науково-дослідний інститут авіації

Сучасні бойові дії вимагають швидкого отримання та обробки розвідувальної інформації. Одним із головних її джерел є аерознімки з безпілотних літальних апаратів. Водночас обсяг таких даних постійно зростає, а їх ручне дешифрування потребує значного часу, підготовлених фахівців і часто не забезпечує потрібної оперативності в умовах швидкої зміни обстановки. Це безпосередньо впливає на темп прийняття рішень і знижує ефективність використання розвідувальної інформації.

Перспективним шляхом розв'язання цієї проблеми є застосування систем штучного інтелекту для автоматизованого виявлення, класифікації та

пріоритизації об'єктів. Це дає змогу скоротити час обробки матеріалів, зменшити навантаження на дешифрувальників і швидше доводити результати до споживача. Водночас ефективне застосування ІІІ у військах можливе лише за умови залучення організацій або спеціалістів із практичним досвідом розробок у сфері штучного інтелекту, зокрема цивільних ІТ-організацій із високим рівнем компетенції, здатних швидко адаптувати рішення до потреб війська.

Разом із тим впровадження таких рішень стримується трьома ключовими проблемами. По-перше, на державному рівні відсутній юридичний механізм доступу виробників і комерційних структур до даних, необхідних для навчання та вдосконалення моделей. По-друге, відсутній ефективний зворотний зв'язок від підрозділів до виробників, зокрема щодо низької якості виявлення об'єктів інтересу на розвідувальних матеріалах в умовах постійної зміни обстановки. По-третє, не створено робочого механізму легального використання програмного забезпечення у військах, подібного до кодифікації, яка вже застосовується для БпЛА та засобів РЕБ.

Вирішення цих питань можливе шляхом розробки відповідного юридичного механізму, автоматизації передачі виправлень дешифрувальника розробнику для покращення моделей та створення механізму кодифікації програмного забезпечення. Без цього навіть якісні моделі не зможуть масштабуватися, проходити формалізоване впровадження та повноцінно системно застосовуватися в інтересах Сил оборони на практиці щоденно. Лише так можна забезпечити перевагу українських рішень над російськими, китайськими, американськими та іншими, а не перетворити Україну лише на джерело сирих даних для закордонних постачальників і розробників готових технологічних продуктів.

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

*П.М. Стешенко, к.т.н, ст.д.; А.О. Мавренкова
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Актуальність теми структурно-параметричного синтезу багатофункціонального БпЛА зумовлена потребою підвищення ефективності застосування розвідувально-ударних систем, забезпечення узгодженості їх параметрів (характеристик) із вимогами щодо їх призначеності та обмеженнями ресурсів, а також необхідністю науково обґрунтованого вибору раціональних проєктних (технічних) рішень.

Традиційні підходи до проєктування складних технічних систем базуються на послідовному або розрізненому виборі технічних рішень, коли структура, параметри та режими функціонування визначаються окремо. Це не забезпечує потрібної якості комплексного врахування взаємопов'язаних параметрів, критеріїв і факторів, що ускладнює формування раціонального технічного обрис.

Попередні дослідження, проведені авторами за вищезначеним напрямом, показують, що зазначене наукове завдання може бути вирішено на основі комплексного застосування методів багатокритеріальної оптимізації, теорії планування експериментів, математичного моделювання та алгоритмів штучного інтелекту (машинного навчання).

При цьому як критерії якості структурно-параметричного синтезу БпЛА доцільно обрати очікувану ефективність його застосування в умовах виконання типових бойових завдань, вартість розроблення та час, потрібний на створення дослідного зразка.

Розроблення та впровадження методики структурно-параметричного синтезу на основі формалізованих процедур багатокритеріальної оптимізації та алгоритмів штучного інтелекту, як очікується, дозволить підвищити обґрунтованість рішень і скоротити цикл розроблення розвідувальних та ударних БпЛА.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКА НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ ІНІЦІАЦІЇ БОЄПРИПАСУ ДЛЯ УДАРНОГО БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИПРОБУВАНЬ

*С.В. Володько; В.В. Курочкін, к.т.н., проф.; Ю.Ю. Бондаренко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Пристрій ініціації (далі – ПІ) боеприпасу для ударного безпілотного літального апарату (далі – УБпЛА) призначений для підриву його бойової частини (далі – БЧ) шляхом контактної (безконтактної) ініціації боеприпасу.

Показник надійності ПІ БЧ УБпЛА є критично важливим для забезпечення безвідмовної роботи безпілотних авіаційних комплексів, оскільки відмова ПІ боеприпасу призводить до невиконання цільової задачі, порушення безпеки експлуатації та зниження бойової ефективності системи. Метою доповіді є оцінка показника безвідмовності ПІ БЧ вітчизняних виробників за результатами проведених випробувань УБпЛА з системою FPV.

В доповіді розглядається така складова надійності, як безвідмовність. До розрахунку показника безвідмовності включались лише вироби, що фактично пройшли випробування.

Для статистичної оцінки ймовірності безвідмовної роботи використано довірчий інтервал Вілсона із рівнем довіри 95 %, що дозволяє врахувати статистичну невизначеність.

Результати показують різницю у частці успішних випробувань серед ПІ різних виробників, що дозволяє ранжувати їх за надійністю та обирати найбільш надійні ПІ, мінімізуючи ризик їх відмов під час випробувань та подальшої експлуатації за призначенням.

ПРОБЛЕМАТИКА УНІФІКАЦІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

*С.В. Сисоєнко, к.т.н., доц.; С.В. Ратушний, с.н.с.;
П.Л. Аркушенко, к.т.н., ст.д.; В.О. Кузнецов
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

У сучасних умовах розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) програмне забезпечення (ПЗ) стає ключовим елементом функціонування наземних засобів технічного обслуговування та контролю (НЗТОК). У зв'язку з цим під час випробувань особливого значення набуває питання уніфікації програмного забезпечення НЗТОК. Актуальність проблеми обумовлена

зростанням кількості програмних компонентів у складі ОВТ, складністю їх інтеграції та необхідністю забезпечення інтероперабельності між різними зразками техніки. НЗТОК часто розробляються різними виробниками за власними технічними підходами, що призводить до фрагментарності програмних рішень, різних форматів представлення даних, несумісності інтерфейсів та ускладнення процедури аналізу результатів. У більшості випадків ПЗ створюється під конкретний зразок ОВТ без урахування перспектив масштабування. Відсутність єдиних архітектурних вимог та стандартів призводить до дублювання функціоналу, зростання витрат на модернізацію та складності підтримки життєвого циклу ОВТ. Основними проблемними питаннями є: відсутність єдиного підходу до архітектури програмних платформ НЗТОК; несумісність форматів обміну даними між різними системами; складність інтеграції нових модулів у вже існуючі програмні середовища; недостатня автоматизація процесів верифікації та валідації; кіберризик при використанні різноманітного ПЗ. Уніфікація ПЗ під час випробувань ОВТ є необхідною умовою підвищення ефективності технічного обслуговування, зменшення часових і фінансових витрат, забезпечення сумісності систем та підвищення достовірності результатів оцінювання.

ПЕРЕВІРКА ФУНКЦІОНУВАННЯ РАДІОСТАНЦІЇ HARRIS RF-7850A-MR НА ЛІТАКУ ТИПУ МИГ-29 ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

*Ю.В. Жежерун, к.е.н., доц.; О.М. Походенко; Р.В. Місценко; О.Г. Д'яков
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Радіостанція RF-7850A-MR, призначена для ведення радіозв'язку з наземними радіостанціями та між літальними апаратами в повітрі. Вона забезпечує телефонний радіозв'язок та цифрову передачу даних в метровому та дециметровому діапазонах хвиль з можливістю використання захищених каналів зв'язку та алгоритмів радіоелектронного захисту.

В перевірених умовах радіостанція RF-7850A-MR забезпечує двосторонній радіозв'язок та передачу даних з наземними абонентами (дальність стійкого радіозв'язку від наземної радіостанції) на визначених цифрових режимах з урахуванням висоти польоту літака над рельєфом місцевості. Відмічено особливості функціонування радіостанції в цифрових режимах Quicklook 3, ANW2C, FSK AES 256. Встановлено обмеження швидкості та висоти, в яких забезпечується працездатність радіостанції RF-7850A-MR з використанням захищених каналів зв'язку та передача даних.

За результатами контрольних випробувань радіостанції RF-7850A-MR у складі бортового радіоелектронного обладнання літака типу МиГ-29 проведено перевірку відповідності основних технічних (функціональних) та експлуатаційних характеристик технічним вимогам, отримано матеріали для відпрацювання змін та доповнень до Керівництва з льотної експлуатації і експлуатаційної документації літака типу МиГ-29, а також надано рекомендації щодо можливості допуску до експлуатації літака типу МиГ-29 дообладнаного радіостанцією типу Harris RF-7850A-MR.

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ БПЛА ТИПУ “ГЕРБЕРА” ТА “ГЕРАНЬ-2”

В.Г. Малюга¹, д.військ.н., с.н.с.; В.С. Мірзоев¹; Д.Г. Колпаків¹; В.В. Грідіна²

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

З початку 2026 року противник уперше перейшов до використання нового способу бойового застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) типу “Гербера, на борту якого розміщується ударний FPV-БПЛА з метою відпрацювання тактики застосування БПЛА типу “Гербера”, оснащеного бойовою частиною ОФБЧ-2,5, як носія ударного FPV-БПЛА, з бойовою термобаричною частиною ЛП-30Т. Зазначені технічні рішення свідчать про спробу адаптації БПЛА типу “Гербера” та “Герань-2”, до застосування в автоматизованому режимі у якості безпілотної платформи для FPV, що спрямоване на підвищення автономності, живучості та ефективності бойового застосування безпілотних систем в умовах протидії з боку сил ППО.

Важливим елементом зазначеної системи є забезпечення управління БПЛА типу “Гербера” та “Герань-2” у режимі реального часу. Ключова ідея противника полягає в тому, що оператор, який здійснює управління БПЛА, оснащеним FPV-БПЛА, повинен виявити ціль, надати команду на підготовку FPV-БПЛА та ініціювати його підключення до української мобільної мережі зв’язку (4G/LTE). Після цього, оператор подає команду на відстикування FPV-БПЛА від БПЛА-носія, а далі здійснює керований маневр FPV-БПЛА з метою наведення на ціль.

Таким чином, противник продовжує системну модернізацію БПЛА з метою переважання та виснаження системи протиповітряної оборони, що в свою чергу потребує розробки нових способів протидії модернізованим ЗПН противника.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ АВІАЦІЙНОГО І РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

О.М. Походенко; Р.В. Місценко;

С.В. Запорожець, к.е.н., доц.; Б.А. Ступка, д.філос.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Випробування зразків авіаційного і радіоелектронного обладнання (АіРЕО) тлумачимо як комплекс заходів, спрямованих на отримання інформації про властивості зразків як шляхом проведення випробувань на різних стадіях життєвого циклу, так і шляхом вивчення їх властивостей в об’єктивно сформованих умовах експлуатування. В доповіді зазначено, що процес організації та супроводження проведення випробувань передбачає реалізацію нормативних, контрактних, технічних, проєктних, корпоративних, дослідних заходів; надано їх змістовно-цільову характеристику та визначено особливості їх впровадження в сучасних умовах.

Досвід проведення випробувань свідчить про важливість застосування принципу комплексності, який дає можливість обґрунтувати особливі умови

проведення випробувань зразків АіРЕО при взаємодії з іншими системами пілотованих літальних апаратів. Крім того, в умовах повномасштабної агресії росії проти України випробування зазнали обмежень в частині дослідних зразків і скорочення тривалості проведення випробувань. Відтак, у множині факторів впливу необхідним стало врахування умов бойового застосування.

При цьому, зростає важливість комплексної оцінки дослідного зразка АіРЕО стосовно його стійкості до навігаційного спуфінгу, засобів РЕБ і кіберзагроз. Головним результатом випробувань є рішення про можливість серійного виробництва зразків АіРЕО та прийняття їх на озброєння Збройних Сил України.

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ БОРТОВИХ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ АВІАЦІЇ ЗС УКРАЇНИ В УМОВАХ АКТИВНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

*Б.А. Ступка, д.філос.; С.В. Запорожець, к.е.н., доц.; В.О. Колесник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах збройної агресії підвищення завадостійкості навігаційних систем авіації ЗС України є пріоритетним завданням. Основними методами протидії РЕБ визначено мультисистемність, просторову селекцію сигналів, адаптивне оброблення та комплексування з іншими бортовими джерелами навігаційної інформації.

У результаті дослідження експериментально підтверджено ефективність антен із керованою діаграмою направленості (СРРА). Інтеграція таких антен з адаптивними алгоритмами та оновленою апаратною базою суттєво підвищує стійкість системи у складних динамічних умовах.

Обґрунтовано систему оцінювання ефективності РЕЗ на основі інтегрального показника, що враховує якість сигналу, цілісність, надійність та економічну доцільність. Розглянуто замкнену математичну модель для автоматизованого моделювання та прогнозування роботи системи в бойових умовах.

Запропоновано оптимальну апаратно-програмну структуру на базі багатоселементних антен та гібридних обчислювальних платформ. Комплексне використання просторово-часового оброблення та антиспуфінгу дозволяє зберегти високоточне позиціонування.

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ БОРТОВИХ СИСТЕМ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

*С.В. Сисоєнко, к.т.н., доц.; П.Л. Аркушенко, к.т.н., ст.д.;
О.І. Потапов, с.н.с.; Є.О. Гузій, с.н.с.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

У сучасних умовах ведення бойових дій, зокрема під час повномасштабних збройних конфліктів, зростає потреба у забезпеченні високої надійності бортових систем при використанні безпілотної авіаційних комплексів (БпАК). На БпАК покладаються основні завдання: розвідка (спостереження),

корегування артилерійського вогню, нанесення ударів (бронетехніка, укріплення тощо), боротьба з ворожими БпЛА, логістика та евакуація, психологічний вплив.

Проблематика прогнозування відмов у складних технічних системах є актуальною. Системи прогнозування повинні інтегрувати алгоритми діагностики, оцінювання деградації та підтримки прийняття рішень. Традиційні регламентні методи технічного обслуговування не враховують індивідуальні режими експлуатації конкретного БпАК. Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє обробляти великі обсяги телеметричних даних (температура, вібрації, струми споживання, напруга живлення, параметри польоту) та виявляти закономірності, що передують відмові. Основними проблемними питаннями залишаються обмеженість маркованих вибірок відмов, потреба забезпечення відтворюваності застосування алгоритмів штучного інтелекту для авіаційного застосування та обмеженні обчислювальних ресурсів бортових контролерів. Впровадження інтелектуальних систем прогнозування відмов дозволить зменшити кількість аварійних зупинок, оптимізувати витрати на технічне обслуговування та підвищити коефіцієнт готовності БпАК до виконання завдань.

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ БПАК В УМОВАХ ВПЛИВУ ЗАСОБІВ РЕБ

М.М. Геращенко; В.Л. Місайлов, д.т.н., с.н.с.;

І.В. Тітов, к.т.н., с.н.с.; Р.М. Кауца

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

У сучасних умовах ведення бойових дій для забезпечення ефективності бойового застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) визначального значення набуває питання оцінювання стійкості радіоелектронного обладнання (РЕО) БпАК до впливу засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника.

У 2023–2025 роках проведено значний обсяг експериментальних досліджень стійкості РЕО БпАК у форматі льотних випробувань в контрольованих умовах, що за сукупністю параметрів імітують бойове застосування. Під час досліджень розглянуто вплив просторового взаємного розміщення станції керування та контролю, станції постановки перешкод і безпілотного літального апарата, а також енергетичних характеристик засобів.

Встановлено, що класична структура оцінювання стійкості РЕО БпАК, яка передбачає послідовне виконання значної кількості взаємозалежних операцій, супроводжується істотними часовими та організаційними витратами.

Обмежений часовий ресурс випробувального польоту, поєднаний із високим ризиком втрати БпЛА, ускладнює достовірне оцінювання всіх каналів зв'язку в межах одного польоту.

В доповіді на підставі багаторічного досвіду проведення експериментальних досліджень визначені пропозиції щодо перегляду чинних методик оцінювання стійкості РЕО БпАК до впливу засобів РЕБ з метою зменшення часу та потрібного ресурсу для проведення випробувань при збереженні достовірності їх результатів.

ПЕРЕВАГИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНДАРТУ АЕР-77 ТА ВИКОРИСТАННЯ ВЗАЄМОСУМІСНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ IC2DL

О.Л. Гриценко; Я.М. Кожушко, к.т.н., ст.д.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Сучасний розвиток радіоелектроніки військового призначення вимагає перехід від пропріетарних протоколів передачі даних до уніфікованого технічного стандарту Allied Engineering Publication 77 (АЕР-77), що дозволяє використовувати архітектури взаємосумісних ліній передачі даних управління та контролю (IC2DL) для подолання проблеми технологічної ізольованості різних безпілотних систем.

Архітектура IC2DL базується на модульному розмежуванні фізичного та каналного рівнів моделі OSI, що забезпечує гнучку інтеграцію наземних станцій управління з різнотипними БпЛА та дозволяє адаптувати параметри сигналу, наприклад, модуляцію та швидкість передачі, до умов інтенсивного радіоелектронного придушення.

Ключовими перевагами впровадження АЕР-77 для розробників та військових є: взаємосумісність (можливість керування БпЛА іншого розробника під час спільних місій), уніфікація обладнання (антени, модеми орієнтуються на вимоги АЕР-77 що дозволяє знизити витрати та спростити логістику), гнучка архітектура IC2DL (модульність та масштабованість системи управління), оптимізація частотного спектра (чітке використання частотних діапазонів), висока завадостійкість та захист від перехоплення, відповідність стандартам НАТО.

Впровадження архітектурних принципів АЕР-77 є стратегічним кроком для забезпечення взаємосумісності різних систем керування та БпЛА, живучості БпЛА та технологічної переваги в мережецентричних військових операціях в майбутньому.

ДОКУМЕНТАЦІЯ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЄ ТЕХНІЧНУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

І.В. Крумчак; Р.В. Пойда; О.С. Дубок; П.В. Зелений

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

На теперішній час в Збройних Сил України до експлуатації більше 300 зразків різних типів і класів безпілотних авіаційних комплексів (далі – БпАК), але не завжди виробник (постачальник) розробляє та постачає замовнику експлуатаційну документацію, яка регламентує саме технічну експлуатацію БпАК та комплектує нею свої вироби. Комплекс заходів технічної експлуатації спрямований на підтримку й відновлення льотної придатності, справності і підготовки до польотів БпАК. Технічну експлуатацію БпАК організують, забезпечують і здійснюють в експлуатуючих організаціях керівники відповідних служб, особи, на яких накладено відповідні обов'язки.

З досвіду експлуатації різних типів БпАК, можна зробити висновок що, обслуговуючому персоналу (зовнішні екіпажі БпАК) в процесі підготовки до польотів (експлуатації БпАК) виникає необхідність уточнення окремих

процедур підготовки до польоту для недопущення помилок. Неправильне виконання робіт (окремих операцій) при проведенні оглядових, та споряджувальних робіт в процесі виконання видів підготовок БпАК, передбачених експлуатаційною документацією, невиконання окремих робіт (операцій) взагалі, які в свою чергу призводять до відмов БпЛА, у тому числі в польоті. Одною із причин є недосконалість розроблення промисловістю експлуатаційної документації, а подекуди її відсутність, незібраність безпосередніх виконавців, недостатність часу для проведення робіт.

Для усунення даних вищевказаних причин повинна бути забезпечена єдина система створення технології виконання робіт (обслуговування БпАК) та розроблення експлуатаційно-технічної документації. В даному комплексі документів необхідно вказувати перелік робіт та їх алгоритм виконання. Для цього повинні відпрацьовуватись відповідні, регламенти технічного обслуговування, технологічні картки, технічних розпоряджень (вказівки) відповідних органів управління.

ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ СТВОРЕННЯ УНІФІКОВАНОЇ СИСТЕМИ ПІДВІСУ БОЄПРИПАСІВ ДЛЯ БпАК КОПТЕРНОГО ТИПУ

*О.В. Манжара; В.М. Панюков; М.Й. Заяць
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах сучасної війни безпілотні літальні апарати стали невід'ємним елементом ведення бойових дій. Сучасні БпЛА дедалі ширше застосовуються для виконання різних завдань, зокрема для доставки та застосування малогабаритних боєприпасів. Важливою складовою ефективності таких систем є конструкція підвісу боєприпасів, адже саме вона забезпечує надійне кріплення, безпечне транспортування та гарантоване відокремлення боєприпасів у визначений момент. Найбільш поширеними платформами для підвісу є БпЛА коптерного типу. Вони відзначаються простою конструкцією, маневреністю та можливістю точного наведення на ціль. Однак використання різних типів боєприпасів (осколкових, кумулятивних, комбінованих та інших) потребує відповідних механізмів кріплення. Наразі значна кількість таких систем створюється нестандартизованим способом, що знижує їхню надійність та ускладнює стандартизацію.

Система підвісу боєприпасів повинна відповідати кільком ключовим вимогам: універсальність, надійність, безпека, простота обслуговування, мінімальна вага.

Перспективним напрямом є створення уніфікованих модулів підвісу, які можуть підходити до більшості БпЛА. Це дозволить скоротити час підготовки до бойового застосування, зменшити витрати на розробку нових рішень та підвищити ефективність бойових дій. Подібні модулі можуть включати електронні блоки управління, які забезпечують дистанційне скидання боєприпасів за командою оператора або за програмою.

Таким чином, система підвісу є ключовим елементом у конструкції ударних БпЛА. Її подальший розвиток у напрямку уніфікації та стандартизації сприятиме підвищенню бойових можливостей безпілотних авіаційних комплексів та їх широкому застосуванню у сучасних умовах.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОТИДІЇ БПЛА “ГЕРАНЬ-5”

*С.М. Бачурін; О.Л. Кручковський; В.П. Волков; В.І. Веремейчук
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Противник продовжує розширювати номенклатуру безпілотних літальних апаратів з метою переважання та виснаження засобів протиповітряної оборони України.

Завдяки високій стелі польоту (до 6000 м) та швидкості, БПЛА “Герань-5” може долати великі відстані поза зоною досяжності багатьох засобів ППО малого радіусу дії. Можливість оперативного перепрограмування та використання 4G-модемів може дозволити коригувати маршрут у реальному часі, що підвищує гнучкість застосування та ускладнює прогнозування траєкторії польоту.

Впровадження БПЛА “Герань-5” змушує переглядати архітектуру систем ППО, зміщуючи акцент з мобільних вогневих груп до дорогих зенітно-ракетних комплексів. Це підвищує вартість протиповітряної оборони та створює нові виклики для захисту об’єктів критичної інфраструктури, оскільки швидкісні цілі вимагають більш досконалих засобів перехоплення.

Для ефективної протидії БПЛА “Герань-5” можливо використати комплексний підхід, а саме:

використання сучасних зенітно-ракетних комплексів для перехоплення швидкісних цілей на великих висотах.

здійснення розробок та впровадження швидкісних БПЛА (реактивних дронів-перехоплювачів) здатних ефективно перехоплювати реактивні цілі;

створення (посилення) зон придушення GNSS-сигналів на критичних частотах для дезорієнтації БПЛА;

знищення носіїв (ТА) та місць зберігання (запуску) БПЛА для запобігання їх застосуванню.

БПЛА “Герань-5” знаменує перехід від концепції дешевого баражуючого боєприпасу до масової крилатої ракети.

ФОРМУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ БОЙОВИХ АВІАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*Л.Ю. Новосад, к.т.н., с.н.с.
Центральний науково-дослідний інститут озброєння
та військової техніки Збройних Сил України*

Сучасні збройні конфлікти характеризуються високою інформаційною насиченістю бойового простору, активним застосуванням безпілотних систем та інтенсивною радіоелектронною протидією. За таких умов ефективність бойової авіаційної платформи визначається не лише її тактико-технічними параметрами, а здатністю функціонувати у складі інтегрованої інформаційно-управлінської системи. Це визначає необхідність переходу до мережево-

орієнтованої архітектури авіаційних комплексів із використанням методів штучного інтелекту.

Міжнародна практика розвитку військової авіації передбачає інтеграцію пілотованих і безпілотних платформ у межах єдиного контуру управління та обміну даними. У таких системах пілотована платформа виконує координуючу функцію, тоді як безпілотні засоби забезпечують розширення сенсорного поля, виконання розвідувальних і ударних завдань.

Український досвід підтверджує доцільність зазначених підходів у реальних бойових умовах. В умовах радіоелектронної протидії удосконалено інерційні та оптичні методи навігації, що забезпечують збереження праездатності систем за відсутності супутникового сигналу.

Таким чином, формування перспективних бойових авіаційних платформ із використанням методів штучного інтелекту пов'язане з інтеграцією пілотованих і безпілотних платформ у єдину мережеву структуру, у якій забезпечуються узгодження дій, скорочення часу прийняття рішень та підвищення адаптивності системи до змін бойової обстановки.

ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ АЗИМУТА І КУТА МІСЦЯ ЦІЛЕЙ НАД МОРЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИЦЕВО-ФАЗОВОГО РАДІОПЕЛЕНГАТОРА

Ю.Ф. Логвінов, д.ф.-м.н., с.н.с.; Ю.О. Педенко, к.т.н., с.н.с.;

О.В. Букін, к.ф.-м.н., с.н.с.; В.А. Зуйков

*Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Робота пов'язана з проблемою зменшення похибок вимірювання кутових координат цілей над морем різницево-фазовим пеленгатором на борту літального апарату. У цих умовах основним джерелом похибок є завади багатопроменевого поширення. Вивчення ступеня їх впливу є завданням роботи.

Дослідження проводилося шляхом комп'ютерного моделювання з використанням моделі відбиттів, що враховує як дзеркальне, так і дифузні відбиття, розподілених в межах площі “блискучої” поверхні (Д.К. Бартон). Результати отримані на горизонтальній (ГП) і вертикальній поляризації (ВП) на частоті 1 ГГц. Пеленгатор містив дві пари антен, рознесених на $\lambda/2$ у кожній площині. Висота цілі та антен – 30 м, відстань між ними – 0,5 км. Співвідношення прямого сигналу від цілі до шуму в приймальних каналах пеленгатора дорівнювало 20 дБ.

На обох поляризаціях відзначено зменшення похибок з ростом хвилювання моря. У той же час похибки на ВП, завдяки зменшенню коефіцієнта відбиття Френеля були значно меншими, ніж на ГП. Так, в інтерференційних мінімумах поля (найбільш важка ситуація) при хвилюванні моря 1–2 бали середні похибки по куту місця на ГП склали 28°, на ВП – 2°, а при 3–4 балах – відповідно 3° і 0,6°. При цьому середньоквадратичні відхилення (СКВ) похибок при хвилюванні 1–2 бали склали – 38° і 2,4°, а при 3–4 балах – 6,6° і 2,1°. Середні азимутальні похибки дорівнювали нулю на ВП і ГП, а їх СКВ, які пов'язані з дифузним відбиттям і шумами приймача, при хвилюванні 1–2 бали становили на ГП 27° і 2,4° на ВП, а при 3–4 балах – 3,6° і 2°.

АДАПТАЦІЯ МОДЕЛЕЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДО РЕАЛЬНИХ УМОВ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА РЕСУРСНО-ОБМЕЖЕНИХ ПЛАТФОРМАХ

М.Д. Камак¹; В.В. Казимир², д.т.н., проф.; Д.О. Камак³

¹Інститут проблем математичних машин та систем НАН України;

²Національний університет "Чернігівська політехніка";

³Державний науково-дослідний інститут випробування і сертифікації озброєння та військової техніки

Практичне впровадження систем автоматичного виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) стикається з двома ключовими викликами: по-перше, складністю отримання великої кількості реальних анотованих зображень для навчання моделей; по-друге, необхідністю забезпечення роботи в режимі реального часу на вбудованих обчислювальних платформах з обмеженими апаратними ресурсами. Моделі, навчені на синтетичних даних, зазвичай демонструють суттєве зниження точності при застосуванні до реальних сцен через доменний розрив між синтетичними та реальними зображеннями.

У доповіді досліджено метод Domain Adaptation with Adaptive Negative Sampling (DA-ANS), який поєднує три ключові компоненти: адаптивне зважування негативних прикладів, прогресивне змішування синтетичних і реальних даних та домен-узгоджені аугментації (моделювання атмосферних ефектів, шуму сенсора, motion blur). Експериментальне оцінювання проводилося на трьох легковагових архітектурах – YOLOv8-nano, YOLO11-nano та SSD-MobileNet-V3.

Запропонований підхід DA-ANS ефективно зменшує доменний розрив між синтетичними та реальними даними без зміни архітектури моделей і без потреби у великих реальних датасетах. Метод забезпечує практично придатне рішення для розгортання систем виявлення БПЛА в режимі реального часу на недорогих вбудованих платформах.

ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АУТОНОМНОСТІ ПОЛЬОТУ БПЛА РОЗВІДКИ ТА КОРЕГУВАННЯ ВОГНЮ АРТИЛЕРІЇ

А.П. Мельник¹; В.О. Супрун²

¹Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії;

²Сумський державний університет

На сьогодні, в умовах протистояння російській агресії застосування безпілотних літальних апаратів розвідки та коригування вогню артилерії (БПЛА РКВА) є запорукою успішності вогневого ураження противника вогнем артилерії.

Розвиток тактики та методів боротьби з БПЛА, зокрема розвідувальними, призводить до необхідності забезпечення автономності окремих їх функцій. Одним із таких завдань є забезпечення автономності навігації БПЛА РКВА в умовах активного застосування противником засобів РЕБ.

Авторами розглядається можливість забезпечення автономності польоту БПЛА РКВА за умов відсутності сигналів супутникової навігації.

Так, один із шляхів забезпечення автономності БПЛА під час польоту базується на використанні алгоритму Particle Filter або Monte Carlo Localization Filter.

До основних переваг зазначеного алгоритму можна віднести:

- високу точність при складних нелінійних процесах;
- можливість орієнтування в умовах відсутності сигналу GPS;

- не вимагає лінійності та гаусового шуму, на відміну від алгоритму Unscented Kalman Filter;
 - підтримка мультигіпотези тощо.
- Разом з перевагами алгоритм має ряд недоліків, серед яких:
- необхідність здійснення значних обчислень за короткі проміжки часу;
 - точність роботи алгоритму напряму залежить від вибраної моделі ймовірності;
 - втрата системою різноманіття гіпотез про положення БпЛА у просторі через деградацію вибірки.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БОРТОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

М.В. Виговський

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Сучасні збройні конфлікти характеризуються інтенсивним впровадженням новітніх технологій, що змінює характер ведення операцій. Масоване використання противником засобів радіоелектронної боротьби та протиповітряної оборони призвело до зниження ефективності застосування повітряних суден. Зазначені фактори зумовлюють необхідність підвищення показників стійкості та живучості, зокрема здатності літального апарату здійснювати керований політ в умовах радіоелектронних завад та (або) пошкоджень структурних елементів.

Одним із перспективних напрямів вирішення порушеного питання є розвиток та впровадження адаптивних бортових систем управління на основі технологій штучного інтелекту. Під адаптивністю слід розуміти здатність системи автоматично коригувати параметри польоту відповідно до зовнішніх умов та поточного технічного стану. Використання нейронних мереж та методів машинного навчання дозволить системі своєчасно ідентифікувати зміни у траєкторії польоту та сформувати компенсуючі сигнали без участі пілота (оператора). Застосування методів інтелектуального керування дозволить підвищити керованість пілотованих літальних апаратів та ефективність застосування ударних безпілотних авіаційних комплексів.

Однак, практична реалізація інтелектуальних систем управління потребує вирішення низки науково-технічних викликів. Зокрема, питання сертифікації інтелектуальних алгоритмів, кіберзахисності від зовнішніх втручань, ефективності та безпеки прийнятих рішень.

ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНИХ БПЛА У СУЧАСНИХ УМОВАХ

В.В. Яровенко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Стрімкий розвиток безпілотних авіаційних систем в умовах російсько-української війни привів не лише до розширення можливостей з розвідки, а й до появи нових загроз для самих розвідувальних платформ. Однією з таких загроз є наростаюча протидія з боку зенітних БпЛА (БпЛА-перехоплювачів).

Класична конфігурація розвідувального БпЛА літакового типу передбачає наявність одного або декількох оптико-електронних модулів, орієнтованих переважно вниз або вперед за курсом польоту. Однак подібна компоновка

створює низку сліпих зон з боків фюзеляжу, у задній півсфері та над БпЛА. Саме з цих секторів найчастіше здійснюється ураження зенітним БпЛА. Обмежене поле зору стандартних оптико-електронних модулів не дозволяє оператору вчасно ідентифікувати таку загрозу.

Одним із перспективних напрямів підвищення живучості розвідувальних БпЛА є оснащення їх додатковими камерами, які у поєднанні з алгоритмами машинного зору та штучного інтелекту дозволять у автоматичному режимі здійснювати контроль сліпих зон та фіксувати появу рухомих об'єктів у периферійних секторах, які до цього не контролювалися.

Алгоритми комп'ютерного зору здатні автоматично виділяти рухомий об'єкт у полі зору, визначати його форму, швидкість та напрямок руху. На основі попередньо навчених нейронних мереж можлива класифікація виявленого об'єкта.

Інтеграція додаткових камер із підтримкою машинного зору дозволяє перейти до концепції активної оборони розвідувального БпЛА, де основним принципом є раннє виявлення, попередження оператора про загрозу та уникнення ураження.

РОЗРОБКА І ВИРОБНИЦТВО ВІТЧИЗНЯНОЇ АПАРАТУРИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

А.Т. Кривов'яз; В.О. Кулюкін

Товариство з обмеженою відповідальністю "Оризон-Навігація"

Підприємство "Оризон-Навігація", яке входить у склад АТ "Українська оборонна промисловість", має досвід 45 років розробки, виробництва і впровадження в експлуатацію апаратури споживачів супутникових навігаційних систем різного призначення.

На підприємстві серійно виготовляються модифікації апаратури СН-3307М для літаків винищувальної авіації, апаратура СН-4312У для транспортних літаків і вертольотів.

Відпрацьовується спільна робота з заводо-захисними антенними системами вітчизняного і закордонного виробництва.

На підприємстві вже розроблені антени морського і наземного призначення, проведені їх випробування і кодифікація. Ці вироби можуть бути використані для тестування в авіації з подальшою розробкою заводостійких антен авіаційного призначення.

Підприємство готове надати зразки антени і приймача та провести їх інтеграцію з бортовою авіаційною апаратурою.

Апаратура наземного призначення СН-4215 забезпечує визначення координат, електронну картографію, працює спільно з радіостанціями "Либідь" і "Harris", встановлюється на об'єкти бронетехніки і РВіА, пропонується для модернізації об'єктів ППО.

Підприємство ремонтує свої і іноземні бортові вироби, ремонтує навігаційні системи радянського і закордонного виробництва для комплексів ППО.

Пропонується при виконанні ремонтів таких систем додавати ще комплекти супутникової навігації СН-4215 і покращувати заводо-захист навігаційних систем шляхом інтеграції СН-4215 зі штатними інерційними навігаційними системами або з сучасними інерційними системами.

Підприємством вже проведені перші тестування в польових умовах на об'єктах ППО, які показали позитивний результат інтегрованих систем.

Всім зацікавленим установам запропоновано проведення спільних досліджень з метою підвищення ефективності ОВТ за рахунок використання обладнання, яке розробляється та виготовляється в ТОВ "Оризон-Навігація".

СЕКЦІЯ 6

ТАКТИКА ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК, РОЗВИТОК, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, РЕМОНТ ТА БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗРВ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ВІДСІЧІ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

Керівники секції: бригадний генерал Палагута В.В.
д.т.н. с.н.с. полковник Нечитайло С.В.
Секретар секції: к.т.н. доц. прац. ЗС України Третяк В.Ф.

COUNTERACTION TO THE ENEMY'S USE OF MISSILE SYSTEMS AND COMPLEXES

*A. Berezhnyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

During the large-scale aggression, the enemy continues to attack critical infrastructure facilities in Ukraine. The main means of attack used against military and civilian targets are operational-tactical missile systems, anti-aircraft missile systems (AAMS) and multiple launch rocket systems (MLRS). Therefore, effective counteraction to the use of enemy missile systems and complexes is a pressing task.

To counter the use of enemy missile systems and complexes, it is possible to use methods of comprehensive application of reconnaissance and firepower. Analysis of combat results shows that ground-based electronic warfare means are insufficiently effective in suppressing missile guidance systems, especially those equipped with adaptive antennas (CRPA).

To detect the locations of enemy missile systems and complexes, it is proposed to make comprehensive use of optical-electronic and radio-electronic reconnaissance means. Optical-electronic reconnaissance means will allow the detection of missile launches by the flares of the corresponding launch engines.

Radio-electronic reconnaissance means allow detecting missile systems and complexes that include active radar means. Panoramic receivers can be used as radio-electronic reconnaissance means, which quickly search for and detect signals from air defence missile systems.

Thus, the timely detection of enemy missile systems will allow their coordinates to be determined and effectively targeted.

COMPREHENSIVE MODEL OF PROVISION OF SPARE PARTS FOR FOREIGN-MADE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES IN UKRAINE

V. Palahuta¹; S. Balychev¹; V. Lukianchuk², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The intensive use of foreign-made anti-aircraft missile complexes (AAMC) during the Russian-Ukrainian war necessitated the adaptation of the national technical support system to the standards of operation of "Western" weapons. The traditional model of material and technical support, formed for "Soviet" models, does not correspond to the logistics of modern modular systems based on the

concept of LRU (Line Replaceable Unit) and integrated supply chains of manufacturers.

Modern AAMC involve replacing functional modules as a single unit with subsequent repair in specialized centers. The use of COTS (commercial off-the-shelf) technologies increases technological flexibility, but creates a risk of obsolescence of the element base. Under such conditions, reducing the repair time and minimizing logistical delays becomes critical.

The proposed comprehensive spare parts supply model is based on a three-level logistics support system: predictive inventory management based on failure analysis and technical condition monitoring, which allows for the formation of applications before failure occurs; a multi-level network of service hubs (mobile, regional and strategic); digitalization of accounting with the transition to NATO standards (NSN) and the introduction of automated logistics management systems (such as SAP or LOGFAS).

The effectiveness of the model is determined by minimizing the average repair time and increasing the readiness factor of the AAMC fleet. Its implementation ensures a reduction in downtime, increased autonomy of air defense units and the integration of the national supply system into the global support network of manufacturers. The implementation of a comprehensive model that combines the operational needs of the troops with the service standards of foreign partners is a necessary condition for maintaining a given level of readiness of the air defense system fleet in the long term.

GENERALIZED MODEL OF THE PROCESS OF TECHNICAL OPERATION OF FOREIGN-MADE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES IN UKRAINE

V. Palahuta¹; S. Balychev¹; V. Lukianchuk², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The basis of the modern fleet of anti-aircraft missile complexes (AAMC) of the Anti-Aircraft Missile Forces (AAMF) of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine is made up of foreign-made SAMs, which are characterized by a high level of automation, modular construction and extensive use of “commercial” technologies. The operation of the specified SAMs in Ukraine is carried out in conditions of contradiction between NATO logistics standards and the existing system of maintenance and repair of anti-aircraft missile weapons (AAMW), which does not take into account the specifics of the construction of the SAM and dependence on the supply of spare parts from manufacturers. This requires the development of a generalized model of their technical operation, taking into account the features of foreign equipment, logistics and service standards.

The proposed model is based on a combination of service approaches of weapons manufacturers according to NATO standards and the operational needs of the operator, and includes three main components: remote technical support of the manufacturer; adaptive international logistics of typical replacement elements; software integration. The model will allow calculating the readiness factor of the SAM fleet, taking into account delays in cross-border supply of spare parts.

The implementation of the model will allow forming rational requirements for spare parts stocks, minimizing the time for restoring equipment in the absence of access to the manufacturer's service centers, increasing the autonomy of SAM units,

which will significantly increase the efficiency of using foreign-made SAMs for their intended purpose by integrating foreign technologies into the national system of technical operation of AAMWs.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR FIGHTING AGAINST “SHAHED-136” TYPE UNMANNED AERIAL VEHICLES DURING THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

V. Palahuta²; S. Nechytailo¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

The expansion of the use of strike unmanned aerial vehicles (UAVs) during the russian-ukrainian war has led to the need to develop means of combating such threats and tactics for using these means. Determining new approaches to the fight against strike UAVs requires a careful analysis of both the characteristics of anti-aircraft weapons and the methods and tactics of the fight against strike UAVs that have already been tested during the war.

The report presents, in chronological order, the results of an analysis of the development of methods and systems for combat against Shahed-136-type strike UAVs, depending on the evolution of UAV tactics and their technical improvement.

Based on an analysis of ways to improve Shahed-136 strike UAVs, further directions for the development of systems to counter these threats have been formulated. These include both active countermeasures (such as anti-aircraft weapons, aircraft, and UAV-interceptors) and the development of detection systems, electronic warfare systems, and automated fire control and guidance systems for airborne targets.

At present, it can be concluded that the evolution of tactics to counter strike UAVs in conditions of their massive use and a shortage of expensive anti-aircraft guided missiles is aimed at overcoming the “financial imbalance” when the cost of an interceptor missile exceeds the cost of a strike drone by tens of times. In other words, it can be concluded that air defense tactics have evolved from the principles of “shoot more” and “shoot accurately” to the principle of “shoot rationally”. Ukraine is forced to quickly research, develop and implement new means and technologies for the successful interception of a large number of this type targets.

ANALYTICAL ASSESSING THE POTENTIAL CAPABILITIES OF SURFACE-TO-AIR MISSILE FORCES GROUP TO REPEL AIR ATTACKS

V. Gorodnov, Doctor of Military Sciences, Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Anti-aircraft missile forces groups are the most effective means of protecting key government objects, as well as their own ground forces, forces and means from attacks by enemy means of air attack (MAA). The spatial capabilities of each surface-to-air missile systems (SAMS) are limited by the area of air targets effective destruction – the fire zone and may have areas of overlap with fire zones of neighboring SAMS.

The total fire zone of SAMS grouping in space may have different areas with different SAMS compositions, which can fire at MAA in these areas.

In turn, MAA carry out their tasks in combat formations as part of tactical groups of various purposes according to the MAA in a group. The moments of each MAA group appearance in the fire zone of the SAMS grouping are not known in advance – they are random.

To construct an analytical model for such conditions, a theorem on special properties of Markov graphs is proven and, on its basis, an analytical description of model, noted in the title, is shown to be obtained in class of Markov processes with continuous time and discrete states. The model takes into account the structure of surface-to-air missile systems group battle formations on the ground and battle formations of means of air attack in the air. The model was verified by degenerating of its analytical description into a description of known verified models. It's shown that use of known models can threefold overestimate the values of SAMS grouping effectiveness indicators and lead to false conclusions about the ability of SAMS grouping to perform combat missions.

JUSTIFICATION OF THE COMPOSITION AND METHODS OF APPLICATION OF GROUND-BASED UNMANNED ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES

S. Yarosh, Doctor of Military Sciences, Professor;

D. Huriev Ph.D.; O. Rohulia, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The constant evolution of the technical characteristics of unmanned aerial vehicles (UAVs) has led to the possibility of their use by the enemy not only in tactical, but also in operational depth, and of certain types – throughout the entire territory of Ukraine. Given this, the objects of detection and strikes by UAVs in the vast majority are weapons, military equipment, and personnel shelters on and near the contact line (CLC). Anti-aircraft missile systems (AMS) in service with the Armed Forces of Ukraine are unable to perform the task of destroying the enemy air force near the air defense zone due to the high risk of both damaging the scarce complex and losing personnel (among the operators of these AMS). Therefore, the study and development of the direction of conducting armed combat in the air with UAVs using anti-aircraft missile systems without the direct participation of AMS operators and crews is becoming increasingly relevant. As a result of the analysis of means of combating UAVs, characteristics of ground-based robotic complexes and characteristics of means of detecting and defeating air attack vehicles, proposals were developed regarding the composition and methods of application of promising ground-based unmanned anti-aircraft missile systems, (GUAMS), capable of providing cover for troops from strikes by unmanned and manned enemy air attack vehicles in the vicinity CLC. Development based on the specified requirements of the GUAMS will allow creating an effective echelon of anti-aircraft missile cover (AMC) of the battalion's combat order in defensive combat, focused specifically on combating enemy UAVs. An important requirement for a promising GUAMS is its suitability for repeated use in conditions of high risk of personnel loss due to high intensity of combat operations and limited resources. The main advantages of promising GUAMS are: low visibility, reduced cost of implementing AMC, and multivariate application.

SAFETY REQUIREMENTS FOR RANGE TESTS OF ROBOTIC ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES

*V. Lukianchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; V. Tkachik
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When organizing range tests of prototypes of robotic anti-aircraft missile complexes (AAMC), safety issues are of great importance, since they are a source of potential danger. Special attention should be paid to safety measures when launching anti-aircraft guided missiles. It is shown that the launch of missiles at a target should be carried out with the guaranteed location of the targets in the permitted sector. The weapons guidance sector should coincide with the viewing sector of the AAMC video surveillance systems. For the safety of missile launches, remote shutdown of firing chains by the operator's command should be provided, and this function should be provided on both the main and backup communication channels.

It is shown that in order to exclude emergency situations, the running tests of the prototype (AAMC) should be carried out on routes that ensure the necessary stability of the data reception-transmission channels and the necessary level of safety and reliability of the prototype control. The speed of the prototype on different sections of the test route should be chosen in such a way as to ensure timely stopping or the necessary maneuver. When overcoming ditches, the armament should be given the maximum elevation angle, and the rotary mechanisms of the AAMC combat module should be locked. The system for monitoring the position of the prototype AAMC and its armament in vast should provide independent control and transmission of information to the operator to make an appropriate decision in the event of abnormal operation of components and assemblies.

WAYS OF CREATION AND PRINCIPLES OF COMBAT APPLICATION OF ROBOTIC ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES

*V. Lukianchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Dolyna, Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The wide spread use of strike unmanned aerial vehicles and other means of air attack brings to the fore the problem of creating robotic anti-aircraft missile systems of the near-range defense, capable of conducting combat operations with a high degree of autonomy without the participation of the crew. The purpose of the report is to determine the directions of robotization of anti-aircraft missile complexes and the principles of their combat application using modern data-centric technologies.

The report define she out line, composition, functions subject to robotization, the main requirements for a robotic anti-aircraft missile complexes, and analyzes approaches to the creation and combat use of unmanned short-range and short-range anti-aircraft missile complexes. It is shown that modern technologies allow the creation of only remotely controlled anti-aircraft missile complexes that require remote control by operators located in a separate control point. To increase the level of autonomy of robotic anti-aircraft missile complexes, it is necessary to improve the technologies for creating sensor and control systems, communication systems, and executive systems that should ensure the possibility of combat use of short-range

and short-range anti-aircraft missile complexes in a single in formation field. It is shown that the basis for ensuring the effectiveness of robotic anti-aircraft missile complexes is real-time data exchange, integration of digital technologies, and network-centric management based on modern data-centric technologies. The creation of autonomous robotic anti-aircraft missile complexes will provide the possibility of conducting modern network-centric wars, including on the basis of their group use.

REQUIREMENTS FOR THE PROGRAM AND METHODOLOGY OF PROGRAM TESTS OF ROBOTIC ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES

*V. Lukianchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; S. Dontsov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Prototypes of robotic anti-aircraft missile complexes (AAMC) are subject to tests, which must be carried out according to a program that determines the purpose, scope and procedure for conducting them, as well as the conditions of all work related to a comprehensive assessment of the prototype and determining its characteristics. It is shown that the program of range tests of a robotic AAMC should include testing:

- the ability of the prototype to autonomously move and navigate, overcoming obstacles; switching on the equipment and monitoring its operability in combat mode; orientation and topographic reference at the combat position;

- built-in software and operation of the prototype in the modes of search, detection, capture, recognition and tracking of air targets;

- algorithm for making decisions to defeat the tracked target, pre-launch preparation of missiles, pointing the launcher towards the target, launching and controlling missiles in flight or ensuring flight control of missiles from their onboard systems, assessing the results of firing; assessing the main ranges and probability of detecting and hitting targets, parameters of the hit zone, reaction time;

- means of documenting information on the status and results of missile flights and launches, receiving commands and transmitting information to the remote control point.

Software testing methods should provide for its verification in the process of testing movement and navigation algorithms and interaction with the equipment of the combat module of the robotic AAMC.

PROBLEM ISSUES OF RANGE TESTS OF ROBOTIC ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES OF THE NEAR DEFENSE ZONE

*V. Lukianchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;
I. Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; D. Babenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The creation of robotic (unmanned) anti-aircraft missile complexes (AAMC) is a complex process, in which one of the key stages is the testing of prototypes in order to assess the compliance of the real values of their tactical and technical characteristics and combat effectiveness indicators with the requirements of the tactical and technical task. Based on this, the report examines the problematic issues

of range tests of unmanned short-range and short-range AAMC, the development of which is underway in technologically advanced countries.

The main task of range tests of unmanned AAMC is to verify the interaction between the components and elements of the BE AAMC in the mode of navigation on the terrain, control of reconnaissance means and destruction of air targets. The technical outline is described and the key aspects of range tests are formulated, which are due to the presence of complex embedded software with elements of artificial intelligence, under the control of which the components of the robotic AAMC operate. It is shown that special attention should be paid to the issues of organization and methodological support of the running tests of the robotic AAMC and the assessment of the effectiveness of means of detection, tracking and destruction of targets based on the results of fly-bys and missile launches at targets. The requirements for software and methodological support are outlined and certain aspects of target support and safety of range tests when performing fly-bys and missile launches and running tests of the robotic AAMC are considered.

METHOD OF SYSTEM SUBSTITUTION OF REQUIREMENTS FOR RELIABILITY INDICATORS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES WITH OPEN ARCHITECTURE

V. Lukianchuk, Doctor of Technical Sciences, Professor;

A. Ponomarev; M. Fisun

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The growth of air attack capabilities leads to the complication of air and missile defense tasks and increased requirements for the effectiveness of anti-aircraft missile complexes (AAMC). Under these conditions, the reliability of AAMC is a determining factor in ensuring their combat capability along with tactical and technical characteristics.

Modern AAMC are built on the principle of open architecture, which provides for modularity, integration of heterogeneous radio-electronic means and the possibility of phased modernization. Such a structure necessitates the systematic coordination of reliability indicators (RI) of the components of the AAMC with generalized indicators of the effectiveness of their functioning. Reliability is considered as an integral property of the AAMC to ensure the preservation of a given level of application effectiveness in given conditions.

Valid regulatory approaches do not provide for proper consideration of the relationship between the RI of the AAMC, its structure and the costs of their provision, which complicates the well-founded setting of requirements for AAMC with open architecture.

The proposed method is based on the provisions of system analysis, reliability theory and optimization methods. It establishes a functional dependence between the reliability indicators, structural parameters of the AAMC, costs of creation and operation and a generalized indicator of effectiveness. The method provides for a hierarchical decomposition of the AAMC, quantitative determination of the contribution of each component to the formation of overall efficiency, and establishment of permissible levels of RI, taking into account redundancy and reconfiguration capabilities.

The implementation of the method will provide a well-founded definition of requirements for the RI of the AAMC, a comparative analysis of its construction options, and optimization of the structure according to the “efficiency–cost” criterion at the stages of development and modernization.

APPLICATION OF SPATIALLY DISPERSED COMBAT FORMATIONS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE UNITS

*S. Yarosh, Doctor of Military Sciences, Professor; R. Kravchyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In conditions of the enemy using modern air attack weapons, the majority of which are high-precision and unmanned, traditional compact combat formations of anti-aircraft missile divisions with centralized architecture exhibit critical vulnerability to strikes against them.

At the same time, modern anti-aircraft missile systems built on an open architecture allow the formation of dispersed combat formations and thereby ensure an increase not only in the survivability of air defense missile forces units, but also in the overall effectiveness of object protection.

Air defense missile forces units equipped with Soviet-produced SAM systems can also, with certain limitations and specific features, build dispersed combat formations. In this case, the main negative factor is the incomplete utilization of potential fire capabilities. Also, in order to ensure all the advantages of a distributed combat formation built by tactical-fire units (TFU) of air defense missile forces armed with old-generation SAM systems, it is necessary to dramatically increase the number of maneuvers in some cases of such SAM elements as target detection and guidance stations, in others of the fire assets themselves.

Problematic issues in creating distributed combat formations of TFU of air defense missile forces are: ensuring reliable stable communication between SAM system elements; the need to change fire control algorithms of such TFU; development of techniques and methods of employing TFU with dispersed combat formations and methods of assessing their effectiveness, etc.

ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF DIRECT COVER OF ANTI- AIRCRAFT MISSILE UNITS DURING THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*S. Yarosh, Doctor of Military Sciences, Professor; V. Stanenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Analysis of the experience of using anti-aircraft missile systems in the Russian-Ukrainian war shows that the organization of direct cover of the positions of anti-aircraft missile units, or individual elements of anti-aircraft missile weapons, in the modern theater of military operations has a significant impact on ensuring the survivability of anti-aircraft missile units and, as a result, significantly affects the effectiveness of their performance of their functions.

A wide range of reconnaissance tools used to detect air defense systems, an increase in the number of means of destruction used against them, create a significant threat to anti-aircraft missile weapons.

Based on this, when organizing direct cover of the positions of anti-aircraft missile units, a number of problematic issues are identified that require detailed consideration and resolution:

- organization of management of direct cover units: search, detection, target allocation of air threats;

- organization of cover of anti-aircraft missile units with launchers spaced at a certain distance;

mobility of anti-aircraft missile systems and means of direct cover, as well as the uniformity of the basic chassis;
the effectiveness of the actions of certain means of direct cover.

METHODS FOR DETERMINING THE COORDINATES OF TACTICAL FIRE UNITS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE TROOPS UNDER CONDITIONS OF ELECTRONIC WARFARE

S. Yarosh¹, Doctor of Military Sciences, Professor; Y. Andriychuk²; D. Melent¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

Combat experience has shown that the effectiveness of anti-aircraft missile coverage largely depends on the accuracy of navigation of tactical fire units of the Anti-Aircraft Missile Troops, especially those equipped with foreign-made surface-to-air missile systems (SAM systems). At the same time, the effectiveness of GPS-based technologies significantly decreases under conditions of intensive electronic warfare employed by opposing sides in combat areas. In turn, the quality of detection and tracking of air attack assets directly depends on the accuracy of coordinate determination of SAM system elements.

Given the continuously increasing requirements for positioning accuracy and navigation reliability of SAM system components, the development and improvement of methods for determining object coordinates has become an extremely important task.

The methods for determining the coordinates of tactical fire units under electronic warfare conditions include:

- integration of visual and inertial odometry methods;
- use of cellular communication base stations (GSM) and Wi-Fi technologies;
- application of the Starlink satellite system (LEO – Low Earth Orbit);
- use of three-dimensional terrain models (DEM – Digital Elevation Models).

Coordinate determination in the absence of GPS enables the creation of a multi-layered positioning system, the advantages of which include resistance to electronic warfare, high autonomy, and reliability under complex operational conditions.

INFLUENCE OF THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR ON THE METHODS OF APPLICATION OF MILITARY UNITS AND SUB-UNITS OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE FORCES

M. Demenko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;

D. Maksyuta, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Voronin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Tretyak, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The content of the methods of combat use and tactical techniques of military units and divisions of the air defense system during the performance of combat missions is not permanently established, but may change for a number of objective and subjective reasons. The main factors that influenced the methods of combat use of military units and divisions of the Air Defense Forces during the Russian-Ukrainian war are: quantitative and qualitative changes in the combat composition of the Air Defense Forces; the need for joint combat use of air defense forces and

means of various branches of the Armed Forces of Ukraine and departments of other components of the Defense Forces; changes in the scale and nature of the actions of the air attack vehicles; changes in the nature of the actions of the troops (objects) taking cover: the complexity of implementing centralized control during air combat and the insufficiency of air defense forces and means to repel massive (concentrated) enemy missile and aviation strikes. The main directions of changing the methods of combat use of military units and air defense units: building combat formations of air defense units; periodic change of positions by air defense units (individual air defense systems); creation and use of temporary mobile tactical military air defense formations; demonstrative actions and imitation; actions from ambush and as nomads. The report examines the content of changes in the combat use of military units and air defense units in the indicated areas.

RECOMMENDATIONS FOR THE PREPARATION AND CONDUCT OF COMBAT OPERATIONS BY ANTI-AIRCRAFT MISSILE UNITS “FROM AMBUSH”

S. Novichenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

D. Dovhaliuk; K. Voitenko; A. Saveliev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

To increase the resilience of air defense in conditions of protracted conflict and resource constraints, the tasks of optimal distribution of air defense forces and assets for direct air cover of critical infrastructure facilities become particularly relevant.

The report considers a methodological approach to determining the number of air defense assets to provide direct air cover for a critical infrastructure facility with a given efficiency. An appropriate methodology is proposed, which refers to staff methodologies and can be used to substantiate the quantitative indicators of the anti-aircraft missile and artillery cover system of facilities during large-scale operational-tactical calculations. Instead of the coefficient of participation of an air defense unit in repelling an air strike, this methodology uses the coefficient of implementation of spatial cover of the facility, which allows taking into account the size of the facilities when creating optimal systems of their direct air cover.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR CONSTRUCTION OF ONBOARD DEVICE FOR INITIATING THE WAR PART OF ANTI-AIRCRAFT ATTACK MEANS

V. Kobzev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Kovtunov, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Timely activation of the warhead initiation device of an anti-aircraft attack means (AAM) is a necessary condition for effective destruction of an air target. Existing and promising anti-aircraft missiles or anti-aircraft UAV interceptors can be used as such AAMs. Currently, the vast majority of UAV interceptors use a remote (operator-commanded) method of warhead initiation, which significantly limits the tactics of their use, namely targeting an air target only in its rear hemisphere. This guidance method is characterized by a relatively low convergence speed, which compensates for the time delays associated with the time for transmitting a video signal, the command to detonate, and the reaction of the human

operator. This guidance method also imposes increasingly high requirements on the speed of UAV interceptors due to the need to catch up with the air target. Automation of warhead initiation will allow for targeting not only in the side, but also in the front hemisphere, when the speed of convergence is maximum.

Promising direction for building a warhead initiation device is the creation of a radar “target sensor” using FMCW (Frequency-Modulated Continuous Wave) technology. The advantages of this technology for solving the specified task are the ability to measure very small distances to the target with high accuracy, lower power consumption compared to pulse locators due to the absence of pulsed radiation, etc. Proposals have been developed regarding the principles of operation, hardware and software of an onboard warhead initiation device using FMCW radar technology.

APPLICATION OF THE PULSAR THERMION THERMAL IMAGING SIGHT FOR ASSESSING THE PERFORMANCE OF MOBILE FIRE GROUPS DURING LIVE-FIRE TRAINING

D. Maksyuta, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Kovtunov, Candidate of Technical Sciences;

E. Ryabokon, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Technical enhancements to air-target engagement systems expand their combat application capabilities but require additional training for personnel to operate them effectively. Moreover, devices such as thermal imaging sights can be used not only as targeting instruments but also to record live-fire exercises and conduct objective performance assessments. A methodology has been developed that incorporates modern optical devices, providing a well-grounded basis for managerial and tactical decision-making when evaluating the employment of fire assets by Mobile Fire Groups (MFG). The methodology establishes the procedure for instrumental recording and assessment of the conditional engagement of an aerial target (UAV target) during MFG live-fire training using the Pulsar Thermion thermal imaging sight with image transmission to an Android tablet (Stream Vision 2) and video recording. The methodology ensures comparability of results across MFG units by standardizing the following elements: reticle configuration, magnification modes, video recording procedures, criteria for counting tracer impacts (or detonations) as valid hits, and the measurement procedure. To further improve the methodology, development directions have been identified, including modernizing UAV targets, creating specialized software to register UAV flight paths.

USING OF MODERN TECHNOLOGIES FOR MULTI-REFERENCE METHOD IMPLEMENTATION FOR DETERMINING THE COORDINATES OF ANTI-AIRCRAFT ATTACK MEANS

V. Kobzev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Kovtunov, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

It is well known that the spatial coordinates of the meeting point of two air objects (AO) are a function whose arguments are the coordinates of these air objects and their derivatives. That is why determining the current coordinates of anti-aircraft attack means (AAM) is one of the main tasks, the solution of which determines the

successful interception of enemy unmanned aerial vehicles (UAVs). Existing and promising anti-aircraft missiles or anti-aircraft UAV interceptors can be used as such AVs. The use of satellite navigation systems to solve this problem during combat operations is complicated by the active suppression of the corresponding signals by both one's own and the enemy's electronic warfare means. An alternative is positioning systems built on the "request-answer" principle with ground-based "beacons", the coordinates of which are known in advance. Examples of such systems are SkyLine and SineLink. However, each of them has its own disadvantages and limitations.

Promising way is to create a multi-reference positioning system that will implement the determination of coordinates on AO board using a structured sequence of signals from a network of ground "references", that is, without any "request" signals. A tangible advantage of such a system will be the ability to position a large number of AO (tens and even hundreds) using a network of only 4 ground "references". Proposals have been developed regarding the principles of operation, hardware and software of the onboard and ground components of this UA positioning system.

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF MOBILE FIRE GROUPS IN AIR DEFENSE OPERATIONS FOR THE PROTECTION OF CRITICAL FACILITIES

*A. Kovtunov, Candidate of Technical Sciences;
S. Klivets, Candidate of Technical Sciences; V. Kryvchun; I. Boiko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

To evaluate the performance of Mobile Fire Groups (MFG) based on the results of their air defense missions to protect critical infrastructure facilities, an algorithm was developed to assess their effectiveness, taking into account the criteria that influence the accomplishment of combat tasks. The algorithm considers the type of aerial threat, the type of weapon system (armament), weather conditions, time of day, levels of technical equipment, types of comprehensive support, the training level of combat crews, as well as economic and reliability factors. The weighting coefficients of influence were determined using the Saaty Analytic Hierarchy Process (AHP) method based on an expert pairwise comparison matrix, with consistency verification of expert judgments through the Consistency Ratio indicator, which does not exceed 0.1. The main components influencing the overall effectiveness indicator are the combat performance coefficient and the combat readiness coefficient. The combat performance coefficient directly reflects the degree to which combat capabilities are realized, based on the results of combat operations during the selected period. The combat readiness coefficient of the unit takes into account technical equipment, personnel training, and the ability to fully realize the available operational potential. Therefore, a decrease in the combat readiness coefficient leads to a proportional reduction in overall effectiveness. Based on the obtained indicators, it is possible to conduct an in-depth analysis of the results of employing MFG fire assets and to make well-grounded decisions aimed at increasing their operational effectiveness and improving the performance of tasks related primarily to the destruction of unmanned aerial vehicles (UAVs).

RESULTS OF THE ANALYSIS OF NATO STANDARDS ON RANGE SAFETY

*K. Kulahin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Vedmid, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
K. Kvitkin; O. Voznyi*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

From the point of view of the safety of military activities, the most complex process is ensuring safety when using weapons and military equipment (WME) and corresponding means of destruction (MD) during practical combat training of troops (forces) and field tests at the ranges of the Armed Forces (AF) of Ukraine. Therefore, the issues of ensuring safety at military ranges are separated into a special area of activity – Range Safety.

According to NATO standards (Allied Range Safety Publications, ARSPs), range safety is a set of organizational, educational, training and technical measures that guarantee the safe procedure of live fire and other methods of using weapons (relevant weapons) at military ranges, by minimizing to an acceptable level the risk of recipient injury arising from dangerous military activities involving the use of weapons. In particular, the ARSPs series of standards establishes general rules for calculating danger areas (zones) for specific types of WME and MD planned to be used at military ranges, as well as various additional activity restriction zones in land, air and sea space.

The report examines the structure and content of the ARSPs series of standards, the main sources of hazards identified in these NATO standards and the factors associated with them, deterministic and probabilistic methodologies for calculating the size of danger zones when using both unguided and guided weapons. Certain recommendations are proposed for implementing the requirements of these standards into the regulatory and technical basis of the Air Force Range Service of the Armed Forces of Ukraine.

COMBINED APPROACH TO ESTIMATING THE PROBABILITY OF CORRECT IDENTIFICATION OF SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM POSITIONS

*I. Koval, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; M. Fisun
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The assessment of the survivability of surface-to-air missile (SAM) systems in NATO headquarters is based on the P_{kill} concept (probability of kill). A key component of this concept is the probability of correct identification of a SAM system position, the assessment of which is complicated by adversary counter-reconnaissance measures, such as the creation of decoy positions with mock-ups and the imitation of activity. This results in information uncertainty when decision-making regarding the authenticity of positions. To improve the P_{kill} methodology, a combined approach is proposed for estimating the probability of correct identification of a SAM position, integrating Bayesian estimation with a bootstrap-based data generation method that accounts for tactical scenarios. The Bayesian approach enables incorporation of prior information on the existence of a true position and updated data from repeated reconnaissance (satellites, UAVs, and signals intelligence). Bootstrap samples are generated from the initial observation

datasets for each position. The calculated statistical indicators of the estimation results provide point estimates of the probability of detecting the true position, confidence intervals of the estimates, and allow assessment of the model's robustness to data fluctuations. Simulation results for multi-position scenarios demonstrate that the traditional approach, limited to prior information, is inadequate and overestimates the effectiveness of counter-reconnaissance measures. The combined use of Bayesian estimates and bootstrap-based data generation improves the estimation of the probability of correct position identification under uncertainty, emulating the adversary's identification process without knowledge of its internal algorithms.

MAINTAINING THE EFFECTIVENESS OF A SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM FLEET WITH DUE REGARD TO THE DYNAMICS OF ITS QUANTITATIVE AND QUALITATIVE STATE AND RELIABILITY

*I. Koval, Candidate of Technical Science, Senior Researcher;
M. Dolyna, Candidate of Military Science, Associate Professor;
Y. Trofimenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Maintaining the effectiveness of a fleet of surface-to-air missile (SAM) systems at the required level is one of the priority tasks in the development of armament and military equipment of air defence missile troops. A procedure for assessing the effectiveness of a surface-to-air missile system fleet is considered, taking into account the dynamics of the number of combat-ready SAM systems and their reliability as a function of calendar service life. The number of combat-ready SAM systems is evaluated in accordance with a developed forecasting model of the quantitative and qualitative state of the SAM fleet depending on the calendar duration of operation. This model accounts for the main factors influencing changes in the number of combat-ready SAM systems, such as the adopted operation and maintenance strategy. The reliability dynamics of the SAM fleet are assessed using a developed reliability model for long-term operation, based on the effectiveness retention coefficient (ERC) of a SAM system. To evaluate the ERC, a SAM operation model employing a typical usage cyclogram and a model of SAM reliability dynamics under an established operation and maintenance system have been developed. To assess the effectiveness of the SAM fleet, an integral indicator is introduced – the expected number of targets destroyed by all combat-ready SAM systems within the fleet. The loss of effectiveness of the SAM fleet as a function of calendar service life is evaluated. To maintain the effectiveness of the SAM fleet at the required level, the required number of new (modernized) SAM systems is determined.

PROPOSALS FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE USE OF UNITS OF UNMANNED AIRCRAFT INTERCEPTORS

*K. Zakutin, Candidate of Military Sciences; O. Kolomiyets; V. Panimatka
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Based on information sources and the experience of the Armed Forces of Ukraine, the design solutions, production scales, typical deployment tactics and limitations of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) during the Russian-

Ukrainian war are analyzed. The conclusion is made that inexpensive, kinetic and FPV interceptors, which are mass-produced, have become a new component of the air defense system, but do not replace traditional means – they complement them, reducing the effect of massive strikes by single-shot strike UAVs. The analysis of the use of UAV interceptors conducted in the article allows us to substantiate the directions of building a system for countering air attack means and to formulate a number of recommendations on practical measures (actions) for organizing the fight against strike UAVs. The main ones include: further development of unmanned interception systems and the creation of a larger number of units armed with UAV interceptors; creation of a high-altitude echelon system for combating enemy strike and reconnaissance UAVs, which involves the use of mobile fire groups and anti-aircraft artillery together with specialized UAV interceptor units; development of a UAV reconnaissance system through the use of highly mobile, widespread and relatively inexpensive radar equipment; development of a control system that allows real-time, based on mobile radar data, to provide combat information about enemy strike UAVs to the corresponding mobile fire groups and UAV interceptor units.

FACTORS AFFECTING THE EFFECTIVENESS OF SPARE PARTS SUPPORT FOR WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OF A SURFACE-TO-AIR MISSILE FORCES GROUPING

D. Melenti¹; P. Drannyk²; I. Miroshnikov¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Defence University of Ukraine

In modern combat conditions, the effectiveness of protecting critical state facilities and critical infrastructure is determined not only by the tactical and technical characteristics of surface-to-air missile systems but also by the ability of the material and technical support system to maintain the required level of their combat readiness throughout an operation. Of particular importance is the provision of spare parts for weapons and military equipment of surface-to-air missile forces groupings of mixed composition, which include heterogeneous systems of both domestic and foreign origin.

The effectiveness of support is shaped by a set of interrelated factors that should be considered within a unified methodological framework.

The first group includes operational and tactical factors such as the intensity of combat employment of surface-to-air missile units, the nature of the air situation, the duration of continuous combat duty, and the depth of enemy strikes against elements of the material and technical support system.

The second group comprises technical and operational factors, associated with the heterogeneity of surface-to-air missile systems, differences in spare parts nomenclature, the complexity of repair operations, and the requirements for specialized maintenance and repair equipment.

A separate group is formed by organizational and logistical factors, including the structure and production capabilities of repair and recovery units, the probability of timely evacuation of damaged weapons and military equipment, and the availability of spare parts kits and transport assets for repair units.

The presented analysis of factors may be used as a theoretical basis for further assessment of support effectiveness and for the development of substantiated recommendations aimed at improving spare parts support under modern combat conditions.

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE STANDARD METHODOLOGY FOR DETERMINING THE SIZE OF THE DANGER ZONE WHEN LAUNCHING ANTI-AIRCRAFT GUIDED MISSILES AT THE RANG

O. Vedmid, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Burtsev, Candidate of Technical Sciences, Professor;

V. Mehelbei, Candidates of Technical Sciences;

K. Kulahin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

According to the Standard methodology (use for over 20 years), the surface danger zone (SDZ) of the anti-aircraft missile systems (AAMS) is approximated by an ellipse, the parameters of which depend only on the value of the far limit of the AAMS engagement zone. During the application of the Standard Methodology, certain limitations were identified. Practical ways to partially eliminate them have been found. In addition, the accumulated experience of more complete modeling of the movement of anti-aircraft guided missiles in the event of failures in the control system using appropriate simulation models also allows us to make proposals for clarifying some provisions of the Standard methodology. First and foremost, this concerns reducing the size of the rear and side boundaries, while increasing the size of the far boundary of the SDZ in the direction of fire.

The Standard Methodology does not address the construction of SDZ when firing in the permitted sector. Proposals for the construction of SDZ for such conditions are discussed. For this purpose, coordinate systems (CS) related to ellipses located at the boundaries of the firing sector and to the bisector of the firing sector are introduced, as well as formulas for converting coordinates between these CS. The procedure for constructing a lateral boundary based on two intersecting ellipses is discussed. The option of approximating the SDZ with a polygon is discussed, which is also necessary when determining the SDZ for a group of AAMS complexes.

USE OF TRAINING EQUIPMENT TO STUDY THE ACTIONS OF ENEMY AVIATION WHEN DELIVERING STRIKES ON TROOPS AND OBJECTS THAT ARE UNDER COVER

S. Volyuvach, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern anti-aircraft combat is characterized by high speed, wide use of high-precision weapons and electronic warfare. The armament of Soviet-made air defense units is well known to the enemy, who knows their weaknesses and ways to reduce the effectiveness of its use. From the experience of combat operations, it is known that enemy aviation uses various types of maneuvers, which leads to a decrease in the effectiveness of the use of air defense units armed with Soviet-made air defense systems.

Thus, the task is to study the impact of these types of enemy aviation maneuvers on the effectiveness of air defense fire.

To study the mechanism of the influence of aviation maneuvers against fire control, control, air defense means and develop scientific recommendations, it is proposed to conduct simulation modeling of these situations using air defense complex training tools. Using training tools, it is possible to study the dynamics of

the influence of various factors on the effectiveness of air defense fire and find optimal solutions for their reduction.

However, the training base, which is part of the units armed with Soviet-made air defense complexes, is outdated and due to its technical capabilities does not allow for simulation modeling of these types of strikes with different types of aviation maneuvers. Which in turn requires modernization or development of new training tools that will be able to meet the new requirements that are imposed on modern air defense complex training tools.

INFLUENCE OF STRESS ON THE CONDUCT OF COMBAT OPERATIONS BY ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM SERVICERS

*S. Volyuvach, Candidate of Technical Sciences;
Z. Zakirov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
B. Kruk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat operations are conducted by anti-aircraft missile units in conditions of wide fire and information impact, the enemy's use of electronic warfare and various types of high-precision weapons. In such conditions, anti-aircraft missile system (AMS) servicers receive enormous psychological stress that leads to a stressful state.

Stress is a state of mental tension that can arise as a result of the action of an irresistible force.

The consequences of stress can have both a negative and a positive effect on the conduct of combat operations by an SAM servicer.

The positive effect consists in increased sensitivity of all sensory organs, increased concentration of attention, strength, and mental abilities. A negative person can fall into a stupor, slow down their actions, and act uncertainly.

Stress affects the psychological readiness of the SAM service when conducting combat work.

Thus, the task arises to reduce the impact of factors that lead to a stressful state and reduce the psychological readiness of the SAM service. It is important to know how the conduct of combat operations affects the psyche of people, how to manage their behavior in a combat situation, prevent and overcome uncertainty, fear, and encourage them to take the right actions. When cultivating psychological resilience, the main efforts should be directed to ensuring that any surprises for the serviceman become familiar.

The main tasks of psychological training of servicemen for actions in extreme situations should be to form scientifically based knowledge about combat operations and skills of behavior in a combat situation in soldiers.

USE OF AN ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM AS A UAV RECONNAISSANCE ASSISTANCE

*S. Volyuvach, Candidate of Technical Sciences; I. Kovalchuk; O. Hubariva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Combat experience shows that in air defense zones, strikes against protected targets and troops are assigned to unmanned attack aircraft due to the significantly lower cost of aircraft, the elimination of the risk of crew loss, etc. Modern unmanned

aerial vehicles, as targets for air defense systems, are characterized by a small effective dispersion surface (0.001 m^2 to 0.05 m^2) and flight speeds from 40 m/s to 130 m/s. This makes them difficult for air defense systems to detect.

As is well known, an anti-aircraft missile defense system consists of an air reconnaissance system, a fire control system, and a command and control system. The reconnaissance system is responsible for detecting enemy aircraft, promptly alerting air defense systems to fire, and providing reconnaissance and combat information.

Radars from Soviet-made anti-aircraft missile systems, for which missile stocks have been exhausted, can be used to provide combat information to mobile fire teams.

However, since Soviet-made anti-aircraft missile systems were designed to detect targets with a significantly larger radar cross section, their ability to detect modern unmanned aerial vehicles (UAVs) has proven to be poor.

An analysis of the design of the receiving section of the anti-aircraft missile system's radar revealed a number of functional components where modifications could be made to improve the detection of small UAVs. Specifically, in the intermediate frequency preamplifier, by changing the bias voltage of the gain element, the operating point can be shifted to a steeper section of the transfer characteristic, thereby increasing the gain of weak reflected signals.

INFLUENCE OF THE MAIN DIRECTIONS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ANTI-AIRCRAFT MISSILES ON THE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS

V. Burtsev, Candidate of Technical Sciences, Professor;

V. Voronin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Vedmid, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. Nechytailo, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the life cycle management system of weapons and military equipment, one of the key scientific areas is the study of anti-aircraft weapon complexes and systems (AAWS). When solving the tasks of scientific research on anti-aircraft weapon complexes and systems, three main areas are distinguished: scientific research on the construction and modernization of anti-aircraft weapon complexes and systems; scientific research on the development of a system for their technical operation and repair, as well as scientific research on the development of methods for the combat use of anti-aircraft weapon complexes and systems. All areas are in constant interaction and mutually influence each other. Scientific research on the development of anti-aircraft weapon complexes and systems is ultimately aimed at improving their quality (efficiency). The performers of scientific work in these areas should be trained specialists in the field of anti-aircraft missile weapons, who must have the appropriate competencies in managing the life cycle of this weapon, and be able to assess the impact of the results obtained on increasing (restoring) the effectiveness of the combat use of anti-aircraft weapon complexes and systems. The report examines the current state of issues related to the development, production, use, support, and life cycle management of AAWS samples and proposes detailed solutions to them.

**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR COMBAT OPERATIONS
BY THE CREW OF AN AIR DEFENSE MISSILE DIVISION S – 125M1
IN CONDITIONS OF USE BY AN AIR ENEMY OF ANTI-RADAR
MISSILES IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF OPTICAL VISIBILITY**

M. Kamchatniy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Horobchenko; Y. Korobkov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

An analysis of combat operations in the Russian-Ukrainian war shows that the enemy performs fire suppression of air defense systems using specially designated groups whose task is to destroy or disable specific air defense weapons for a long period of time.

An analysis of typical variants of ARM use was conducted. It was shown that three methods of ARM launch can be used: from horizontal flight, from a climb, and from a dive.

An analysis of the combat features of the air defense system S-125M1 was conducted to determine the possibility of using ARM and the moment of its launch. It has been established that currently, tactical aircraft are not the only carriers of ARM.

The use of long-range ARM from strategic aircraft against the S-125M1 is unlikely, since the high-voltage activation range of the SNR transmitter does not exceed the minimum possible launch range of ARM of this class.

An algorithm has been developed for the combat operation of the S-125M1 air defense missile system in conditions where the enemy uses anti-radar missiles, provided that there is optical visibility and the possibility of using the VTG target sighting channel. It has been shown that in this variant, the SNR operating time for radiation is the shortest, and the total operating time of the air defense missile system does not exceed 25 seconds.

In conditions of no optical visibility and the inability to use the VTG target sighting channel, the SNR operating time increases.

**MODERN METHODS OF RADAR STATION DIAGNOSTICS
USING SOFTWARE-DEFINED RADIO DEVICES**

K. Sushchyk, Candidate of Technical Sciences;

A. Kyrychenko; R. Voloshan; S. Lushchak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Software-defined radio (SDR) devices represent a modern radio communication technology in which all key operations modulation, demodulation, filtering, frequency conversion, and signal processing are implemented in software using general-purpose microprocessors or specialized digital computing platforms.

A separate group consists of transmitters based on software-defined radio devices that operate as universal radio signal generators. Unlike conventional laboratory generators, which have fixed modulation modes, a limited frequency range, and high cost, SDR transmitters enable software-based synthesis of signals of virtually any shape, frequency, and modulation type, including sequences of rectangular pulses with arbitrary duration and duty cycle, as well as signals with linear frequency modulation (LFM) or phase-shift keying (PSK).

The use of the open-source software package GNU Radio together with the software-defined transceiver HackRF One as a signal generator creates significant opportunities for performing maintenance and technical diagnostics of radar stations. Signal generators based on SDR technology allow flexible adaptation of test sequences to the specific features of particular radar types.

The use of signal generators based on software-defined radio devices makes it possible to tailor test signals to the requirements of different radar systems, which is especially useful when working with legacy radars whose standard measurement equipment has limited capabilities.

JUSTIFICATION OF A RATIONAL METHOD OF FIRING ANTI-AIRCRAFT GUIDED MISSILES

I. Pomohaiev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Halytskyi; V. Koltsov; D. Riabota

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

According to the features of the guidance system implementation, the trajectory of an anti-aircraft guided missile is conditionally divided into several typical sections.

When firing at the far end of the kill zone, the missile is guided along a reference energy-efficient trajectory. When firing at different ranges and depending on the interference situation, it is possible to change or skip certain stages of anti-aircraft guided missile control. Since the missile guidance commands are generated by an onboard digital computer, and the radar station and radio correction lines provide information support during the guidance process, it is necessary to control the operating modes of the guidance system at the pre-launch stage and during the guidance of the anti-aircraft guided missile. For this purpose, the concept of firing mode is introduced.

Solving problems related to choosing a rational method of firing anti-aircraft guided missiles and adaptive fire control involves analyzing firing conditions, available information and fire capabilities, forming requirements for firing stages, and the characteristics of the operation of the airborne and ground components of the guidance circuit and the missile flight trajectory.

The methodology for solving the problem of selecting a rational method of firing anti-aircraft guided missiles is based on modeling the guidance circuit of an anti-aircraft guided missile implemented for specific conditions and determining the accuracy characteristics of the information support tools used. Based on the results of the modeling, a decision is made on the choice of firing method.

SIMULATION MODEL OF THE OPERATOR WORKSTATION OF THE PATRIOT AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM UNDER CONDITIONS OF ENEMY EMPLOYMENT OF ANTI-RADIATION MISSILES

V. Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; M. Rybnikov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the primary missions of the PATRIOT air defense missile system is the protection of troops along the line of combat contact. To suppress air defense assets, the enemy actively employs anti-radiation missiles (ARMs). The radar assets of the

PATRIOT air defense missile system provide detection and tracking of such missiles within the airspace surveillance sector. Upon detection of anti-radiation missiles, the combat crew of an Air Defense Missile Forces unit equipped with the PATRIOT system activates designated protection modes and subsequently engages these targets.

To acquire practical skills in conducting combat operations under conditions of enemy employment of anti-radiation missiles, a simulation model of the PATRIOT operator workstation is proposed.

For the development of the model, an analysis of the characteristics of enemy employment of anti-radiation missiles was carried out; the procedure for conducting combat operations by the PATRIOT operator under such conditions was determined; and the features of anti-radiation missile classification by the system software were investigated. Scenarios of possible enemy employment of anti-radiation missiles were selected, and the procedure for calculating the current coordinates of dynamic objects displayed on the indicator screen was formalized. An algorithm for the operation of the simulation model of the operator workstation was developed. The MATLAB software environment was selected for the implementation of the simulation model of the PATRIOT operator workstation.

For the integration of the simulation model into the educational process of the Air Defense Missile Forces Faculty, methodological guidelines are being developed to improve the quality of cadets' practical training.

METHODOLOGY FOR CREATING TRAINING AIR ATTACK SCENARIOS TO DEVELOP INITIAL COMBAT SKILLS FOR CADETS STUDYING MEDIUM-RANGE AIR DEFENSE MISSILE SYSTEMS

V. Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

D. Kryuchkov; R. Solovey

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Partner countries have provided modern medium-range air defense missile systems to protect critical infrastructure. To prepare personnel for conducting combat operations on these systems, the corresponding simulators were developed and delivered to Ukraine. For practical training on such simulators, training air attack scenarios simulating enemy actions are created. The content of these scenarios must reflect the personnel's level of preparedness and incorporate contemporary experience of the Air Defense Missile Forces in the Russo-Ukrainian war. A methodology is proposed for creating training air attack scenarios aimed at developing initial combat skills for cadets studying medium-range air defense missile systems.

The methodology includes the formation of a database of enemy training attacks and the systematic review and update of this database based on ongoing operational experience of the Air Defense Missile Forces. The methodology involves identifying typical enemy air attack assets targeted by the selected medium-range air defense missile system, analyzing the enemy's modes of employment, and creating a database of potential flight paths toward Ukraine's critical infrastructure. It also includes analyzing possible deployment configurations of medium-range air defense missile system elements on the terrain and forming realistic configurations of the system considering the actual types and quantities of surface-to-air missiles available.

Based on this analysis, training scenario scripts are generated to populate the database, which is structured according to increasing levels of difficulty. Subsequently, the scenarios are linked to relevant training courses in the cadet curriculum.

DEVELOPMENT OF A TARGET ALLOCATION MODEL FOR THE FIRE DISTRIBUTION CENTER OF THE NASAMS SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM

O. Petrenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Bidun; S. Sylenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University

The effectiveness of the combat use of the NASAMS surface-to-air missile system largely depends on the quality of target allocation carried out by the Fire Distribution Center. Target allocation involves the timely and rational assignment of aerial targets to weapon systems, taking into account the air situation, the technical capabilities of the missile system, and time constraints.

Typical target allocation algorithms include stages of processing information about the air situation, tracking and identification of targets, assessing threat levels, establishing priorities, and assigning targets to launchers. Threat assessment is usually based on the distance to defended assets, the target's movement parameters, and the predicted time of entry into the engagement zone. Analysis of existing algorithms shows that the use of deterministic rules and fixed threshold values limits their effectiveness in dynamic and uncertain air environments.

To improve the accuracy of target allocation in the Fire Distribution Center of the NASAMS surface-to-air missile system, it is advisable to consider target maneuvering rules, which allow predicting possible changes in its trajectory, speed, and direction of movement, as well as the rule for the number of surface-to-air missiles per launcher, which takes into account the available ammunition and the optimal distribution of missiles among launchers depending on the type and priority of the target. The application of these rules contributes to the refinement of the target allocation model and enhances the effectiveness of the combat use of the NASAMS missile system.

ADAPTIVE COMPENSATION ALGORITHM FOR MITIGATING THE EFFECTS OF IONOSPHERIC DELAY IN SINGLE-FREQUENCY EQUIPMENT

O. Petrenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; M. Krasinskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The variation in the dielectric permittivity of the ionosphere distorts the trajectory of the navigation signal, resulting in an additional delay. Several methods exist for determining and accounting for ionospheric delay. Among these, the dual-frequency measurement technique stands out as the most effective and accurate.

However, measurements at two frequencies are not always accessible. Yet achieving a sufficiently high level of accuracy is crucial for addressing various challenges, even when relying on the receiver's minimum capabilities. An effective approach to enhance the precision of navigational determinations using data from

global navigation satellite systems (GNSS) is by employing the differential correction mode.

Measurements at two frequencies are not always accessible, and for resolving numerous challenges, it becomes essential to achieve a sufficiently high degree of accuracy using only the receiver's basic capabilities. One effective approach to enhancing the precision of navigational calculations based on data from GNSS is by using the differential correction mode.

A significant disadvantage of this method is the limited dimensions of the working area in the Control and Correction Station (CCS). This means the user, when determining their position vector, may not always be within the accessible working range of the CCS.

An algorithm is introduced to address the impact of ionospheric errors, including their fluctuating components, on the accuracy of navigation calculations in single-frequency consumer equipment. This approach utilizes corrective data provided by the CCS network. In this algorithm, based on the adopted model of spatial degradation for differential corrections from the CCS, the correction data from each station within the network is considered with a specific weight that varies according to the user's distance from the respective station.

FEATURES OF TRAINING COMBAT CREWS OF FOREIGN-MADE AIR DEFENSE MISSILE SYSTEMS

V. Shulezhko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;

V. Borysov; K. Korolkov; D. Nelidin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The process of rearming the Air Defense Missile Forces with foreign-made weapon systems has become a key stage in strengthening the state's defense capability. Air defense missile systems and complexes manufactured in the United States and Western European countries differ significantly from Soviet-designed systems not only in their tactical and technical characteristics and combat operation algorithms, but also in their command and control specifics. Accordingly, the training of combat crews for these systems requires a revision of existing methodological approaches.

A critically important factor in ensuring the effectiveness of training is the involvement of qualified military and technical translators. The process of training air defense missile system crews requires specialists to possess a deep understanding of radar systems, control theory, and systems engineering. In this context, the translator acts not merely as a transmitter of words, but as an essential link that adapts specific Western military terminology to the established conceptual framework used by Ukrainian air defense personnel. Maximum accuracy in conveying technical details (for example, system initialization algorithms or troubleshooting protocols) minimizes the risk of critical errors during subsequent operation of the system. It is precisely through the synchronization of the conceptual frameworks of instructors and trainees via professional translation that a high pace of equipment mastery can be achieved without compromising the quality of knowledge.

Therefore, the use of professional military and technical translators is a key instrument that ensures the accuracy of knowledge transfer and minimizes risks associated with misinterpretation of technical documentation. This comprehensive

approach not only increases the effectiveness of air defense operations but also forms the foundation for full interoperability with partner forces within the global security architecture.

THE DATE-CENTRIC PARADIGM AS THE FOUNDATION FOR IMPLEMENTING THE CONCEPTS OF JADC2 AND MOSAIC WARFARE

*A. Skoryk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Surhai, Candidate of Technical Sciences; Yu. Oliinyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report highlights the transition from the outdated network-centric paradigm to the modern concept of data-centric operations (DCO) in the military sphere. The authors argue that data should become a strategic asset, separate from specific platforms or applications, for the implementation of the JADC2 and Mosaic Warfare doctrines. A key contribution of the study is a critical review of the classic Boyd cycle (OODA), which is recognized as insufficient for managing distributed autonomous systems. Instead, a modified OODSA cycle is proposed, which includes a new critical phase – “Synthesis”. Synthesis refers to the automated process of dynamically forming temporary “systems of systems” from existing heterogeneous resources directly during mission execution. This approach solves the problem of semantic interoperability and ensures the principle of “any sensor is the best shooter”. The transition to the OODSA cycle enables the armed forces to move from reactive control of static units to proactive creation of adaptive combat structures. Ultimately, it is proven that data-centricity is the necessary foundation for successful modern algorithmic warfare.

PROPOSALS FOR CHOOSING RISK INDICATORS WHEN MAKING MILITARY DECISIONS

*M. Romaniuk, Candidate of Military Sciences, Senior Researcher;
Y. Sarik; M. Pohodina
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Risk assessment is the process of determining the probability of occurrence of risk factors, i.e. certain events or situations that can negatively affect the development of the situation and the achievement of planned results. In all cases, the concept of risk is inextricably linked with the concept of uncertainty.

The general sequence of risk assessment is typical, it consists of five stages: which include the following actions:

- at the first stage – identification of sources and causes of risk and their recognition;

- at the second stage – assessment of the degree of risks and danger in general;

- at the third stage – development of measures to reduce risk, identification of probable residual risk elements and decision-making regarding the risk;

- the fourth stage is the application of risk reduction measures; the fifth stage is the monitoring and evaluation of risk reduction measures.

However, there is no clear methodology for assessing the level of risk at the current stage. That is, the task of determining the quantitative value of the level of

risk (possible damage) at which the unit commander can make a rational decision is relevant.

The level of risk when making military decisions is determined by the enemy's activities and is characterized, first of all, by the uncertainty of information regarding the enemy's capabilities to detect the positions of anti-aircraft missile units using enemy reconnaissance means, and the possibility of hitting anti-aircraft missile systems.

In turn, it is also necessary to take into account the enemy's countermeasures, the probability of destruction by a unit armed with an air defense system, the means of destruction or its carrier, the timely maneuver of the unit, and camouflage.

Therefore, the unit survivability level should be used as an indicator for measuring risks during the military decision-making process during maneuver combat operations.

EVALUATION OF THE TRAJECTORY PARAMETERS OF A HYPERSONIC QUASI-BALLISTIC MISSILE

*A. Dudush, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. Snovydyvych
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University*

During the Russian-Ukrainian war, short-range ballistic missile such as 9M723 Iskander-M, KN-23 and aeroballistic missiles X-47M2 Kinzhal have been widely used. These missiles belong to the class of hypersonic quasi-ballistic missiles – missiles that fly along flat trajectories and/or most of whose trajectory is ballistic with possible maneuvering or unexpected changes in direction and range, which makes them less predictable and difficult to intercept by modern air missile defense systems.

A quasi-ballistic trajectory has three basic phases: boost, ballistic, and reentry. Modeling of the motion parameters of a hypersonic quasi-ballistic missile in a reentry phase is performed by solving modified Kepler equations, which take into account the influence of aerodynamic forces (drag, horizontal and vertical components of lift) in dense layers of the atmosphere and do not take into account the Earth's rotation.

A model of the flight trajectory of a short-range ballistic missile in the reentry phase was developed. It was integrated with a well-known ballistic trajectory model based on Kepler's equations, which takes into account the pitch angle control program on the boost phase. Based on the operational characteristics of the 9M723 type hypersonic quasi-ballistic missiles, some variants of the flight trajectories of this missile were constructed, and the corresponding plots of changes in altitude and flight speed were presented.

DEVELOPMENT OF A NETWORK SIMULATOR FOR RADAR MESSAGE SOURCE WITH ASTERIX PROTOCOL SUPPORT

*O. Shapovalov, Candidate of Technical Sciences; O. Derevianko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern automated air traffic control systems (ATC systems) and radar complexes widely use the ASTERIX (All Purpose Structured EUROCONTROL Surveillance Information Exchange) standard for exchanging radar information.

The ASTERIX protocol provides a unified format for data transmission between radars, control centers, and other components of the surveillance system, which is critical for ensuring flight safety and efficient air traffic coordination.

During the development, testing, and debugging of radar information processing systems, a reliable source of test data that complies with the ASTERIX specification is needed. Using real radar systems for these purposes is resource-intensive and not always feasible. Moreover, real radars do not allow the creation of controlled test scenarios with specified target parameters, which complicates the verification of edge cases and the stress testing of data processing systems.

Of particular interest is integration with OpenSky Network, which provides access to real-time aircraft movement information. Combining real flight data with synthetic target generation enables the creation of comprehensive test scenarios. Implementing a network simulator that supports ASTERIX CAT048 and CAT062, provides radar parameter configuration capabilities, and integrates with OpenSky is a relevant task that will simplify the development and testing of radar information processing.

IMPROVING THE TECHNICAL DIAGNOSTIC SYSTEM FOR SURFACE-TO-AIR MISSILE ASSETS: PROPOSALS AND SOLUTIONS

D. Kriuchkov; O. Ovcharenko;

*A. Skoryk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The successful execution of combat missions by anti-aircraft missile units is possible only if surface-to-air missile (SAM) systems are in good working order. Predicting the probability of failure-free operation of the complex's assets over a set period is critically important for planning and conducting combat operations (CO). This report provides an analysis of typical failures of the PATRIOT Launcher Station (LS) and develops proposals to increase the efficiency of technical diagnostics (TD) by implementing a digital accounting system for operational factors.

To improve TD efficiency, operational safety, and evidence-based maintenance planning for SAM systems, it is proposed to implement a specialized device for recording and analyzing operational events of the LS, which will automatically identify and accumulate information. Structurally, it is advisable to implement the device as an integrated system for data collection, primary processing, and storage, functioning automatically without requiring operator intervention during CO. The system's core will be a central computing module, connected to sensors and information channels of individual subsystems LS. This architecture must ensure synchronous event logging, time-stamping, and the possibility of further analysis in the form of time series.

All collected information will be summarized by the computing module and stored as structured data arrays on the LS, and, if necessary, displayed at the Engagement Control Station. This will allow for a comprehensive analysis of the LS operation, identifying patterns of increased load, assessing the impact of operational conditions on the technical state, and forming substantiated recommendations for operation and maintenance. The introduction of such a device will ensure a transition from formal operational record-keeping to the concept of Condition-Based Maintenance. Ultimately, this will contribute to increasing the LS reliability.

PROPOSALS ON THE APPLICATION OF SOFTWARE FOR ANTI-AIR COMBAT WARGAME AND EVALUATION OF ITS RESULTS IN ANTI-AIR MISSILE COMPLEX WITH OPEN ARCHITECTURE IRIS-T SLM

S. Obrezkov; O. Dudko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

For effective combat planning, a standardized procedure provides for conducting a battle simulation and evaluating the results.

Existing approaches to wargaming are based on the use of specialized software. An example of such specialized software is VR-Forces, which is designed to create virtual combat environments, practice combat skills, and analyze combat scenarios.

The report considers the possibility of using the VR-Forces software to obtain wargaming results and further analyze the actions of the air enemy and its units, which are armed with the IRIS-T SLM anti-aircraft missile system, according to various variants of the combat plan.

The main advantage of using software as a means of simulating an anti-air battle and evaluating the results is the use of algorithms similar to the IBMS software algorithms used in the IRIS-T SLM GBAD system during combat operations.

The use of specialized VR-Forces software when planning an anti-air battle allows the commander to more accurately analyze options for the plan of combat operations using the “fire control” evaluation criterion.

SUGGESTIONS FOR CHOOSING THE SEQUENCE OF WORKING METHODS FOR THE COMMANDER AND STAFF OF AN ANTI-AIRCRAFT MISSILE UNIT WHEN MAKING DECISIONS

Y. Ursakii; V. Bragin; Y. Ryapolov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The command and control system plays an important role in ensuring the maximum combat capability of an anti-aircraft missile unit. If the command and control process, as the activity of the commander and staff of an anti-aircraft missile unit, is rational, then the combat capabilities of the unit will also strive for maximum realization in various conditions.

Management tasks in a real anti-aircraft missile unit management system are solved in a specific logical sequence. Therefore, there is a specific order for the commander of an anti-aircraft missile unit to develop and make decisions to repel an air strike by the enemy. On the other hand, however, these management issues are resolved under strict time constraints, with large amounts of information and uncertainty about the situation.

One way to eliminate existing contradictions is to improve the work process of the commander and staff of the unit during combat by applying a developed methodology for determining the order of work of the commander and staff based on network planning and management, which allows for the analysis and synthesis of the actions of the unit's staff officers.

Thus, determining the general procedure for decision-making consists in implementing the selected algorithm of logical-analytical, informational, and computational activities of management bodies for specific conditions, which allows for more targeted organization of combat operations preparation and improves the quality and validity of decisions.

INFLUENCE OF STRUCTURAL MODIFICATIONS OF STRIKE RECONNAISSANCE UNMANNED AERIAL VEHICLES OF THE “GERAN/HARPY” TYPE ON THE TACTICS OF COMBAT EMPLOYMENT OF AIR DEFENSE MISSILE TROOPS

*D. Melenti; V. Panimatka; I. Miroshnikov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of countering the armed aggression of the Russian Federation demonstrates a continuous evolution of enemy air attack assets, particularly strike-reconnaissance unmanned aerial vehicles (UAVs) of the Geran/Harpy type. Throughout 2025, the adversary has implemented a series of structural and functional modifications aimed at increasing the survivability of UAVs and decreasing the effectiveness of air defense systems.

These developments indicate a transition toward the use of UAVs as multi-purpose platforms capable not only of fulfilling strike and reconnaissance missions but also of performing counter-air actions, including engagement of air targets such as anti-aircraft interceptor UAVs, helicopters, and aircraft. The integration of advanced technologies expands the enemy's tactical capabilities and creates new challenges and threats for units of the air defense missile troops.

At the same time, a significant enhancement of the navigation and control systems' resistance to interference has been observed due to the introduction of multi-channel CRPA antennas, MESH-type network control channels, and backup telemetry transmission channels. These technical solutions complicate the use of traditional electronic warfare measures and reduce the efficiency of disrupting the navigation support of UAVs.

The implementation of the aforementioned measures by the adversary establishes prerequisites for improving the tactics of combat employment of air defense missile troop units and interceptor UAVs through a reduction of reaction time, priority-based target distribution, and refinement of approaches to organizing the air defense missile coverage system.

IMPROVING THE METHOD FOR SYNTHESIZING THE STRUCTURE OF ANTI-AIR MISSILE COVER FOR ASSETS (TROOP CONCENTRATIONS) DURING HIGH-INTENSITY ARMED CONFLICT

*O. Reznichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The existing method for synthesizing the structure of anti-air missile cover (AAMC) for assets (troop concentrations (TC)), which is based on assumptions that do not fully account for contemporary challenges, must be developed to incorporate the conditions of high-intensity armed conflicts (HIAC), which is possible at two hierarchical levels – the Air Force (Air Command) and the mixed-composition anti-air missile brigade (AAMB).

At both levels, the conditions of the respective capabilities for creating an AAMC system must be constantly verified, taking into account the characteristics of the covered assets and their territorial dispersion. The stages of the developed method for synthesizing the AAMC structure of assets (TC) during HIAC may include: formation of general baseline data for the method's techniques; evaluating

the effectiveness of the tactical-fire unit (TFU) of the anti-air missile troops (AAMT) grouping and forming a catalog of TFU capabilities; calculating the threshold values of the capability indicator and forming a catalog of threshold effectiveness values of the AAMT grouping with subsequent determination of the AAMT grouping's composition; and forming proposals for the AAMC structure of the asset (TC).

The calculation of the threshold values of the capability indicator for an AAMT grouping or an AAMB to perform a combat mission to cover an asset (TC) from strikes by various types of air attack weapons (AAW) under HIAC conditions is carried out using a forecast indicator. During the application of the technique, the composition of the TFU for countering AAW by type is formed.

Thus, in the developed method for synthesizing the AAMC structure of assets (TC) during HIAC, unlike known ones, the determination of the quantitative and qualitative composition of the AAMT grouping is based on indicators for forecasting the capability of tactical-fire units within it to perform the assigned tasks of covering assets or TCs from strikes by various types of AAW during HIAC. Additionally, when applying the developed method, the contribution of electronic warfare units is taken into account. The formation of the quantitative composition of the AAMT grouping is based on the values of the combat effectiveness indicator of AAMT TFUs against the most mass-employed AAWs, which are calculated not on the basis of data from proving ground tests of anti-aircraft missile systems, but taking into account the experience of the Russo-Ukrainian War.

INVESTIGATION OF THE CAPABILITIES OF SMALL-SIZED UAV DETECTION USING ACTIVE RADAR

O. Vyhivskiy; Y. Kovalenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of modern warfare confirms a sharp increase in the role of small-sized unmanned aerial vehicles (UAVs) as means of reconnaissance and strike. Due to their small geometric dimensions, radio-transparent materials, and operation at extremely low altitudes, such platforms remain challenging targets for timely detection. Additional difficulties arise from intense passive clutter originating from the earth's surface, buildings, and vegetation. These interferences exhibit a non-stationary character and are typically described by Weibull or Pareto distributions.

A promising solution lies in the application of active millimeter-wave radars. Owing to their short wavelength, these systems provide high spatial resolution and enhanced sensitivity to small-sized objects.

A key informative feature is the micro-Doppler components of the reflected signal, generated by propeller rotation and the motion of individual structural elements of the UAV. Analysis of these signatures significantly improves the reliability of both detection and classification of drones.

The use of adaptive constant false alarm rate (CFAR) detectors, cell-averaging and generalized linear-quadratic detection methods, together with coherent integration, enables reliable extraction of weak target returns against a background of strong clutter.

Promising directions for further research include the development of accurate radar backscattering models for small-sized UAVs that account for different terrain

types, the creation of micro-Doppler signature libraries for various drone classes, and the application of the Weibull distribution for realistic simulation of the interference environment.

DEVELOPMENT OF TECHNICAL PROPOSALS FOR OBJECTIVE VERIFICATION TO RECORD THE MOMENT OF ROCKET WARHEAD DETONATION AND TARGET DESTRUCTION

O. Vyhivskiy; Y. Nazarenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of modern military aggression, prompt and reliable confirmation of the results of missile weapon employment is of particular importance. Reliable recording of the warhead detonation moment and visual signs of target destruction is essential for tactical analysis, assessment of weapon effectiveness, and making informed decisions.

An integrated video recording subsystem mounted directly on the guidance station is proposed. The optical channel ensures day and night operation, protection against vibration, dust, and moisture, while the mounting system guarantees image stability during launch and combat operation.

Video processing includes preliminary filtering, automatic detection, and specialized algorithms to minimize false alarms caused by solar glares or sparks. Data storage is organized with priority on security: encryption of storage devices, access logging, circular recording, and automatic capture of critical fragments. The system supports autonomous operation and secure transmission to the command post.

Assessment of destruction is performed by analyzing changes in object geometry, appearance of smoke or dust, movement of fragments, and other visual effects. When multisensor data are available, video can be combined with thermal or acoustic signals.

This approach provides synchronized visual registration of combat events, increases the objectivity of weapon employment evaluation, and facilitates rapid improvement of tactical and technical solutions.

RESEARCH ON THE PARAMETERS OF SOLID-STATE DEVICES OF MICROWAVE TRANSMISSION PATHS OF MODERN RADARS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE FORCES FOR USE IN PROMISING AIR DEFENSE SYSTEMS

P. Kushch; R. Riznychenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In connection with the need to increase the efficiency of modern new-generation anti-aircraft missile systems, there is a need to create highly reliable and energy-efficient radar stations.

A special role in this is played by solid-state devices of microwave transmission paths, which provide improved technical characteristics and reduce the time for bringing the system into combat readiness.

The purpose of this work is to study the main parameters of modern solid-state devices and determine the possibility of their use in radars of anti-aircraft missile forces.

The main objectives of the study:

- analysis of the design of radar transmission paths using solid-state technologies and comparison of their key indicators (readiness, reliability);
- review of modern semiconductor microwave components and modules, as well as assessment of their parameters (power, linearity, efficiency, temperature stability);
- development of the concept of a solid-state transmitter for integration with antenna systems of modern radars (without detailing the design);
- assessment of the impact of the proposed solutions on the tactical and technical characteristics of the radar and the effectiveness of the use of anti-aircraft missile systems.

The expected result of the work is the formation of criteria for selecting solid-state modules for radar, the development of proposals for the structure of the transmission path and the assessment of the possibilities of upgrading the radar for promising anti-aircraft missile systems.

DEVELOPMENT OF A GRAPHICAL INTERFACE FOR VISUALIZATION OF SPATIAL DATA ON A RADAR OPERATOR'S WORKSTATION

O. Vyhivskiy; A. Tykhovod

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of modern military aggression, prompt and reliable presentation of radar information acquires strategic importance. The objective of the development is to create an algorithm for visualizing three-coordinate radar data and a graphical user interface for the operator's workstation. These solutions ensure clear, spatially accurate, and adaptive real-time display of tracks and metadata with integration of a three-dimensional terrain map.

Key tasks aimed at enhancing the operator's situational awareness, reducing decision-making time, and improving the accuracy of target position determination include:

- development of methods for transforming radar parameters from polar to rectangular coordinates, taking into account geodetic corrections and measurement errors;
- implementation of filtering and interpolation algorithms to reduce coordinate scatter in noisy environments;
- georeferencing of tracks to a digital terrain model (DTM/DEM) with detection and visualization of blind zones;
- design of a flexible interface supporting filtering, color coding, and switching between cartographic, plan, and volumetric display modes;
- support for multisensor data correlation (radar, ADS-B, optical, and thermal channels) for target verification.

The software implementation of the algorithm and the interface prototype provide correct 3D representation of tracks, increase the probability of event detection, reduce the number of false alarms, and enhance the reliability of target classification.

IMPROVEMENT OF CURRENT MAINTENANCE FOR THE RADAR TRANSMITTER SYSTEM OF SHORT-RANGE SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM

*B. Haibadulov; B. Buniak; D. Zarytskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of full-scale military aggression by the Russian Federation, the critical necessity for rapid and high-quality restoration of combat readiness of weapons and military equipment (WME) of the Armed Forces of Ukraine is indisputable.

Based on the conducted research and comparisons, it has been established that existing methods for fault detection and repair of the surveillance transmitter (for example, sequential checking of all units) are overly thorough and time-consuming, which is irrational in combat conditions when time for WME restoration is insufficient. In particular, existing methodologies often require significant disassembly and component replacement, which is not always justified.

The proposed improvement of current maintenance for the transmitter system of the 9A310M1 self-propelled fire unit (SPFU) (for “Buk” SAM or similar short-range systems) is built on operational fault-finding cards using a fault prioritization the binary search method (half-interval division method).

Implementation of the developed methodology using operational cards and the binary search method for current maintenance of short-range SAM radar transmitter systems will significantly reduce system combat readiness restoration time, thereby increasing its survivability and employment effectiveness in intensive combat operations.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE SIMULATOR EQUIPMENT OF THE RADAR STATION OF A SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM

*H. Holovko; R. Kravchyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern air attack threats include small-sized, highly maneuverable targets, the mass use of UAVs of various classes, low-altitude cruise missiles, and active electronic countermeasures. These threats are characterized by a large number of simultaneous targets and rapidly changing conditions, requiring a new level of training for SAM crews to operate under information overload and limited decision-making time.

Standard simulation equipment of legacy SAM systems is limited in scenarios and cannot reproduce complex trajectories, group tactics, active jamming, or false targets. As a result, training does not fully reflect real combat conditions, reducing effectiveness during mass attacks.

Modernization is proposed through the introduction of a software-channel interface unit integrating a modern high-performance computer with the system's standard onboard equipment using open interfaces. This will enable simulation of complex combined attacks by different target types, inclusion of “friendly” objects, training in rules of engagement, and reduction of friendly-fire risks.

An expanded documentation and objective control system (event logs, video recording, automated analysis) is also envisaged to quantitatively assess crew

performance and identify systemic deficiencies. Overall, this approach creates an adaptive training complex and significantly enhances SAM crew readiness against modern air threats.

ADAPTATION OF GUIDED MISSILE GUIDANCE ALGORITHMS FOR SHORT-RANGE SAM SYSTEMS TO CONDITIONS OF MASSED LOW-ALTITUDE TARGET STRIKES

*B. Haibadulov; H. Holovko; A. Stulhynskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The extremely low flight altitude of modern strike UAVs and terrain-following cruise missiles presents two critical challenges for existing surface-to-air missile (SAM) systems: a catastrophic reduction in reaction time and physical signal distortion caused by proximity to the ground. The standard low-altitude target mode does not resolve the issue of missile maneuverability in the terminal phase, when energy reserves are limited.

The purpose of this presentation is to move away from “flat” guidance toward intelligent maneuvering. Our modernization vision involves transitioning to trajectory generation based on solving the inverse dynamics problem. We propose abandoning “flat” intercept geometry in favor of an upper-hemisphere attack (the so-called “pop-up” maneuver). This approach minimizes the influence of the underlying surface (ground) on the missile seeker and ensures an optimal angle of engagement with the target.

Particular attention should be given to the integration of artificial intelligence elements. We propose implementing an AI module at the ground equipment level, enabling discrimination between real UAVs and decoys based on signature characteristics, predicting target maneuvers 3–5 seconds ahead, and adapting guidance parameters to specific terrain features.

These algorithms are fully compatible with the “FrankenSAM” concept and can be applied both to standard 9M38M1 missiles and to integrated American RIM-7 Sea Sparrow missiles.

The implementation of the proposed changes will significantly increase the probability of destroying complex low-altitude targets.

DEVELOPMENT OF A MOTION MODEL FOR AEROBALLISTIC AIR ATTACK SYSTEMS AND ANALYSIS OF THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

*P. Kushch; V. Kozyr
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Analysis of contemporary armed conflicts indicates a significant increase in the operational relevance of high-velocity aeroballistic air attack systems within the structure of air operations. Their employment generates additional challenges for radar surveillance assets and Integrated Air and Missile Defense (IAMD) systems. The substantial kinetic energy and destructive potential of such systems have a decisive impact on the operational and tactical environment. High flight velocities combined with variable flight regimes result in complex kinematic behavior, necessitating scientifically grounded approaches to data processing and interpretation. In this context, the development of robust mathematical motion

models constitutes a critical component in improving the overall effectiveness of defensive systems.

Trajectory modelling enables a formalized description of motion dynamics, identification of characteristic flight phases, and assessment of behavioral variability under different operational conditions. Such models serve as tools for the development and validation of detection, recognition, classification, and threat prediction algorithms within simulation environments. This approach allows for the assessment of the impact of varying external parameters without the need for live operational testing under combat conditions.

Accordingly, research in the field of aeroballistic motion modelling must be conducted systematically, taking into account ongoing system modernization. This constitutes a necessary prerequisite for enhancing modern ISR and target acquisition systems, improving computational accuracy, increasing detection and tracking performance, enhancing radar resolution, and ultimately strengthening the operational effectiveness of air defense units.

RECOGNITION OF STRIKE AND DECOY UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON RADAR CHARACTERISTICS

V. Mykhalchuk; R. Kravchyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern combat experience, particularly from the Russian-Ukrainian war, demonstrates the large-scale use of UAVs of various classes – from FPV drones to strike and reconnaissance systems. This significantly complicates SAM operations due to the need not only to detect targets but also to classify them quickly and reliably. A particular challenge is posed by decoy UAVs, which are deliberately used to exhaust air defense resources, as the cost of intercepting them far exceeds their production cost.

Individual flight parameters (speed, altitude, trajectory) do not allow reliable discrimination between real and false targets, making a comprehensive approach necessary. Radar characteristics, especially radar cross section (RCS) and its variation with aspect angle, are of key importance. Analysis of real combat data enables identification of consistent differences between UAV classes.

Design features of decoy UAVs (non-metallic materials, simplified construction) result in incomplete RCS imitation, which becomes especially noticeable when the observation angle changes. It is proposed to implement systems for accumulating and comparing radar data from different aspects and to apply machine learning elements to automate classification. This approach increases recognition reliability and represents a promising direction for the development of modern SAM systems.

IMPROVEMENT OF THE METHOD FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF AN AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM

O. Hrechka; I. Boyko; V. Romaniv

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In current conditions of rapid development of air attack weapons, the importance of ensuring reliable operation of air defense missile systems is growing.

Ensuring high reliability of air defense missile systems directly depends on timely monitoring of their technical condition.

The report shows that some older air defense missile systems are currently experiencing an increase in their life cycle. For such models, the cost of maintenance during operation, associated with keeping the weapons in working order, may be equal to or exceed the cost of purchase.

Solving the problem of effective control of the technical condition of an air defense missile system requires control of measurement operations and processing of large flows of measurement information, its storage and compact representation, as well as the widespread use of control and measurement equipment together with computing equipment. All this leads to a transition from autonomous measuring equipment to integrated measuring systems of advanced control and testing equipment.

The report proposes an adaptive method for monitoring the technical condition of distributed radio-technical devices of air defense missile systems during operation with a graphical representation of the database of parameter changes. The essence of the adaptive method involves the use of a posteriori information about the control parameters of radio equipment and changes in their assessment and prediction of diagnostic parameters during the next period of operation.

FEATURES OF COMBAT OPERATIONS WITH THE HAWK AIR DEFENSE SYSTEM

O. Hrechka¹; Y. Bunyak¹; V. Romaniv¹;

O. Zvieriev², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine

In the context of the Russian-Ukrainian war, air attack weapons, especially ballistic and aeroballistic missiles, are rapidly developing.

Currently, the Russian Federation is widely using 9M723 Iskander-M and X-47M2 Kinzhal missiles against Ukraine.

Patriot air defense missile systems are being used on Ukrainian territory to destroy such targets.

As part of foreign aid, Ukraine is receiving HAWK air defense missile systems, which, according to technical documentation, when integrated with Patriot air defense missile systems, are capable of destroying high-speed (over 1000 m/s) and ballistic targets. However, these air defense missile systems are not used in this configuration. In order to increase the effectiveness of anti-aircraft missile systems, an automated command post C3 (C2) (ACP C3) has been developed based on the 9S905 product. ACP C3 can receive intelligence information from both domestic radars and the latest foreign-made radars.

The report proposes using the APC C3 when deploying the HAWK air defense missile system instead of the integrated command center of the Patriot air defense missile system to combat ballistic and aeroballistic targets.

Based on the technical characteristics of the MIM-23B anti-aircraft guided missile of the HAWK air defense missile system, the firing parameter will be minimal, so its use will be effective in protecting a covered object or for self-defense.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE MISSILES RECEIVING CHANNEL OF THE MEDIUM RANGE AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM GUIDANCE STATION

*Y. Korobkov; S. Symonenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current environment of the Russian-Ukr war, there's a pressing need to upgrade Soviet-era air defense systems to modern digital components to enable digital signal processing.

An analysis of the design and operation of the high-frequency receiving device of the SNR-125M1 missile responder signal receiving channel of the S-125M1 air defense missile system is carried out, and technical proposals are made for the design of the high-frequency part of the missile responder signal receiving device channel using a superheterodyne circuit.

The construction and operation of the high-frequency part of the SNR missile channel receiver device are considered, and it is shown that the missile responder receiver channel is constructed according to a direct amplification receiver circuit with a double high-frequency amplifier. A structural diagram of the missile transponder signal receiving channel, built according to a superheterodyne circuit, is proposed. It is noted that in order to ensure further digital signal processing in the SNR-125M1, it is necessary to ensure the same principle of signal conversion in the missile and target channels, otherwise an additional systematic guidance error may appear, which will reduce the probability of destroying the target.

Conclusions were made about the feasibility of introducing electronic devices that can be used in a superheterodyne-type missile channel.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE SELECTION AND APPLICATION OF A GUIDANCE METHOD FOR A PROSPECTIVE SURFACE-TO-AIR MISSILE

*P. Kushch; A. Synytska
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern SAM systems are capable of engaging targets at long ranges and high altitudes. Since the motion parameters of both the missile and the target continuously change, each relative position of the missile and the target corresponds to a specific kinematic trajectory. The command generation unit evaluates the missile's deviation from the required kinematic trajectory at every instant of missile – target convergence. Guidance errors can be corrected by means of modern guidance systems and algorithms that adjust the missile's trajectory during flight.

The navigation constant is a key parameter of the proportional navigation method, which is widely used in modern guidance systems of surface-to-air guided missiles (SAMs).

At excessively high values of the navigation constant, the system responds too rapidly to deviations. This reduces dynamic error but increases fluctuation (noise-induced) error. Such maneuvers result in significant aerodynamic and mechanical loads, which may adversely affect the missile systems and lead to excessive kinetic energy losses.

At low values of the navigation constant, the control system responds too slowly to changes in the target's position. As a result, the missile is unable to promptly

correct its trajectory, which increases dynamic guidance error. This also increases the actual trajectory length and reduces overall guidance efficiency. However, the overloads acting on the missile are significantly lower, and kinetic energy losses are reduced.

An analysis of the influence of the navigation constant on missile guidance has been carried out. It is recommended to vary the navigation constant during the missile's flight depending on the specific guidance conditions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR DETERMINING THE COORDINATES OF ACTIVE JAMMERS FOR RADAR AIR DEFENSE SYSTEMS BY TRIANGULATION METHODS

*S. Bondarenko; O. Kalyta; D. Nikolaev; A. Mokryak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The most important task that aviation solves in modern warfare is to overcome the air defense system, and above all, to overcome the areas of action of its active means – anti-aircraft missile systems and complexes. To solve this problem, the air enemy uses many different means, including the setting of various kinds of active and passive jamming. Active noise jamming (ASJ) is one of the most influential means of countering the fire control of air defense systems at the command posts of anti-aircraft missile systems and complexes. Modern air attack means are capable of placing ASJ in sighting mode in a very wide range of radio waves, which does not allow to ensure their timely detection by radar means of air defense systems and setting fire tasks of air defense systems up to the threshold of performing tasks by air targets flying under the cover of ASJ directors. To solve the problem of detecting the ASJ setters and determining their coordinates, it is proposed to use radar means of air defense systems, which are located in the same part (formation) of the air defense system. The simultaneous use of several three-coordinate radars to search for the ASJ launchers and determine their coordinates by triangulation methods allows solving the problem of timely detection and destruction of the source of counteraction to the fire control of the air defense system. An algorithm for determining the coordinates of the target of the active noise interference setter by the triangulation method has been developed, which can be implemented in specialized anti-aircraft systems computers.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF THE LAUNCHER MK-2 CONTROL TERMINAL IN THE NASAMS SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM

*A. Bidun; Y. Onipko; V. Shyhin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University*

With the introduction of the NASAMS surface-to-air missile system into service with the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, the need arose to train combat crews of the Mk-2 launchers. The high cost of actual weapon systems and their continuous involvement in combat operations necessitate the use of simulation tools for the training of combat crews.

In the course of the study, was carried out an analysis of the structure and operating principles of the Launcher Control Terminal, which provides command

reception, operating mode indication, and monitoring of the launcher MK-2 readiness for combat employment. Based on the conducted analysis, a simulation model of the Launcher Control Terminal was developed, enabling the training of combat crews of the launcher MK-2 of the NASAMS surface-to-air missile system without the use of actual combat equipment. Its implementation makes it possible to reduce material costs and the operational wear of weapons and military equipment, as well as to increase the safety level of the training process and improve the effectiveness of professional skill development for combat crews.

Therefore, the results of the study are relevant, characterized by scientific novelty, and can be implemented in practical military activities with minimal economic costs. They also represent a rational means of enhancing the level of combat training and improving the readiness of units to perform their assigned missions.

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF GROUP TARGET SEPARATION FOR THE AN/MPQ-64F1 RADAR USING THE MINIMUM DESCRIPTION LENGTH PRINCIPLE

R. Hordiienko; V. Bihuniak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of combat operations during the Russian-Ukrainian war demonstrates that during massive strikes, the enemy actively uses various types of air attack weapons, constantly improving their tactical and technical characteristics. In particular, new methods of overcoming air defense are being introduced, one of which is use of unmanned aerial vehicles (UAVs) and cruise missiles (CMs) operating as part of strike groups.

This results in the risk of incorrectly determining the number of air targets in a group, which, in turn, can lead to an irrational distribution of forces and means of destruction, as well as a lack of time to re-fire at detected targets.

From a technical point of view, this problem is related to the limited capabilities of radars to separate individual air objects that are within the same spatial separation volume. This determines the relevance of the scientific task of evaluating the parameters of several air objects that are simultaneously located in the spatial separation volume.

Solving this problem will contribute to improving the efficiency of detecting, recognizing, and tracking groups of air targets, as well as increasing the information capabilities of radar equipment, which in turn directly affects the effectiveness of air defense in modern combat conditions.

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF GROUP TARGET SEPARATION IN THE TRML-4D RADAR USING THE MINIMUM DESCRIPTION LENGTH PRINCIPLE

R. Hordiienko; S. Homut

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

For TRML-4D, which has high resolution thanks to its Active Electronically Scanned Array (AESA) and digital signal processing, the problem of separating group targets remains relevant in the context of the active use of unmanned aerial vehicles (UAVs) and cruise missiles (CMs) operating in coordination as part of multi-level strike structures by the enemy.

This indicates a growing aerial threat, as these weapons can cause significant losses. It is extremely important for ground-based air defense units to have a clear understanding of the scale and types of such threats in order to neutralize them effectively.

Classic signal processing methods based on threshold detection are often insufficient for determining correctly the actual number of targets in such complex scenarios, especially in conditions of signal overlap or low RCS levels. The application of the minimum description length principle is particularly important because it allows mathematically optimal determination of the number of objects that explain the structure of the received radar data the best.

Based on this principle, successful group target separation is demonstrated even when the distance between objects is less than one separation volume. Its implementation in TRML-4D can significantly improve the separation efficiency of closely spaced airborne objects.

ANALYSIS OF THE TECHNICAL MAINTENANCE PROCESS OF THE IRIS-T SLS LAUNCH SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT THE SPECIFICS OF COMBAT OPERATIONS

E. Morgun; M. Makota

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The technical operation of anti-aircraft missile systems (AAMS) in high-intensity combat conditions presents several challenges. The constant use of weapons, operations in conditions of radio-electronic countermeasures, and the threat of fire damage require the flawless operation of the maintenance and repair system. In real warfare, the time spent on maintaining weapons systems is a critical factor: downtime due to equipment failure reduces the effectiveness of air defense.

An analysis of the existing air defense system maintenance system indicates the need to transition from rigid linear maintenance schedules to adaptive planning methods. Existing maintenance approaches often do not account for the specifics of operations in combat conditions, where resources and specialists are scarce. That is why the introduction of adaptive network planning methods is extremely relevant.

The report examines the peculiarities of maintaining the IRIS-T SLS launcher, accounting for the specifics of combat operations. Specific factors (design features, use intensity, limited logistics routes, time constraints, etc.) that affect the organization of the maintenance process are listed. Emphasis is placed on existing ways to reduce the negative impact on the maintenance of the IRIS-T SLS launcher.

RESEARCH ON THE SIGNAL-TO-NOISE RATIO INFLUENCE ON THE EFFECTIVENESS OF GROUP TARGET SEPARATION IN RADAR SYSTEMS USING THE MINIMUM DESCRIPTION LENGTH PRINCIPLE

R. Hordienko; O. Taran

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Combat experience shows that the enemy actively uses unmanned aerial vehicles (UAVs), anti-radar missiles, and cruise missiles (CMs), which operate in groups using active and passive jammers. Such air attack weapons are often used simultaneously, which complicates their timely detection and separation. For effective air defense, it is important to have radars with high resolution in all key

parameters – range, speed, and angular coordinates – even when the enemy uses electronic warfare.

In such conditions, one of the factors that can affect the ability of RLS to separate group targets is the signal-to-noise ratio. The presence of enemy active and passive jammers covering group targets can significantly change the signal-to-noise ratio. A decrease in this indicator can potentially complicate the separation of group targets. Therefore, studying the role of the signal-to-noise ratio in the process of separating group targets is important for assessing the real capabilities of the radar in conditions where the enemy uses active and passive jammers.

Of particular interest is the analysis of the effectiveness of applying the principle of minimum description length in such conditions, since this principle is theoretically capable of improving the quality of signal processing. However, the nature and degree of its dependence on the signal-to-noise ratio require separate research, which is the purpose of this work and is therefore relevant in modern conditions.

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF THE DATA EXCHANGE CHANNEL BETWEEN THE MK-2 LAUNCHER AND THE FIRE DISTRIBUTION CENTER OF THE NASAMS SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM

*A. Bidun; R. Synytskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University*

Ensuring the state's defense capability is one of the key conditions for its security, sovereignty, and territorial integrity. In modern combat operations, anti-aircraft missile systems play an important role in protecting troops and critical infrastructure from aerodynamic targets, unmanned aerial vehicles, and various types of missiles.

An analysis of the combat experience of anti-aircraft missile units in the Russian-Ukrainian war shows that the effectiveness of air defense systems largely depends on the reliability of the communication channel between the combat assets of the air defense system. Of particular relevance is the study of the structure and functioning of the data exchange channel between the MK-2 launcher and the Fire Distribution Center of the NASAMS system, as well as the assessment of its throughput, sensitivity, and noise immunity under the influence of electronic warfare measures.

To improve the efficiency of information exchange between the Fire Distribution Center and the MK-2 launcher, a simulation model of the data exchange channel has been developed. Simulation modeling allows researchers to study the impact of channel parameters on the quality of information transmission, adjust operating modes, and determine optimal solutions for improving communication.

Signal processing algorithms are applied and analyzed to enhance interference resistance and improve information reception under various transmission conditions. Simulation results allow identification of channel vulnerabilities and formulation of recommendations for performance improvement. Implementation of these recommendations contributes to increased operational effectiveness of the NASAMS surface-to-air missile system.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF TECHNICAL MAINTENANCE PROCEDURES FOR THE IRIS-T SLM LAUNCHER

E. Morgun; D. Khavrun

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Under conditions of intensive operation and combat employment, particular importance is attached to improving the reliability, survivability and operational readiness of launcher units through the refinement of technical maintenance procedures.

An analysis of current approaches to the technical maintenance of the IRIS-T SLM indicates the need to optimise maintenance and repair procedures by reducing time expenditure and improving the effectiveness of technical condition diagnostics.

A promising direction is the implementation of maintenance procedures incorporating built-in test (BIT) capabilities, automated diagnostic systems and telemetry data acquisition.

This paper substantiates proposals aimed at improving the efficiency of technical maintenance procedures for the IRIS-T SLM air defense system through the optimisation of maintenance procedures and the standardization of maintenance documentation, taking into account actual operating conditions.

Implementation of the proposed measures will contribute to an increase in the operational availability, a reduction in operating costs, and an improvement in the overall effectiveness of system employment.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE AIR TARGET DETECTION CHANNEL BY USING AN EXCITER OF INCOHERENT LFM SIGNALS

S. Klietsov; Y. Golub

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analyzing combat experience, we can conclude that the enemy actively uses a wide range of air threats, such as unmanned aerial vehicles (UAVs) and cruise missiles (CM), which are constantly being improved and complicate the work of air defense systems (ADS). Particularly noticeable is the trend toward the intensive use of small and low-profile aircraft capable of operating at extremely low altitudes and in difficult conditions, which complicates their timely detection and classification by radars.

However, the capabilities of classic coherent systems in modern conditions are often limited by the influence of enemy electronic warfare (EW), low effectiveness against small UAVs, and the complexity of separating targets from interference and terrain. These problems can be solved by using the latest signal generation technologies, in particular, exciter of incoherent sequences of linearly frequency-modulated (LFM) radio pulses.

Improvements in recognition systems through the introduction of incoherent LFM pulse sequence exciters significantly expand the capabilities of radars and air defense units. This ensures a more effective response to modern enemy threats, reduces the risk of airspace breaches, and generally strengthens the country's defense capabilities.

DEVELOPMENT OF A NETWORK MODEL FOR TECHNICAL MAINTENANCE IRIS-T SLM LAUNCH SYSTEM

E. Morgun; D. Yavdoschuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Ukraine's experience with air defense in the face of massive attacks with cruise missiles and unmanned aerial vehicles highlights the problem of maintaining the combat readiness of the IRIS-T SLM anti-aircraft missile system (AAMS). One of the components of the SAM system that determines its combat readiness is the launcher, so timely and high-quality maintenance of the launcher is a priority task assigned to the engineering staff and combat personnel.

At the same time, the high intensity of combat operations and the existing limited resources require a systematic approach to the technical operation of SAM systems.

The report considers a network model for the maintenance of the IRIS-T SLM launcher, which enables the determination of a rational maintenance order under resource constraints, eliminates duplicate operations, and synchronizes maintenance personnel's work.

The implementation of the proposed approach aims to improve the reliability of the IRIS-T SLM air defense missile system launcher, reduce downtime when the system is not combat-ready, and optimize the distribution of maintenance workload among maintenance personnel.

THE PRINCIPLE OF MINIMUM DESCRIPTION LENGTH: AN INFORMATION-THEORETICAL APPROACH TO MODEL SELECTION AND ITS APPLICATION IN RADAR

R. Hordienko; S. Trushin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern radar systems operate in conditions of significant uncertainty, active and passive interference, and limited computing resources. Under such conditions, the task of selecting an adequate signal processing model that would ensure high accuracy of target parameter estimation in real time becomes particularly important. Classic approaches to model selection (Bayesian, non-Bayesian, parametric criteria) often demonstrate a tendency for overfitting, as they are based on training samples distorted by noise and random fluctuations. This complicates the interpretation of results and reduces the reliability of decision-making, especially when the number of observations is limited.

The solution to this problem is driven by the need to balance the complexity of the model with its ability to reflect the actual data structure without involving a priori assumptions. In this context, the application of the minimum description length (MDL) principle, which is based on an information-theoretical approach to model selection, is promising. Minimizing the total length of the model and data description reduces the risk of overfitting.

The implementation of these approaches will improve the accuracy and reliability of target detection and tracking in real-world radar station operating conditions.

DEVELOPMENT OF ANTI-AIRCRAFT GUIDED MISSILES BY INTEGRATING DUAL-BAND ACTIVE HOMING HEADS

I. Pomohaiev¹; D. Vykhovanets¹; D. Riabota¹; O. Momit²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine

The traditional guidance system design is based on classic approaches and is characterized by reliability, ease of implementation, and accumulated experience in application. However, it is limited in terms of the implementation of modern technologies, which reduces its efficiency in dynamic combat conditions. On the contrary, the future-oriented approach involves the integration of innovative technologies: artificial intelligence, adaptive algorithms, and parallel computing. It provides high flexibility and accuracy but requires significant resources for development, testing, and protection against cybersecurity threats.

The main trend in the development of high-precision weapons is the transition to autonomous guidance systems with a high level of accuracy and interference resistance. A significant role in this is played by the development of anti-aircraft guided missiles with active homing heads, as well as the integration of dual-band homing heads in the centimeter-millimeter range, which allows targets to be effectively engaged even in complex radio-electronic environments.

The future development of missile guidance systems depends on the balance between proven technologies and the implementation of innovations. In modern warfare, priority is given to autonomous, interference-resistant active homing systems built using promising topologies that ensure high combat effectiveness in the most challenging conditions.

ANALYSIS OF THE STABILITY INDICATORS OF THE PITCHING MOTION ANTI-AIRCRAFT GUIDED MISSILE'S FLIGHT CHANNEL

I. Pomohaiev¹; V. Tsenin¹; V. Surgai¹;

O. Zvieriev², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²The Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine

The flight of an anti-aircraft guided missile is controlled in order to bring it to the calculated point of encounter with the air target in the shortest possible time, with a margin of error that allows the target to be destroyed by the warhead. Due to the rather high requirements for missile guidance accuracy and the high speeds at which they approach their targets, an automatic control system is created to control the missile in an anti-aircraft missile complex, consisting of a pitch control channel (or in the pitch plane), a course control channel, and a roll control channel.

Since the inputs of the mathematical model circuit are subject to both specified and interfering actions, the systematic error has two components: systematic dynamic error and systematic error caused by interference, and fluctuation error, consisting of fluctuation dynamic error and fluctuation error caused by interference.

The normalized transient characteristics of the system were obtained for different signal-to-noise ratio values, based on which the overregulation and regulation time were found. The control system was corrected to ensure the stability and required dynamic properties of the guided missile control system.

PROPOSALS FOR IMPROVING THE ANGULAR RESOLUTION OF ON-BOARD JAMMER DETECTION SYSTEMS ON CRUISE MISSILES

*V. Dzhus¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
D. Muzhilo¹; S. Kukobko²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Department of UA DEFENSE LLC

To strike critical infrastructure in Ukraine, the enemy actively employs massed attacks using cruise missiles. To suppress the radar assets of air defense missile systems during such strikes, the cruise missiles are equipped with onboard active noise jammers. Experience from the Air Defense Missile Forces indicates that the angular resolution of the standard radar systems of air defense missile complexes is insufficient to accurately assess the jamming environment.

To improve the angular resolution of next-generation radar systems, it is advisable to apply modern spatial spectral analysis methods. To obtain quantitative indicators of the resolution capabilities of SSA methods under conditions of the Russo-Ukrainian war, a mathematical model of a phased-array antenna direction finder was developed.

Quantitative resolution metrics were obtained for the most well-known spatial spectral analysis methods, specifically the Minimum Variance Method and the Linear Prediction Method, under conditions of detecting active noise jammers on cruise missiles. The advantages of spatial spectral analysis methods and the conditions for their effective application were demonstrated.

Based on these results, practical recommendations were provided for implementing the considered spatial spectral analysis methods in prospective phased-array radars of air defense missile systems.

FEATURES OF UTILIZING COMBAT EXPERIENCE OF MILITARY UNITS ARMED WITH THE S-300V1 AIR DEFENSE MISSILE SYSTEM IN SCIENTIFIC ACTIVITY DURING THE TRAINING OF STUDENTS

Y. Roshchupkin¹; R. Tytarenko¹; A. Lutsenko¹; A. Udovenko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Military Unit A2648

The combat experience of military units armed with the S-300V1 air defense missile system is acquired by students and academic staff directly within military units during the conduct of training sessions, practical training, and military internships of representatives of the Air Defense Missile Forces Faculty on a permanent basis, including additional classes and round-table discussions.

Based on the analysis of the information obtained, relevant topics for course papers and qualification theses were formulated jointly with students. The students understood the essence of the identified problem issues and their relevance, and were aware of the importance of addressing them.

During the process of preparing course papers and qualification theses, students and academic staff of the Air Defense Missile Forces Faculty were actively involved in discussing the obtained results at international conferences. On the basis of the analyzed materials, one scientific article on a specialized topic was published in a leading professional journal in 2025, and two more articles were submitted for publication.

The results obtained by the students were taken into account and implemented by Military Unit A2648 during the development of a number of regulatory and guiding documents. Thus, in addition to acquiring the necessary knowledge, students gain the opportunity to develop skills in scientific forecasting of potential problem areas and ways to address them, while providing substantial practical benefit to Air Defense Missile Forces units during their training.

MODEL OF TARGET ALLOCATION FOR TACTICAL OPERATIONS CENTER OF THE IRIS-T SLM GROUND-BASED AIR DEFENCE SYSTEM

O. Doska¹, Candidate in Technical Sciences; V. Manzhora¹; I. Doska²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²University of Latvia, Riga, Latvia

Modern air threats are characterized by high dynamics, wide variety of target types, and use of complex tactical techniques, which significantly complicates the process of engagement operation control for ground-based air defence systems (GBAD). Effectiveness of air defence largely depends on speed and validity of decision-making regarding the allocation of available weapons under conditions of uncertainty in the input data.

This paper considers a mathematical model of weapons allocation for the Tactical Operations Center of the IRIS-T SLM GBAD system, which is based on application of the Bayesian method in determining the efficiency indicator. The model takes into account data on air targets, protected objects, GBAD system characteristics, combat formation, and level of enemy air actions threat to the protected facility.

It was concluded that an object-oriented approach aimed at minimizing the total expected losses caused by enemy air attacks is applied to solve the optimization problem when allocating weapons in the IRIS-T GBAD system. Therefore, a modified Hungarian method is used to solve the optimization problem, which allows for fast and accurate decision-making in real time without requiring significant computational resources.

The research results confirm the feasibility of using the developed model to improve the effectiveness of engagement operation control in GBAD systems.

FROM REACTIVE ADAPTABILITY TO PROACTIVE SYNTHESIS AND DICTATE OF WILL: DATA-CENTRIC ARCHITECTURE AS THE ENGINEERING FOUNDATION OF COGNITIVE WARFARE

A. Skoryk¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

M. Surhai¹, Candidate of Technical Sciences; K. Kornieiev²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²DB "Pivdenne" M.K. Yangel

Introduction. This report responds to the challenges of modern warfare, which reveals the architectural crisis of hierarchical management systems. It justifies the need to transition to a flexible, data-centric architecture capable of functioning in conditions of cognitive warfare.

Main part. The central element of the proposed architecture is CORTEX (Cognitive Resource & Task Execution nexus) – an intelligent analytical engine designed to automate resource allocation and dynamic system synthesis. The

article formalizes a new management philosophy based on cognitive symbiosis, where the human commander takes on the role of “Architect of the Concept”, defining strategic goals, while CORTEX acts as an “optimization engine”, implementing these goals in practice. The key engineering principle is the complete separation of the physical and cognitive layers, which allows the creation of virtual workplaces, radically increasing the survivability and efficiency of personnel.

Conclusions. The proposed architecture provides the engineering foundation for a fundamental doctrinal shift: from reactive adaptability to proactive synthesis and the dictates of will. Tools such as systemic “immunity” and exchange rate inversion become the basis for waging cognitive warfare, where the main goal is not physical destruction, but shifting the enemy’s “Overton window” to the point of accepting our plan.

CURRENT ISSUES IN IMPROVING THE ORGANISATION OF MILITARY REPAIRS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE WEAPONS

*P. Openko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; S. Babenko
National University of Defence of Ukraine*

The relevance of this task is due to changes in the conditions of modern warfare, which are characterised by changes in the frequency of maneuvers by anti-aircraft missile units, increased consumption of anti-aircraft missile weapons (AAMW) resources, limited capabilities of stationary repair and restoration bodies (RRB) and available time resources. Therefore, the logistics support system must meet today’s conditions, namely, be mobile, flexible and scientifically sound.

The report examines the organization of military (field) repairs of AAMW in RRB, in which work is distributed according to complexity and actual capabilities for its implementation. This approach allows for the timely detection of malfunctions and minimization of downtime, objective assessment of the condition of components, assemblies and units, and transition to operation based on actual technical condition. At the same time, in accordance with the intensity of operation of AAMW samples, it is reasonable to create mobile stocks of material resources, plan the supply of spare parts and tools, and determine the need for professional training of personnel to perform tasks directly in the field.

Therefore, improvements to the organization of military repairs of air defence systems should be based on the principles of mobility, efficiency and a comprehensive approach. Only under such conditions is it possible to ensure the technical readiness of AAMW models, reduce the time required for restoration in the RRB in the event of damage, and ensure the increased effectiveness of anti-aircraft missile units in performing tasks to cover important state and military objects in conditions of intense combat operations.

ЩОДО СТВОРЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ТА ПРОТИРАКЕТНОЇ ОБОРОНИ УКРАЇНИ

*В.Г. Паталаха, к.військ.н., доц.
Національний університет оборони України*

В умовах ведення російсько-української війни та високої інтенсивності ударів повітряного противника по важливим державним та військовим об’єктам на території України, гостро постає питання щодо створення та

розвитку інтегрованої системи протиповітряної та протиракетної оборони (ППО-ПРО) з урахуванням вимог, що ґрунтуються на принципах і стандартах, прийнятих у збройних силах країн-членів НАТО.

Створення перспективної моделі інтегрованої системи ППО-ПРО передбачає досягнення відповідних стратегічних цілей, основними з яких можуть бути:

досягнення інтероперабельності з системами ППО-ПРО країн-членів НАТО;

створення цілісної системи на основі єдиного інформаційного поля, узгоджених принципів планування, застосування та управління, інтеграції наявних та перспективних ЗРК;

створення єдиної системи автоматизованого управління з відкритою архітектурою з інтеграцією ЗРК радянського, іноземного виробництва та перспективних ЗРК;

інтеграція ППО-ПРО у багатодоменну систему оборони держави (забезпечення узгодженої взаємодії ППО-ПРО з іншими складовими сил оборони держави);

створення адаптивної інтегрованої системи ППО-ПРО, здатної до своєчасного реагування на зміни існуючих та потенційних загроз з урахуванням технологічного розвитку засобів повітряного нападу противника;

забезпечення стійкості та живучості системи ППО-ПРО (забезпечення функціонування системи в умовах інтенсивного вогневого, радіоелектронного та інформаційно-технічного впливу противника);

розвиток системи підготовки персоналу, здатного діяти в умовах інтегрованої, багатодоменної оборони.

CURRENT STATE OF THE TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM FOR OPEN ARCHITECTURE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS

*P. Cherniavskiy; P. Openko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
National University of Defence of Ukraine*

Today, the Air Force of the Armed Forces of Ukraine has anti-aircraft missile systems of both Soviet and foreign manufacture, including the latest open architecture systems (NASAMS, IRIS-T SLM/SLS). The main task of the existing maintenance and repair system (M&R) is to maintain a high level of readiness for combat missions of anti-aircraft missile weapons (AAMW), which is quite a difficult task and requires a comprehensive approach. This system is characterized by high structural and functional complexity, as well as strict safety requirements and precision of operation.

Research has shown that the operation of AAMW in high-intensity combat conditions is characterized by: significant stress on components and assemblies; prolonged exposure of AAMW samples with equipment switched on; the influence of electronic warfare; the likelihood of combat damage of varying severity; and limited time for restoration of operability. As a result, the range of failures changes, and the proportion of hidden and combined malfunctions increases, which significantly complicates maintenance and repair processes.

Thus, at the present stage, the M&R system is in the process of implementing new approaches to performing its tasks. This is due to the introduction of new

foreign AAMW, including those with open architecture. Approaches used in partner countries are gradually being introduced, allowing for more rational use of available resources for repairing AAMW and the time required to carry it out.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ В ХОДІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

*П.В. Дранник, к.військ.н., с.н.с.; І.В. Ков'ях
Національний університет оборони України*

Ремонт озброєння та військової техніки протиповітряної оборони є ключовою складовою забезпечення боєздатності угруповання зенітних ракетних військ в умовах ведення сучасних бойових дій. Інтенсивність застосування засобів повітряного нападу, постійна модернізація та удосконалення зразків озброєння, їх різноманітність й висока динаміка ведення бойових дій, вимагають прийняття своєчасного та обґрунтованого рішення щодо організації та проведення ремонтно-відновлювальних робіт на пошкоджених зразках озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ. За цих умов наявність обґрунтованого науково-методичного апарату оцінювання ефективності ремонту озброєння та військової техніки набуває першочергового значення. Аналіз існуючих методик показав, що вони не повною мірою враховують комплексність ремонту, можливості ремонтних органів, рівень підготовки персоналу та умови ведення бойових дій.

У статті запропонована методика, яка на відміну від існуючих, передбачає комплексне врахування організаційних, технічних та кадрових чинників, зокрема, рівня навченості особового складу, технічної готовності ремонтних органів, їх забезпеченості документацією, умов ведення бойових дій. Це дає змогу підвищити достовірність оцінювання ефективності ремонту та обґрунтувати вибір варіантів проведення ремонту з урахуванням конкретної бойової обстановки. Дана методика може бути використана органами управління під час планування логістичного забезпечення бойових дій підрозділів Повітряних Сил Збройних Сил України та для проведення розрахунків в подальших дослідженнях за даним напрямом.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ OSINT ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВЕДЕННЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

*Б.Ж. Шкурат, д.філос.
Національний університет оборони України*

Ефективність сучасної протиповітряної оборони критично залежить від повноти розвідданих щодо повітряного противника, проте традиційні методи часто не покривають інформаційні потреби щодо стратегічних намірів, економічного потенціалу та технологічних новинок противника. Системне застосування OSINT (розвідки на основі відкритих джерел) дозволяє заповнити ці прогалини на всіх рівнях управління. На стратегічному етапі аналіз відкритих джерел: соціальних мереж, супутникових знімків, технічних патентів, фінансових звітів тощо, допомагає прогнозувати обсяги виробництва засобів повітряного нападу, виявляти місця їх базування та оцінювати вплив

санкцій на компоненти ракет і БПЛА. Це створює базу для стратегічного розвитку системи ППО та формування вимог до майбутнього озброєння.

На оперативному та тактичному рівнях OSINT забезпечує ситуаційну обізнаність у реальному часі, дозволяючи відстежувати переміщення ворожої авіації та ідентифікувати маршрути польоту цілей через моніторинг соцмереж і локальних чатів. Ці дані інтегруються в систему управління для розподілу цілей між вогневими підрозділами, верифікації результатів ударів та вибору оптимальних позицій з урахуванням рельєфу. Інституціоналізація OSINT-аналізу та впровадження алгоритмів машинного навчання для автоматизації збору інформації є нагальною потребою, що дозволить створити єдиний інформаційний простір для ефективної протидії сучасним повітряним загрозам.

КОМБІНОВАНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБАМИ УРАЖЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

М.М. Сопічев

Національний університет оборони України

Забезпечення засобами ураження сил і засобів протиповітряної оборони є невід'ємною складовою логістики сучасних бойових дій. Зростання потужності та інтенсивності застосування противником засобів повітряного нападу в російсько-українській війні накладає підвищені вимоги до оперативності поповнення засобів ураження. Недостатня або несвоєчасна доставка засобів ураження прямо впливає на боєздатність підрозділів протиповітряної оборони. Отже, метою дослідження є визначення шляхів підвищення ефективності забезпечення засобами ураження підрозділів ППО шляхом розроблення комбінованого багаторівневого підходу до оптимізації доставки.

В роботі запропоновано формулювання комбінованої транспортної задачі доставки засобів ураження з розподілом функцій між стратегічним, оперативним і тактичним рівнями. Для досягнення мети дослідження застосовано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів: системний аналіз, узагальнення, методи розв'язання транспортної задачі. Моделювання двох варіантів постачання (пряма доставка та хаб-сценарій) показало практичну перевагу запропонованого підходу до доставки над класичним.

Результати дослідження можуть бути використані органами управління логістичним забезпеченням для планування доставки засобів ураження та інших матеріально-технічних засобів в умовах динамічних бойових дій. Результати дослідження також будуть корисними для фахівців з військової логістики, дослідників у галузі прикладної оптимізації та розробників автоматизованих систем підтримки прийняття рішень в галузі логістики.

ПОГЛЯДИ НА СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ППО/ПРО

Ю.О. Горобець; В.Ю. Горобець

Національний університет оборони України

Для створення ефективної протиповітряної та протиракетної оборони (ППО/ПРО) об'єктів та угруповань військ необхідно створення єдиної інтегрованої системи (ЄІС) ППО/ПРО. Для цього потрібно першочергове

переоснащення ЗРВ відповідно до розробленої спільно з країнами-партнерами архітектури ЄІС ППО/ПРО. Базовими для створення системи зенітного ракетного прикриття стануть сучасні ЗРК великої, середньої та малої дальності. Головне – це має бути створена підсистема ПРО, як складова системи ППО.

З урахуванням призначення та завдань Повітряних Сил, аналізу безпекового середовища та використовуючи світовий досвід є потреба у створенні функціонально спрямованої системи боротьби з балістичними ракетами різних типів, яка має бути інтегрована до системи ППО/ПРО, що розгорнута у Європі. ЄІС ППО/ПРО у Європі (Integrated Air and Missile Defense – IAMD) – це об'єднання всіх засобів виявлення, управління і ураження повітряних та балістичних цілей в одну інформаційно-бойову мережу.

Перспективна підсистема ПРО системи ППО країни має мати підсистеми: управління ПРО; розвідки та оповіщення про ракетну небезпеку; протиракетного прикриття.

Ієрархічна побудова перспективної підсистеми ПРО повинна бути створена на тактичному, оперативному та стратегічному рівнях.

Таким чином, створення ЄІС ППО/ПРО потребує комплексного підходу до реалізації передбачених напрямів розвитку. Інтеграція до існуючої системи ППО/ПРО країн НАТО дозволяє постійно нарощувати підсистему ПРО країни.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОЙОВИХ ДІЙ УГРУПОВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК У ПРОТИПОВІТРЯНІЙ ОБОРОНІ ОПЕРАТИВНОГО УГРУПОВАННЯ ВІЙСЬК

О.С. Тимченко

Національний університет оборони України

В основу удосконаленої методики покладені існуючі методи для визначення інтегрованої зони ураження, математичні моделі протиповітряного бою та протиповітряної дуелі та тимчасова штабна методика оцінювання ефективності протиповітряної оборони.

Для визначення ефективності бойових дій угруповання ЗРВ обрані показники: кількість стрільб до заданого рубежу, щільність вогню на заданому рубежі, середня ефективність стрільб, математичне сподівання кількості знищених засобів повітряного нападу при відбитті удару чи при витраті визначеної кількості ракет.

Потрібні для розрахунку ефективності угруповання ЗРВ значення відносних втрат сторін у динаміці бою можуть бути знайдені зі спрощеною схемою дуельних боїв для кожного ЗРК, представленою графом, різні стани кожного ЗРК під час бою.

Для визначення залежності розташування підрозділів ЗРВ в оперативній побудові доцільно ввести коефіцієнт, що враховує розташування зенітного ракетного підрозділу в оперативній побудові угруповання військ в операції. Цей коефіцієнт може бути визначений методом експертного оцінювання. Вказаний коефіцієнт рекомендовано використовувати під час проведення оперативних розрахунків для оцінювання ефективності бойових дій угруповання ЗРВ при плануванні операції ОУВ.

Таким чином, запропоновано удосконалити методику шляхом введення коефіцієнту, що враховує віддалення підрозділу ЗРВ від переднього краю. Це дозволить при побудові угруповання сил і засобів Повітряних Сил урахувувати фактор живучості підрозділів ЗРВ у оперативній побудові ОУВ.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ УГРУПОВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК

О.В. Новіков

Національний університет оборони України

Існуюча методика визначення складу угруповання враховує базові технічні характеристики і типові варіанти застосування засобів повітряного нападу на середніх та великих, а також на малих і гранично малих висотах, яка недостатньо детально враховує додаткові фактори, які набули актуальності, такі як: застосування противником ракет по балістичній траєкторії та застосування крилатих ракет, які мають меншу відбиваючу поверхню, на гранично малих висотах з огинанням рельєфу місцевості, тим самим значно підвищуючи математичне очікування кількості знищених цілей. Через це прогнозовані показники ефективності угруповань зенітних ракетних військ у ряді реальних сценаріїв виявляються занадто оптимістичними та непридатними для прийняття рішень у бойовій обстановці.

Удосконалена методика визначення складу змішаних угруповань зенітних ракетних військ дозволяє визначити найбільш небезпечний і найбільш імовірний варіант складу засобів повітряного нападу противника, що в свою чергу дає можливість визначити склад більш ґрунтовно та більш якісно оцінити його ефективність. Методика враховує кількісну та якісну оцінку впливу саме крилатих ракет на малих висотах, а також кількісну та якісну оцінку впливу засобів повітряного нападу, які діють по балістичним траєкторіям.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ СИЛ І ЗАСОБІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

І.Б. Громовий

Національний університет оборони України

Ремонт сил і засобів протиповітряної оборони є невід'ємною складовою сучасних бойових дій, а постійний розвиток озброєння, удосконалення його конструкцій, умов застосування та висока динаміка змін обстановки вимагають від посадових осіб швидкого та обґрунтованого вибору способу виконання завдань з відновлення боєздатності техніки. Для цього необхідні відповідні моделі оцінювання ефективності ремонту сил і засобів протиповітряної оборони. Однак існуючі моделі не враховують комплексність системи технічного забезпечення, її сучасний склад, специфіку умов бойової обстановки та можливі наслідки рішень посадових осіб.

Метою дослідження є удосконалення методики оцінювання ефективності ремонту сил і засобів протиповітряної оборони. Запропонована в статті методика, на відміну від існуючих, ґрунтується на комплексному врахуванні вихідних даних, що дає змогу адаптувати вибір моделі до конкретних умов та рівня ухвалення рішень. Результати дослідження можуть бути корисними командувачам угруповань (командирам військових частин) протиповітряної оборони, під час прийняття рішень щодо організації ремонту, а також посадовим особам, які безпосередньо організовують і забезпечують процес ремонту, та науковим працівникам під час проведення досліджень у цій сфері.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДДАЛЕННЯ БОЙОВИХ ПОЗИЦІЙ УГРУПОВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ВІД МЕЖ ОБ'ЄКТІВ ПРИКРИТТЯ

Є.О. Гринько

Національний університет оборони України

Згідно з одним із принципів застосування військових частин зенітних ракетних військ є узгоджене спільне застосування ЗРК (ЗРС) різного типу для прикриття об'єктів (військ).

Узгоджене спільне застосування повинне забезпечити високу ефективність системи зенітного ракетного прикриття за рахунок ешелонування вогню та максимального використання можливостей ЗРК (ЗРС) відповідно до їх основного призначення.

У зв'язку із тим, що в керівних документах не надані чіткі рекомендації щодо варіантів побудови бойових порядків та створення системи вогню для прикриття об'єктів угрупуванням ЗРВ змішаного складу, виникає нагальна потреба в удосконаленні методики визначення віддалення бойових позицій угрупування зенітних ракетних військ від меж об'єктів прикриття.

Удосконалена методика визначає універсальний підхід до розрахунків, який враховує розміри, особливості об'єкту прикриття (всі об'єкти за формою, розміром, масштабом, географічним розташуванням різні), дозволяє більш ґрунтовно оцінювати бойові можливості угрупування ЗРВ змішаного складу під час прикриття важливих державних об'єктів в конкретних умовах обстановки. Врахування особливостей об'єктів прикриття, намагання противником діяти на малих та гранично малих висотах усуває нові вимоги щодо дослідження способів підвищення ефективності ведення бойових дій.

СУЧАСНІ РЕАЛІЇ ЗАСТОСУВАННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УКРАЇНИ

С.В. Королько, к.т.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасна тактика застосування зенітних ракетних військ для захисту повітряного простору України формується під впливом реального бойового досвіду угрупуваннями протиповітряної оборони (ППО). Протягом тривалого часу повітряна загроза з боку російської федерації набула комплексного характеру. Вона включає застосування літаків, крилатих і балістичних ракет, а також ударних безпілотників. У цих умовах зенітні ракетні війська стали ключовим елементом системи протиповітряної оборони. Основою сучасної тактики є ешелонована побудова системи ППО. Вона забезпечує ураження повітряних цілей на різних дальностях і висотах. Досвід бойових дій показує високу ефективність поєднання дальніх, середніх і ближніх зенітних ракетних комплексів. Важливою складовою тактики стала також висока мобільність підрозділів ЗРК. Часті зміни позицій, їх маскування та інженерне обладнання зменшують уразливість від ударів противника. Ще одним важливим напрямком розвитку є інтеграція західних зразків озброєння в можливості нашої ППО, що розширює бойові можливості наших підрозділів. Особливого значення під час ефективної ППО набуває підготовка особового складу. Вона повинна враховувати реальні сценарії повітряних атак та характер повітряних

ударів противника. Відбувається поступова модернізація технічних можливостей ЗРК, зміцнення логістики та мобільність налагодження і ремонту технічних систем. Таким чином, інтеграція нових технологій і використання закордонних боєприпасів від партнерів стають критично важливими через інтенсивність повітряних загроз і високі вимоги до захисту повітряного простору України.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНЦІЇ ПОСТАНОВКИ АКТИВНИХ ПЕРЕШКОД СП-504 КРИЛАТОЇ РАКЕТИ Х-101

В.Л. Палій, к.т.н.; В.А. Васильєв, к.т.н., с.н.с.;

О.О. Головін, к.т.н., с.н.с.

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Досвід ведення бойових дій у ході російсько-української війни свідчить про масоване застосування противником засобів ураження, зокрема крилатих ракет, що обладнані засобами постановки активних перешкод (ПАП). Це створює складні умови роботи радіолокаційних систем виявлення та супроводження повітряних цілей, наведення зенітних керованих ракет, функціонуванню їх головок самонаведення та радіопідживачів і, як наслідок, зменшення кількості уражених цілей та збільшення витрат зенітних керованих ракет (ЗКР). В цих умовах актуальною є задача пошуку шляхів протидії зазначеним засобам, необхідною умовою вирішення якої є аналіз даних про принципи побудови, алгоритми функціонування та технічні характеристики станцій ПАП зі складу крилатої ракети Х-101.

Проведений технічний аналіз залишків станції постановки активних перешкод дозволив встановити конструктивні особливості та отримати інформацію про структуру, можливості та її технічний рівень. Методика проведення досліджень базувалась на: ідентифікації структурних елементів станції, аналізу елементної бази, включно з НВЧ модулями, елементами цифро-аналогового тракту та модулями обробки сигналу; відтворення принципових схем, визначення функціональних блоків і алгоритмів роботи а також визначення частотного діапазону роботи станції.

Отримані характеристики забезпечують основу для подальших робіт щодо підвищення завадостійкості РЛС ППО та засобів ЗКР.

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ЗАСАД СТВОРЕННЯ ЗЕНІТНОГО АРТИЛЕРІЙСЬКОГО КОМПЛЕКСУ З ПРОГРАМОВАНИМ ПОВІТРЯНИМ ПІДРИВОМ

С.М. Петрук, к.т.н., ст.д.

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Основною проблемою розвитку артилерійського ешелону протиповітряної оборони у ЗС України є відсутність цілісного науково обґрунтованого підходу до створення зенітного артилерійського комплексу калібру 30÷40 мм, спроектованого під застосування боєприпасів з програмованим повітряним підривом (ППП). Наявні зразки озброєння та їх модернізації не формують

інтегрованої системи, у межах якої засоби виявлення, управління вогнем, програмування пострілу та ураження функціонують як єдиний контур.

Масоване застосування малорозмірних БпЛА та комбінованих засобів повітряного нападу потребує переходу від фрагментарних рішень до формування завершеної концепції комплексу. Світова практика підтверджує, що ефективність ППП забезпечується узгодженням параметрів обчислення траєкторії, моменту програмування та характеристик зони ураження, що дозволяє підвищити ймовірність знищення цілі при раціональній витраті боєприпасів. Досвід 2022–2025 років виявив відсутність уніфікованої архітектури інтеграції та недостатність критеріїв оцінки за показником вартості перехоплення.

Створення комплексу має здійснюватися як формування єдиної інтегрованої системи на основі спільної математичної моделі процесу ураження з урахуванням вимог до надійності та ресурсу. У 2026 році доцільним є проведення НДР для визначення технічного вигляду комплексу та підготовки вимог на подальшу ДКР, що забезпечить науково обґрунтовану основу формування вітчизняного ЗАК ближньої дії та підвищення стійкості системи ППО.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ЗРВ

І.Ю. Мурашов; І.Г. Гнатов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Російсько-українська війна має комплексний, багатомірний характер. Вона поєднує класичні та новітні форми: традиційні бойові дії із застосуванням сучасних технологій перехрещуються з інформаційними, кібернетичними та економічними методами впливу. Зважаючи на дії російської федерації, спостерігаємо, що війна проти України не обмежується лише веденням бойових дій на фронті. Відбуваються широкомасштабні атаки на критичну інфраструктуру – зокрема енергетичну, транспортну та життєзабезпечуючу, – що свідчить про цільовий підхід, спрямований на руйнування умов для нормального життя цивільного населення.

За таких обставин основний акцент в обороноздатності країни припадає на застосування зенітних ракетних комплексів, основним завданням яких є оборона міст і стратегічних об'єктів; прикриття військ на полі бою; протиракетна оборона; контроль повітряного простору. Виявлення та знищення літаків і вертольотів противника, перехоплення крилатих і балістичних ракет, протидія ударним безпілотникам за допомогою ЗРК дозволяють зберегти функціонування енергетичної та транспортної систем навіть під час активних бойових дій; змушує противника змінювати тактику та обмежує його можливості; зменшує паніку та створює відчуття контролю над ситуацією.

Акцент на знищенні критичної інфраструктури свідчить про вихід російсько-української війни за межі класичної військової стратегії. Метою “русні” є паралізація життєво важливих систем, дестабілізація економіки та підрив морального духу цивільного населення, що робить війну руйнівною не лише для військових, а й для всієї громадськості країни.

ЗАСТОСУВАННЯ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В АСУ ПІДРОЗДІЛАМИ ППО

Є.М. Бойко; В.В. Гула

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасні повітряні атаки характеризуються масованістю та високою швидкістю, що переважує операторів АСУ. Впровадження інтелектуальних агентів дозволяє автоматизувати розподіл цілей та оптимізувати використання ресурсів у реальному часі.

Розробка концепції інтелектуального помічника для автоматизованого робочого місця командира, здатного прогнозувати дії противника та пропонувати оптимальні сценарії відбиття удару.

Агентно-орієнтований підхід передбачає створення автономних програмних модулів, кожен з яких відповідає за окремий сегмент оборони. Ми розглядаємо це як перехід від жорстких алгоритмів до адаптивного управління. Використання навчених нейромереж дозволяє системі розпізнавати типи повітряних цілей за непрямими ознаками та автоматично коригувати роботу засобів радіолокації. Це забезпечує стійкість системи управління навіть при втраті зв'язку з частиною вузлів, оскільки кожен агент може діяти самостійно в межах загальної логіки операції. Такий підхід мінімізує “людський фактор” та скорочує час від виявлення об'єкта до його ураження.

Впровадження елементів ШІ в АСУ перетворює систему з інструменту відображення даних на активного учасника бойового процесу. Це є ключовим фактором досягнення технологічної переваги над агресором

PROPOSALS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE RESTORATION OF DAMAGED WEAPONS AND EQUIPMENT

*O. Serpukhov¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
W. Zaloga², Ph.D.*

*¹Military Institute of Armored Forces of the National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”;*

²Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

A feature of modern combat operations is the involvement of various types of unmanned vehicles. The role of unmanned vehicles is growing which can significantly improve the processes of inspection, evacuation and repair of weapons and equipment during combat operations or in difficult-to-reach areas.

The use of unmanned vehicles allows you to significantly reduce the repair time of weapons and equipment samples and reduce risks for personnel working in the combat zone. With the help of unmanned vehicles, you can inspect damage (malfunctions) of weapons and equipment samples, assist in the transportation of tools and small spare parts, and also directly participate in repair work using specialized manipulators or technical modules.

Among the main requirements for the efficiency indicators of restoring damaged (malfunctioning) weapons and equipment using unmanned vehicles, it is proposed to highlight: the efficiency of work, the probability of a serviceable

technical condition after restoration, the coefficient of providing spare parts and repair kits for restoration, the coefficient that determines the efficiency of using methods and means of conducting restoration operations, the probability of safe performance of recovery operations, including taking into account the involvement of additional forces and means.

Thus, the effective recovery of damaged (malfunctioning) samples of weapons and equipment in hard-to-reach areas and in combat conditions is a complex but necessary process that requires timely response, highly qualified personnel and the use of advanced technologies.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ТЕХНІЧНИЙ ОБ'ЄКТІВ

В.В. Кот; С.В. Герасимов, д.т.н., проф.

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

Надійна та безпечна експлуатація силової установки досягається застосуванням раціональної системи контролю та діагностування. Система технічного контролю та діагностування при цьому повинна включати періодичний контроль технічного стану, визначення ступеня небезпеки дефектів і оцінювання остаточного ресурсу обладнання силової установки.

Розглянуто основні методи контролю та діагностування технічного стану силової установки технічних об'єктів.

Запропоновано метод синтезу вібраційного вимірювального сигналу, в основі якого є представлений алгоритм обчислення оцінки дисперсії вимірювального вібраційного сигналу, параметрів (характеристик) вимірювального сигналу. Зміна параметрів вібраційного вимірювального сигналу під час функціонування ДВЗ технічних об'єктів є маркерами дефектів (несправності) силової установки. Запропоновано аналітичні залежності, які визначають основні параметри вібраційного вимірювального сигналу. Наведено результати комп'ютерного моделювання запропонованих фільтрів, результати якого підтвердили доцільність використання отриманих результатів.

Розглянуто напрямки подальших досліджень, де планується дослідити використання різних видів модуляції часових параметрів синтезованого вібраційного вимірювального сигналу для дистанційного контролю та діагностування технічного стану силової установки технічних об'єктів. Це дозволить підвищити оперативність виявлення можливих відмов технічних об'єктів (за рахунок відсутності потреби у демонтаванні), тобто підвищити їх технічну готовність.

СЕКЦІЯ 7

ТАКТИКА РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК, РОЗВИТОК ТА БОЙОВЕ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ РТВ. ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ В ХОДІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Керівники секції: полковник Гринчак Р.М.;
д.т.н. проф. полковник Худов Г.В.
Секретар секції: підполковник к.т.н. доц. Яровий С.В.

THE MAIN STATEMENTS OF THE DEVELOPMENT CONCEPT OF THE RADIO TECHNICAL TROOPS OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

R. Hrynychak

Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

The Radio Technical Troops (RTT) are a high-technology branch of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine that ensures radar surveillance of the airspace and forms the basis of the detection and warning subsystem of the air defense system. In the conditions of the ongoing aggression of the Russian Federation, the importance of the information component of the air defense system is increasing. Therefore, the development of the RTT is a necessary condition for effective airspace control and successful countering of modern aerial threats.

The goal of the RTT development is to create a modern, integrated, and mobile radar reconnaissance system capable of ensuring continuous airspace surveillance, timely detection of aerial threats, and effective information support for the air defense system. A priority is to increase the level of automation in radar data processing and to ensure interoperability with the command and control systems of the Air Force and NATO member states.

The development of the RTT includes modernization of existing radars and procurement of modern mobile radars, establishment of a multi-layered radar surveillance system, and increased mobility of units. The main statements include the implementation of automated command and control systems, digital signal processing, and network-centric principles of information exchange, as well as improving system survivability through the dispersion of units and maneuvering of positions.

As a result of implementing development measures by 2030, the RTT are expected to become a mobile and high-technology component of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. Improvements are expected in the effectiveness of radar airspace surveillance, the timeliness of aerial target detection, resilience to electronic warfare, and integration into a unified air defense command and control system, which will strengthen national security and ensure interoperability with NATO systems.

USE OF A NETWORK OF PORTABLE SDR RECEIVERS IN THE RADAR AND RADIO-TECHNICAL RECONNAISSANCE SYSTEM OF RADIO-TECHNICAL TROOPS

*R. Hrynychak¹; H. Khudov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
M. Liamtsev²; I. Seryozhenko²*

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National University of the Air Force

The modern nature of the combat use of radio-technical troops is characterised by an increase in the intensity of use of small unmanned aerial vehicles (primarily reconnaissance vehicles) operating at low and extremely low altitudes. Their small effective scattering surface and complex radio-electronic conditions reduce the effectiveness of their detection by traditional methods using radar equipment. This, in turn, significantly affects the effectiveness of radar reconnaissance of such airborne objects. Additionally, the uncertainty in determining their coordinates increases, which negatively affects the timeliness of decision-making in the air defence system.

One of the ways to improve the effectiveness of radar reconnaissance is to use dispersed mobile direction-finding stations based on Software-Defined Radio receivers integrated into a single network. In order to improve the speed of detection and determination of the coordinates of reconnaissance unmanned aerial vehicles, the paper proposes a network of three Software-Defined Radio receivers (direction finding stations). An adaptive algorithm for selecting a working pair of receivers from three deployed positions is proposed. The algorithm involves measuring bearings by each receiver, determining their intersection angles for all possible pairs, and selecting the pair with the most favourable observation geometry. The use of the triangulation method, taking into account the adaptive selection of pairs, allows for increased efficiency and reduces the impact of unfavourable bearing convergence angles on the accuracy of coordinate determination.

The results of mathematical modelling using the Monte Carlo statistical testing method showed that the shape and size of the error ellipses significantly depend on the relative position of the bearing points and the radiation source. It has been established that adaptive pair selection allows reducing areas of uncertainty and increasing the reliability of radar information in conditions of manoeuvrable combat use of radio-technical troops. Recommendations for using the proposed approach are based on an analysis of current trends in the development of air attack weapons, the experience of combat use of radio-technical troops, and the need to increase the survivability and flexibility of the radar reconnaissance system.

DEVELOPMENT OF DIGITAL SIGNAL PROCESSING THEORY IN COGNITIVE RADAR SYSTEMS BASED ON THE USE OF SYNTHETIC DATA

*K. Vasiuta, Doctor of Technical Sciences, Professor; O. Kolomiitsev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern cognitive radar systems, a significant challenge is the processing of distorted complex signals resulting from complex multiplicative processes such as reflection, multipath propagation, and active jamming. Conventional statistical methods do not allow for the reliable detection of such signals, which reduces the effectiveness of target detection and recognition.

A promising approach involves the use of surrogate data generation methods, which involve cloning signal instances while preserving all of their characteristics, including dynamic ones. The most common methods are IAAFT (Iterative Amplitude Adjusted Fourier Transform) and AATFT (Amplitude Adjusted Truncated Fourier Transform), which allow the temporal, frequency, and dynamic properties of signals to be preserved when they are subjected to additive and multiplicative noise.

In most scientific studies, synthetic data is used solely to test the hypothesis of signal linearity using the BDS test (Brock–Dechert–Scheinkman test). However, this approach does not allow for a quantitative assessment of the degree of nonlinearity and is not suitable for integration into real-time processing systems.

In this paper, the authors propose a metric that will enable a shift from the task of testing statistical hypotheses to the task of quantitatively assessing the degree of signal nonlinearity. This will enable its use in the cognitive loop of a radar system for the adaptive selection of signal processing algorithms, and in turn will improve the reliability of detecting nonlinear effects in signals while maintaining acceptable computational complexity.

STEALTH OPTIMISATION OF FIXED WING UAV: RCS REDUCTION USING AI-BASED SHAPE ALGORITHMS

*O. Borries, Ph.D., Director of Business Development
TICRA, Copenhagen, Denmark*

In this work, we combine several proprietary algorithms developed by TICRA, including physical optics, advanced integral equation solvers, and AI-based shape deformation and optimization methods. By integrating these approaches within a unified framework, both the geometry and, where relevant, the material composition of objects can be systematically modified. The optimization process accommodates predefined constraints on deformation and other design parameters, ensuring that aerodynamic performance, thermal behavior, and other operational requirements remain within acceptable limits.

The primary objective is to reduce the monostatic radar cross section (RCS), with particular emphasis on critical incidence angles such as the head-on direction. Owing to the high computational efficiency of the simulation algorithms, tens of thousands of RCS evaluations can be performed with infinitesimal geometric perturbations. This enables accurate gradient estimation and the application of robust, high-performance optimization techniques to converge efficiently toward improved low-observable designs.

For many platforms, including missiles and unmanned aerial vehicles (UAVs), radar signature is a decisive factor in battlefield effectiveness. Although rotary-wing UAVs are often readily detected due to the characteristic scattering from their rotating blades and are therefore less suited to stealth applications, fixed-wing UAVs rely heavily on low-RCS design. As a representative example, shape optimization of the fuselage alone – without altering the wings – achieves a reduction of nearly 20 dB in front-sector RCS, demonstrating the significant potential of targeted geometric refinement.

FREQUENCY-SELECTIVE STRUCTURES FOR RADOMES: INCREASING MISSILE STEALTH PERFORMANCE WITHOUT IMPACTING THE SEEKER

*O. Borries, Ph.D., Director of Business Development;
A.E. Ahlgren, Ph.D., Research Engineer
TICRA, Copenhagen, Denmark*

When designing radomes for missiles with RF seeker modules or nose-cone radars, the performance is important across various bands – for the frequency band of the radar under the radome, high transparency is important; for the frequency band of hostile tracking radars, low specular reflection is important.

This paper presents the design and analysis of a radome with a modulated frequency-selective surface (FSS) embedded, enabling wideband monostatic radar cross section (RCS) reduction while preserving high transmission in the antenna operational band. The proposed concept employs an electrically thin checkerboard arrangement of engineered periodic unit cell (PUC) elements that provide a 180° reflection phase difference, thereby redirecting scattered energy away from the monostatic direction. The unit cell is designed to exhibit out-of-band reflection in C- and X-band, with a low specular reflection, while maintaining a Ka-band passband around 20.2 GHz.

Full-wave simulations performed using TICRA's QUPES tool demonstrate a monostatic RCS reduction exceeding 10 dB over 6.1–11.5 GHz, corresponding to a 61 % fractional bandwidth. In-band performance is validated using both a Gaussian feed and a 316-element Ka-band patch array, showing low insertion loss (0.6–1.1 dB) and minimal degradation of radiation characteristics. The results confirm that the modulated FSS radome achieves an effective balance between wideband RCS suppression and high-frequency transparency. The approach offers a compact and computationally efficient solution suitable for advanced antenna integration scenarios, with future extensions toward curved radome geometries.

METHODS FOR ENHANCING THE ROBUSTNESS OF AIR TARGET TRACKING BY RADIO-TECHNICAL UNITS THROUGH THE USE OF MULTIPLE INFORMATION SOURCES

*H. Khudov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
R. Raikov; Y. Kuibida; D. Zotova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat conditions are characterized by the widespread use of unmanned aerial vehicles (UAVs) and unmanned aerial systems (UAS) to strike military and civilian targets and to conduct reconnaissance deep within the territory of Ukraine.

The development of specialized air defense capabilities designed to counter UAVs/UAS (mobile fire groups, short-range mobile surface-to-air missile systems (SAM), and interceptor drones) necessitates improving the resilience, reliability, and completeness of information support for the command posts of radio-technical units.

An important area is the use of information received from automated air-situation collection and display systems, in particular from the “Virazh-RD,”

“SkyMap,” “Grafit,” and “NEON” systems, as well as from other sources, including acoustic reconnaissance assets, which ensure the acquisition, processing, and transmission of air-situation data.

Implementation of this approach involves applying data-filtering methods and using algorithms for assessment and forecasting of the air situation. Automation of information collection, transmission, and processing, along with the introduction of information and communication systems, reduces command decision-making time and improves the soundness of decisions.

As a result of the integrated use of heterogeneous information sources, the stability of air-target tracking is enhanced, the timeliness of warnings about an enemy air attack is improved, and the effectiveness of engagement against strike and reconnaissance UAVs/UAS is increased.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF RESTORATION OF ARMS AND MILITARY EQUIPMENT OF RADIO ENGINEERING TROOPS TAKING INTO ACCOUNT EQUIPMENT COMING FROM PARTNER COUNTRIES

*H. Misiuk, Ph.D.; H. Khudov, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the Russian-Ukrainian war testifies to the widespread use of weapons and military equipment (WME) of the radio engineering troops. This, in turn, leads to certain damage and failures of radar equipment. At the same time, samples of radar weapons are received from partner countries. Such samples of WME differ from domestic ones in design and operational features. The above necessitates the analysis of factors affecting the efficiency of munitions and their readiness for combat use.

The work systematizes the main factors affecting the efficiency of munitions and their restoration, including those supplied by partner countries.

It was established that the main factors affecting the efficiency of munitions and their restoration are:

- technical (design features, level of technological complexity, component base, maintainability, technical documentation, means of operation control);
- organizational (technical support system, interaction and coordination between logistics units, management decisions);
- logistical (availability of spare parts and repair kits, speed of supply of spare parts and repair kits);
- personnel (level of personnel training, maintenance methods);
- information (automated technical condition monitoring systems, maintenance of databases on failures and damage);
- operational (intensity of use, operating conditions).

It was concluded that the effectiveness of the restoration of radio engineering troops EW can be ensured by:

- unification of maintenance and repair procedures;
- creation of certain spare parts supply systems;
- use of modern methods of technical diagnostics and repair;
- high-quality training of personnel of radio engineering units.

The direction of further research is the development and implementation of intelligent decision-making support systems for the restoration of radio engineering troops EW.

ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF CONTROLLING THE ANTENNA RADIATION PATTERN OF A REFLECTOR ANTENNA WITH A HORN-TYPE FEED

*S. Yarovy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Holik; V. Kapliar*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The issue of controlling the shape and parameters of the antenna radiation pattern (ARP) used in S- and C-band radar systems is usually given little attention due to the intensive development of phased array antennas. Despite all their advantages, a significant drawback of such antennas is their high cost and structural complexity.

A reflector antenna is characterized by invariability of ARP parameters under constant amplitude–phase distribution (APD) of the electromotive force induced by the electromagnetic field on the reflector surface. Control of the APD can be achieved by using a complex antenna feed consisting, for example, of several horn radiators. The operation of each radiator is controlled by electromagnetic devices together with phase shifters. Moreover, reducing the peak pulsed power of the radar probing signal through the use of long-duration complex-modulated signals contributes to minimizing the physical dimensions of the combined feed.

An example of technical implementation is provided by the antenna systems of the 19Zh6 and 35D6 radar stations. However, in these cases, the complexity and bulkiness of the feed resulted in high cost and, more importantly, high labor intensity and long deployment and folding times, which are unacceptable under modern warfare conditions.

A combined horn feed with phase shifters enables prompt control of antenna parameters, including the shape of the ARP, sidelobe level, and antenna directivity. This makes it possible to introduce additional operating modes into existing radar systems with reflector antennas, such as switching from coordinate measurement mode to target detection mode, electronic steering of the main lobe of the ARP without significant degradation of directivity characteristics, and adaptation of the ARP shape under active jamming conditions.

Simultaneously with the task of controlling the antenna directivity pattern, the problem of achieving a low sidelobe level while maintaining antenna directivity was addressed. To model the amplitude–phase distribution of the electromagnetic field, Hann, Hamming, Blackman, Gaussian, and Kaiser window functions were used.

JUSTIFICATION OF THE TECHNOLOGY FOR DESIGNING POWER AMPLIFIERS OF S- AND C-BAND RADARS

*S. Yarovy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Kapliar; O. Holik*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In recent years, significant attention has been devoted to the development of radar systems. This is driven by the rapid progress of microelectronics and the challenges posed by modern technology-intensive warfare. At the same time, the Armed Forces of Ukraine are compelled to operate a large number of radar systems based on obsolete component technologies, which employ non-coherent or conditionally coherent probing signals.

In the transmitters of such radar systems, power amplification is implemented using vacuum electronic devices – magnetrons and klystrons. Magnetrons are not manufactured by domestic industry and are only refurbished in isolated cases. Certain types of klystrons are still produced; however, their quantities are extremely limited, and the cost per unit is prohibitively high. In addition, their operational lifetime is very limited, typically on the order of several hundred hours.

Meanwhile, leading global high-technology companies such as Analog Devices, MACOM Technology Solutions, Texas Instruments, Integra Technologies, Gree Electric Appliances Inc., and others have been manufacturing high-power transistors for the L-, S-, C-, and X-bands for several decades using modern GaN technologies. These companies produce high-power microwave semiconductor devices, including both bipolar and MOSFET transistors, delivering output powers of up to 500 – 1000 W at pulse widths of up to 100 μ s, as well as 300 – 500 W at pulse durations of up to 500 μ s. Furthermore, they offer integrated solutions in the form of ready-to-use amplifier modules (pallets) with internal impedance matching.

These transistor technologies have long been employed in the design of high-power radar amplifiers, primarily for military applications. Examples include foreign radar systems such as XENTA radar, RADA ieMHR, Giraffe AMB, TRML-4D, as well as nearly all modern active electronically scanned array (AESA) radars and compact radar systems.

Low mass and size, wide operating frequency range, high parameter stability, and extremely long mean time between failures (MTBF) on the order of 10^6 hours make solid-state power amplifiers indispensable in radar transmitter design. The use of modular transistor-based architectures significantly increases the overall reliability of radar systems; even the failure of up to 50 % of amplifier modules does not lead to system inoperability.

These technologies have been applied in the design and modernization of power amplifiers for domestic military radars operating in the S- and C-bands. The parameters of the probing signals and operating frequency ranges have been substantiated, and circuit-level design solutions for the power amplifiers have been proposed.

SPECIFIC FEATURES OF APPLYING MATHEMATICAL MODELS OF SIGNALS WITH NONLINEAR FREQUENCY MODULATION

O. Kostyria, Doctor of Technical Sciences, Professor;

A. Ponomar; N. Kovalevska

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the methods for reducing the maximum level of sidelobes of the autocorrelation functions of signals with intra-pulse modulation is the use of nonlinear frequency laws. As a result of theoretical studies, it has been found that signals with nonlinear frequency modulation (NLFM, FM) composed of several fragments (two-, three-, and five-fragment mathematical models (MM) have been developed) may exhibit jumps in instantaneous frequency and phase at the junctions between fragments when the MM is represented in real (current) time, or only phase jumps when the MM is represented in shifted time.

In current-time MM, the calculation of instantaneous phase values is performed under the assumption that time increases linearly from the beginning to the end of the signal. A specific feature of shifted-time MM is that the initial time reference for

each subsequent fragment of the NLFM signal is reset to zero. A family of MM for multi-fragment NLFM signals is proposed, the distinguishing feature of which is the presence of components for compensating jumps in instantaneous frequency and phase, or only phase, at the fragment junctions. It should be noted that a frequency jump causes an additional phase increment in the subsequent fragment, which also requires compensation. Therefore, shifted-time MM have an advantage, as they provide automatic compensation of the frequency jump at fragment junctions and the associated phase increment in the subsequent fragment.

The paper considers specific aspects of applying the above-mentioned MM related to the use of identical FM laws, as well as cases where the FM law changes when transitioning to the next fragment.

METHOD FOR DETERMINING THE COORDINATES OF A RECONNAISSANCE UNMANNED AERIAL VEHICLE USING A NETWORK OF MOBILE SPECTRUM ANALYZERS

*I. Khizhnyak, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Serdiuk; B. Vashchuk; Y. Rudenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the Russian–Ukrainian war demonstrates the widespread use of low-observable aerial objects, typical representatives of which are reconnaissance unmanned aerial vehicles. Due to the small radar cross-section, the detection of such unmanned aerial vehicles by conventional radar systems is significantly complicated. This also substantially affects the accuracy of determining the coordinates of reconnaissance unmanned aerial vehicles using existing radar systems.

This paper proposes improving the accuracy of determining the coordinates of a reconnaissance unmanned aerial vehicle through the use of a network of portable spectrum analyzers. This approach makes it possible to provide target designation to a radar system and to improve the quality of tracking a reconnaissance unmanned aerial vehicle. It also increases radar survivability due to the covert operation of the portable spectrum analyzer network.

An improved method for determining the coordinates of a reconnaissance unmanned aerial vehicle using a network of portable spectrum analyzers is developed. In contrast to existing methods, the proposed approach involves:

- the use of signals emitted by the onboard equipment of the reconnaissance unmanned aerial vehicle;
- the use of a network of portable spectrum analyzers;
- the application of both triangulation and time-difference-of-arrival methods for determining unmanned aerial vehicle coordinates by means of the network of portable spectrum analyzers;
- spectral analysis of signals from the onboard systems of the reconnaissance unmanned aerial vehicle (performed additionally when necessary).

Experimental studies demonstrated the capability of portable spectrum analyzers to receive signals and display their spectra and spectrograms.

An assessment of the accuracy of unmanned aerial vehicle coordinate determination using a network of portable spectrum analyzers was carried out. It was established that:

- the use of a network of portable spectrum analyzers significantly reduces the root-mean-square coordinate measurement error of a reconnaissance unmanned

aerial vehicle compared to a single portable spectrum analyzer by approximately 50 %;

- the root-mean-square error increases with increasing distance from the elements of the portable spectrum analyzer network;

- the use of a network of portable spectrum analyzers reduces the root-mean-square error in determining the coordinates of a reconnaissance unmanned aerial vehicle by an average factor of 2.29–2.62 compared to the P-19MA radar system, depending on range.

ANGEL-ECHO WEATHER PHENOMENON DETECTION IN RADARS EQUIPPED WITH A METEOROLOGICAL CHANNEL

D. Atamanskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor;

F. Zots, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Ochkurenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The paper addresses the challenge of protecting pulsed Doppler radar systems from target-like clutter caused by reflections from optically unobservable objects, known as “angels”. Such clutter triggers false alarms and leads to critical overloading of track processing channels under real-world airspace radar surveillance conditions.

The authors have developed a procedure for identifying “angels” as a specific class of meteorological formations. The algorithm is based on threshold processing rules for estimating the magnitude and phase of the complex inter-period correlation coefficient of input pulse train fluctuations. This approach allows for differentiating clutter from real targets during the primary processing stage.

A block diagram of a device implementing a dual-channel processing architecture – comprising a “target” channel and a “meteo” channel – is proposed. The decision on target detection is based on a criterion-based analysis of signals from both channels, which minimizes the probability of misclassifying meteorological objects as point targets.

The effectiveness of the proposed approach is confirmed by mathematical modeling under conditions of limited sample sizes. It is proven that the joint operation of the channels significantly reduces, and in certain cases completely eliminates, the probability of false triggering when exposed to signal mixtures containing reflections from “angels”. Recommendations for the practical implementation of the system in modern radar stations are formulated.

PROPOSALS FOR THE TECHNICAL IMPLEMENTATION OF METHODS FOR DETERMINING THE RADAR CROSS SECTION OF AIR OBJECTS IN ADVANCED RADAR SYSTEMS

V. Fedko; G. Zalevsky, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern radars are capable of estimating the radar cross section (RCS) of air objects and determining their type as supplementary information. Examples of such radars include the RPS-42(82), Iris Drone Detection Radar, TRML-4D, as well as the Ukrainian-developed and manufactured ELR55307 radar.

The amplitude of the signal reflected by an air object is significantly influenced by numerous factors, including range, aspect angle relative to the radar, meteorological conditions, and others. Therefore, it is natural that RCS measurements of air objects are performed with a certain error and, as a rule, only at relatively short ranges.

At the same time, based on operational experience, RCS information provided by the above-mentioned radars is useful primarily for rejecting false tracks.

For understandable reasons, information regarding the technical implementation of RCS measurement channels and radar target non-cooperative recognition is not publicly disclosed.

This report discusses the features and proposals for the technical implementation of methods for determining the RCS of air objects in advanced radar systems, which are based on measurement of the reflected signal power and the use of range and aspect angle information of the air object. The main factors affecting the accuracy of RCS estimation and possible ways to improve this accuracy are considered, as well as the use of RCS information for radar target non-cooperative recognition.

FEATURES OF TRAINING OPERATORS OF MOBILE TACTICAL RADARS

S. Hrytsaienko; G. Zalevsky, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Kovtunov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

V. Ivanyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Mobile tactical radars such as RPS-42 and others are currently used by units of the Ukrainian Defense Forces for radar detection and tracking of enemy unmanned aerial vehicles (UAVs) and cruise missiles. Such radars are also applied to guide interceptor UAVs to reconnaissance UAVs (“Orlan-10/30”, “Zala 421-16”, “Supercam S350”) and strike UAVs (“Geran-2” (“Shahed-136/131”)).

Considered radars detect and track russian UAVs at a maximal distance about from 10 to 25 km. To a significant extent, the effectiveness of using tactical radars depends on the level of operator training. During training, it is important to consider that operators come with different levels of initial preparation. It is also necessary to take into account that operators are given a short period of time for training.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University has a proud tradition in the education system for training highly qualified specialists in radar systems for various purposes. In the context of the Russian-Ukrainian war, training operators for mobile tactical radars has its own specifics.

In presentation we discuss peculiarities of considered training process, which involves theoretical and practical stages.

Despite the relative simplicity of operating tactical radars, the theoretical part should include future operators studying the theoretical fundamentals of radar, the principles of operation of digital active phased array antennas, and the algorithms for surface scanning, detecting, measuring coordinates, and tracking aerial objects. Operators must clearly understand how the radar coverage is formed and what its parameters depend on under different conditions, rules for choosing a radar position, requirements for false positions. Special attention should be paid to studying the characteristics of various types of UAVs as radar objects.

For conducting the practical part of the training, it is advisable to use certain types of tactical radars or their equivalents. Practical stage should include the following trainings:

- deployment (closing-down) of the radar;
- setting the operating modes and convenient parameters of the radar;
- conducting combat operations of the radar;
- configuring data exchange of the radar with the special software;
- other issues depending on the preparedness of the trainees.

Such an approach will significantly enhance the effectiveness of Ukraine's air defense system in the near future.

PROSPECTIVE APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF VHF RADAR SYSTEMS

*O. Borysenko; G. Zalevsky, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The paper demonstrates approaches to improving the efficiency of existing VHF radar systems based on the results of computer simulation of the secondary radiation characteristics of cruise missiles such as the 3M-14 "Caliber" and Kh-101.

The first approach involves the implementation of cognitive (adaptive) principles for controlling the parameters of probing signals (in particular for radar systems such as the P-18 "Malachite") depending on the type of air target and its current aspect angle relative to the radar (flight trajectory). The results of modeling various tactical scenarios confirm the possibility of increasing the detection and tracking range of cruise missiles by up to 30 %. This gain can be achieved through software upgrades without significant modifications to the hardware components of the radar system.

The second approach involves the development of multistatic radar systems based on existing VHF radar systems and DVB-T2 digital terrestrial television transmitters. Modeling of such systems demonstrates their potential to improve the quality of detection and tracking of cruise missiles (due to multiaspect probing from different directions), as well as to enhance radar survivability (passive operating mode) and resistance to jamming (use of complex wideband signals) under complex tactical conditions.

EXPERIMENTAL METHODS FOR EVALUATING THE EFFECTIVE SCATTERING SURFACE OF AIR TARGETS

*V. Tiutiunnyk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
G. Kamaltynov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
D. Nelin; K. Tahyan
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report discusses experimental methods for evaluating the radar cross section (RCS) of air targets. The relevance and necessity of determining the RCS, especially for unmanned aerial vehicles (UAVs), are shown.

A classification of experimental methods for determining the RCS is provided. Requirements for the composition and characteristics of experimental equipment for evaluating the RCS in laboratory (factory) conditions are given.

The possibilities of using anechoic chambers in Ukraine for the experimental determination of the RCS and the specifics of conducting measurements therein are considered.

The main focus is on the methods and results of field experiments during range (military) testing using the overflight method. The possibilities and sequence for determining RCS with small-sized radar equipment that has a built-in RCS measurement function (for example, “IRIS Drone Radar”) are described. Methods for determining the RCS of UAVs using radar equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine at unit deployment locations in various wavelength ranges are presented:

using UAV flights in the detection zone of radars that do not have the ability to record the signal power reflected from targets;

using UAV flights in the detection zone of radars that have the ability to record the signal power reflected from targets.

The results of experimental data on the determination of the RCS of strike UAVs obtained during research testing in the troops are provided.

WAYS OF BUILDING TACTICAL COMPACT RADAR DETECTION STATIONS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON MODERN TECHNOLOGIES

G. Kamaltynov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

V. Tiutiunnyk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report examines the requirements for radar detection systems for unmanned aerial vehicles (UAVs), which necessitate the creation of specialised compact UAV detection radars using modern technologies. It considers the possibilities of building radars using two technologies: continuous frequency-modulated triangular FMCW signals with separated transmitting and receiving antennas, and pulse-Doppler radars with combined antenna systems in the X (8–10 GHz) and K (15–7 GHz, 23–24 GHz) wavebands.

A feature of specialised drone detection radars is that the output signal power is low, allowing the use of integrated (chip) components in the radio frequency path.

Existing technologies, which are already used in the development of radars for UAV detection, are described. The proposed use of modern technologies and new developments includes:

- the use of ready-made radar solutions in integrated form (“radar on a chip”) – transceivers, signal synthesizers, radar processors, etc.;

- the application of SDR technologies (Software Defined Radio);

- the construction of antenna arrays using metamaterial technology – creating new types of antenna arrays – MESA;

- the use of automotive radar sensors and relevant technologies for building UAV detection radars.

The issues of creating compact radars in Ukraine are considered.

MAIN APPROACHES TO JUSTIFYING A COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR EVALUATING THE POTENTIAL EFFECTIVENESS OF PROMISING SAMPLES OF GROUND-BASED RADAR STATIONS FOR AIR TARGET DETECTION

*D. Nelin; G. Kamaltynov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report examines the main approaches to justifying a comprehensive methodology for evaluating the potential effectiveness of promising samples of ground-based radar stations for air target detection. A classification of methods for comparative assessment of weaponry and military equipment (WME) samples is provided.

It is shown that the implemented evaluation methodologies, based on qualimetry, taxonomic analysis, hierarchy analysis, using the ideal sample principle and the fuzzy sets apparatus, are significantly influenced by the subjective opinions of experts conducting the assessment. The orientation of assessments towards the quality of solving radar station tasks leads to multi-criteria tasks, the methods for solving which are insufficiently developed. It is necessary to take into account a larger number of substantive circumstances and notions, which are difficult to provide with strict mathematical justification.

A mathematical model and a structural scheme for assessment at various stages of the radar system lifecycle are proposed, reflecting both substantive considerations that cannot be strictly formalised and formalised descriptions of decision-making during the evaluation of the effectiveness of military equipment. The selection and justification of comprehensive indicators and assessment criteria, independent of expert influence, have been carried out. Possible methods for calculating integral estimates of the potential effectiveness of advanced samples of ground-based radar stations for detecting aerial targets are defined. The methodology may serve as a basis for developing proposals on priorities in the development of advanced radar systems for detecting aerial targets to support the Armed Forces of Ukraine.

PROBLEMS OF RADAR RECONNAISSANCE OF PROSPECTIVE AIR AND SPACE ATTACK MEANS

*V. Klimchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Tiutiunnyk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; K. Tahyan
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

It has been shown that the existing airspace radar reconnaissance system, the physical basis of which is a two-tier radar field, is unable, for objective reasons, to detect and continuously track such promising means of air attack as small tactical unmanned aerial vehicles (UAVs) and hypersonic cruise missiles.

The features of radar reconnaissance of small tactical unmanned aerial vehicles have been analysed. It has been proven that the use of surveillance radars by radio-technical troops to detect tactical UAVs is impractical and unjustified. It is impractical due to the extremely low capabilities of detecting this type of target, and unjustified due to the mismatch between the scale of the tasks for which the radio-technical troops' radars were developed and the tasks of detecting tactical UAVs.

The directions for modernising the existing radio-technical troops' radars have been identified.

It has been shown that the existing radar system is unable to detect and track promising UAVs, since their range of action exceeds the range of the existing radar system in terms of altitude and speed parameters. The necessary and urgent measures should be the development and adoption of specialized radars capable of detecting UAVs of the hypersonic aircraft type at ranges of up to 1000 km and at altitudes of up to 60...80 km.

The ways and means of acquiring the capabilities of radio-technical troops for the timely detection and continuous tracking of these types of aircraft have been identified.

PHASE NOISE OF DIGITAL SIGNAL SYNTHESIZERS WITH QUADRATURE MODULATORS

*M. Kandirin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Dzigora
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the authors' early works, various signal generation schemes based on digital signal generators and their transfer to the microwave range using phase-locked loops (PLLs), mixers, etc.

Such schemes had both advantages and disadvantages. In particular, PLL schemes are a simple and inexpensive method for generating signals in the microwave range. However, the advantages of the DDS synthesizer will be lost, such as increased phase noise, frequency tuning time, frequency resolution, and harmonic-free dynamic range.

The best option for converting a DDS signal spectrum to microwave frequencies is to use a mixer. Conversion with a mixer does not significantly increase either the amplitude of spurious harmonics or the level of phase noise. Tuning speed and frequency resolution are maintained. However, the problem is that the output signal contains two sidebands and direct carrier passthrough, making filtering difficult.

Quadrature modulation is a cost-effective method for converting a DDS signal to the microwave domain without any degradation of signal properties or loss of quality.

This report examines conversion circuits using quadrature modulators and presents mathematical models for calculating their phase noise, as well as the results of mathematical modeling. These circuits can significantly suppress unwanted sideband and carrier signals up to 36 dB, which is sufficient for many applications while filtering becomes significantly simpler.

BASIC REQUIREMENTS FOR SIMULATION EQUIPMENT FOR SURVEILLANCE RADAR STATIONS

*V. Klimchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
K. Tahyan; O. Malyarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Araslanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Radar stations for detecting airborne enemies are specific types of weapons and military equipment, and in order to simulate them effectively, their models must not only replicate the external appearance of the real thing, but also reproduce all the

physical phenomena that reveal the operation of the radar and can be detected by appropriate reconnaissance means.

To fully reproduce the main signs of the presence of a radar station at a position, a radar simulator must include three components:

- a physical model;
- an effective scattering surface simulator;
- a radar operation simulator.

The main requirement for physical radar models is the reproduction of all structural elements larger than 10 cm. For simulating radars with rotating antennas, frame models are preferable, while for radars with fixed antennas, it is advisable to use cheaper inflatable models.

As an object of radar reconnaissance, the radar model must simulate a reflective surface of hundreds of square meters.

As an object of radio technical reconnaissance, the radar simulator must ensure the emission of radar signals with the same parameters and level as those emitted by a real radar with the side lobes of the antenna's directional pattern.

It is advisable to manufacture the physical model, the effective scattering surface simulator, and the radar simulator as separate elements and use them in any combination depending on the situation.

METHODS FOR OBTAINING CARRIER VIBRATIONS AND LONS WITH LOW PHASE NOISE LEVEL

*M. Kandirin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Dzigora
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current use of various small aerial targets, such as unmanned aerial vehicles (UAVs), cruise missiles, glide bombs, and the like, has necessitated the use of complex broadband probing signals for their detection and recognition.

Many methods for converting such signals to microwave frequencies are known, including frequency multiplication using a phase-locked loop (PLL), mixing, and so on.

However, one of the most important characteristics of a signal synthesizer is its phase noise level (PN). As the authors' previous research has shown, the primary contribution to the resulting PN of a synthesizer comes from either the carrier frequency source or the local oscillator.

Typically, these frequencies are obtained by multiplying the master crystal oscillator. Oscillators with frequencies of 2–4 MHz are the most stable, but transferring such a low reference frequency to the microwave range using a PLL increases the PN gain by $20 \log N$ for a factor of N multiplication.

A more accessible method of converting a signal to microwave frequencies is to use a mixer. However, the biggest obstacle to overcome here is the two sidebands and the direct passage of the carrier frequency, making filtering under these conditions significantly more difficult.

The report presents the results of research into producing oscillations with lower phase noise at small offsets from the carrier than with PLL systems. This involves using a high-frequency reference crystal oscillator and its frequency multiplication in a high-power multiplier.

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ НА БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ ПЛАТФОРМАХ

О.О. Олексенко¹, д.філос.; Л.Л. Побережний²

¹Командування Повітряних Сил Збройних Сил України;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Аналіз світового досвіду застосування радіолокаційних станцій (РЛС) на безпілотних літальних платформах (БлП) свідчить про стійку тенденцію до розвитку таких засобів повітряного спостереження. Використання аеростатів і важких БлП дозволить суттєво розширити радіогоризонт і підвищити ефективність виявлення маловисотних повітряних цілей (МВЦ).

У США здійснювалась дослідна експлуатація аеростатної системи JLENS, що передбачала застосування двох прив'язних аеростатів на висотах до 3000–4500 м із розміщенням на них РЛС. РФ, Китай ті інші країни застосовують РЛС на БлП для задач повітряного моніторингу та виявлення МВЦ.

Комплексне оцінювання доцільності впровадження РЛС на БлП передбачає порівняльний аналіз ефективності виявлення МВЦ наземними та РЛС на БлП в умовах протидії РФ. За геометричними оцінками радіогоризонту підняття РЛС на висоту 1000–2000 м забезпечить збільшення дальності виявлення крилатих ракет та БлП, що здійснюють політ на висотах близько 50 м, із 20–25 км (для РЛС типів П-18 і 35Д6) до, орієнтовно, 90–120 км. Відповідно, додатковий час на реагування сил ППО може становити 4–7 хвилин (за швидкості польоту 220–250 м/с), що суттєво підвищить ймовірність своєчасного перехоплення.

Отже, застосування РЛС на безпілотних платформах є перспективним напрямом розвитку систем повітряного спостереження, який потребує подальших техніко-економічних розрахунків та експериментального підтвердження ефективності в конкретних умовах бойового застосування.

A COMPREHENSIVE APPROACH TO ENHANCING THE SURVIVABILITY AND OPERATIONAL RESILIENCE OF RADAR STATIONS UNDER FIRE IMPACT CONDITIONS

A. Hryzo, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. Hrytsaienko; V. Krykun

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Radar stations (radars) are critically important elements of air defense systems, as they provide the informational basis for their operation. The fundamental principle of radar operation is based on the emission of radio waves, which makes them highly detectable by electronic intelligence assets and vulnerable to enemy fire effects, primarily to weapons homing on radiation. Under such conditions, ensuring the survivability and operational resilience of radar stations becomes a decisive factor.

Effective radar protection should be considered as a set of interrelated passive and active measures. Passive measures include camouflage, engineering preparation

of positions, reduction of emission time, and maneuver. These measures are aimed at decreasing the probability of radar detection by reconnaissance assets and complicating the target designation process for the adversary.

Active protective measures involve direct influence on the engagement process, in particular through the use of decoy emitters and the creation of false radar positions. Their application makes it possible to alter the guidance conditions of anti-radiation weapons, distribute the probability of engagement among multiple radiation sources, and reduce the risk of losing the primary radar.

The highest effectiveness is achieved when active and passive measures are combined within a unified concept of combat employment. Such a comprehensive approach enhances the survivability of radar stations, preserves their functional capability, and overall increases the resilience of air defense systems under conditions of intense fire impact.

ANALYSIS AND CHARACTERISTICS OF MASSIVE ROCKET AND AIR STRIKES BY THE ENEMY BASED ON THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*V. Borovyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; I. Datsinko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Over the past year of the Russian-Ukrainian war, the enemy has been actively using massive missile and air strikes as one of the key tools for achieving its strategic goals. These strikes are systematic in nature and are aimed at destroying military infrastructure, energy systems, and transport hubs, as well as exerting psychological pressure on the population and government authorities.

A characteristic feature of the enemy's air campaign during this period is the widespread use of a combined approach to the use of air attack weapons. A single massive strike combines cruise and ballistic missiles with strike unmanned aerial vehicles, which differ in speed, altitude, and trajectory characteristics. This approach creates a complex air situation and significantly complicates the process of detecting, tracking, and destroying air targets with Ukraine's air defense systems.

The intensity of massive missile and air strikes throughout the year is wave-like. The enemy carries out a series of attacks with periods of relative decrease in activity, which allows it to accumulate resources, analyze the results of previous actions, and adjust further tactics for the use of air attack weapons. According to open sources, these pauses are used to adapt the routes, altitudes, and timing of subsequent strikes, taking into account the response of the domestic air defense system.

A significant part of the massive strikes is carried out at night or in the early morning. This reduces the effectiveness of visual surveillance, increases the load on the radar equipment of radio-technical units, and complicates the organization of combat duty for personnel. Combined with the massive use of unmanned aerial vehicles, night strikes create conditions for overloading target detection and tracking channels.

Massive missile and air strikes are usually aimed at simultaneously hitting several targets in different regions of our country. This forces the air defense system to operate in conditions of dispersion of forces and resources, a lack of time for decision-making, and limited firepower. In such conditions, the role of effective management, interaction between elements of the air defense system, and rational distribution of efforts between areas of coverage increases significantly.

Thus, the general characteristics of the enemy's massive missile and air strikes over the past year indicate an increase in the complexity of air threats and higher requirements for the effectiveness of Ukraine's air defense system, which necessitates an in-depth analysis and assessment of the effectiveness of countering various means of air attack.

PROPOSALS FOR IMPROVING THE SYSTEM OF MAINTENANCE OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT OF UNITS OF THE RADIO-TECHNICAL TROOPS

*K. Sadovyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
I. Krasnoshapka, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Kovalchuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

At the present time, when threats to the national security of Ukraine in the military sphere have ceased to be mere threats, but have grown from the category of potential to open military intervention against our state by the Russian Federation, a clear trend of the development of means of air attack, new means of setting obstacles and improving methods has been manifested their combat use.

At the same time, maintaining radio-electronic equipment in a combat-ready state is a key task of the personnel of units of radio-technical troops. A separate issue regarding the combat capability of radio-electronic equipment of radio-technical troops is related to the maintenance of radio-electronic equipment.

The existing system of maintenance of radio-electronic equipment of units of radio-technical troops and its components was studied. The process of functioning of systems of regulated maintenance of radio-electronic equipment is analyzed.

Recommendations for improving the efficiency of radio-electronic maintenance systems have been developed.

The materials used for the analysis of the real state of radio-electronic maintenance systems from the experience of using radio-technical troops in the Russian-Ukrainian war are studied.

IMPLEMENTATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR SIGNAL PROCESSING IN MODERN RADAR SYSTEMS

*O. Ochurenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
F. Zots, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Great attention is currently being paid to the use of state-of-the-art technologies aimed at improving signal processing, ensuring the autonomy and automation of radar operation, and the effective use of large arrays of radar information. Among the information technologies for the needs of radar equipment, four areas can be identified.

1. Network technologies in the airspace control system. The need for coordinated operation of each radar model within the airspace control system requires the integration of all sources of information about the air situation into a new level of network. This technology allows locators to illuminate aircraft from optimal angles, which improves the probability of detecting (tracking) airborne objects.

2. Integration of radar data and terrain information (geoinformation). Geographical data can be integrated with radar systems and will allow accurate calculation of radar detection zones, calculation of radar closure angles, and identification of dangerous areas where aircraft are in radio shadow.

3. Improvement of secondary information processing. Promising radars should have a high level of autonomy and automation of data processing. At this stage, considerable attention should also be paid to the operation of the classification and radar recognition system for airborne objects.

4. Use of artificial intelligence (AI) technologies. It is necessary to apply the potential of AI not only for analysing radar information and making decisions according to combat algorithms, but also for automating processes in radar stations and autonomously performing all airspace control tasks.

VISUAL-SIMULATION MODELING OF DIGITAL PROCESSING ALGORITHMS OF FRAGMENTED RADAR SIGNALS WITH NONLINEAR FREQUENCY MODULATION

*I. Nevmerzhitsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Vintonyak; O. Kazakova*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today, the task of searching for and using new types of complex wideband signals with nonlinear frequency modulation (NLFM) in radar stations of the meter and decimeter wave ranges in order to increase the efficiency of radar detection and separation of air objects with a low level of radar visibility (UAVs, cruise missiles), which are located at small distances from air objects with a large effective scattering area, remains relevant.

To solve this problem, the report proposes to use a visual-simulation Simulink model of algorithms for digital processing of two-fragment and three-fragment radar signals with NLFM, which allows evaluating their capabilities for radar detection and separation of echo signals from air objects located close in space, especially if such objects have different effective scattering areas.

The presented results of a simulation experiment using the created visual-simulation Simulink model of the algorithm for digital processing of two-fragment and three-fragment radar signals with NLFM confirm its operability and do not contradict the already known results.

RADAR-ABSORBING MATERIALS AND COATINGS: ADVANCES AND PROSPECTS

*Y. Belevshchuk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
G. Rybalka, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
P. Martynenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This study provides a concise overview of modern radar-absorbing materials (RAM) and coatings, focusing on their physical properties, production technologies, and future applications. Key categories of RAM are examined, including ferrite, polymer, carbon-based, and metamaterials, with attention to their structures, interaction mechanisms with electromagnetic waves, and efficiency parameters.

Advanced manufacturing methods are highlighted, such as plasma processing, nanoparticle deposition, vacuum infusion, and multilayer structures. The analysis considers cost factors, material availability, and global market influences, emphasizing strategies to optimize expenses.

Future development trends include nanotechnology integration, adaptive coatings with variable properties, and metamaterials capable of manipulating radio waves. Innovative approaches to improve absorption efficiency are discussed, including optimized compositions, new fillers, and graphene-based hybrid nanocomposites.

Global market perspectives are outlined, with emphasis on defense programs and expanding civilian applications such as electronic shielding and infrastructure protection. The forecast indicates continued growth in RAM utilization across aviation, shipbuilding, ground-based systems, and next-generation technologies.

Durability and resistance to harsh environments are emphasized as critical factors, alongside the need for intelligent adaptive materials. These innovations open new avenues for enhancing stealth capabilities and integrating advanced technologies into military platforms.

INCREASING THE STABILITY OF RADAR TRACKING OF MANEUVERING AIR OBJECTS OVER RANGE

A. Kovalchuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

K. Sadovyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Krasnoshapka, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Liamtseva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of development of radar technology is characterized by a constant increase in requirements for the accuracy and stability of tracking air objects. Improving maneuverability and reducing the visibility of aircraft leads to a deterioration in the stability of their tracking. As a result of the tracking of modern maneuvering stealthy air objects by radio tracking systems of a multi-channel radar, accuracy and stability deteriorate. When maneuvering by an air object, a significant increase in tracking error exceeds the permissible values and with a high probability can lead to a failure of tracking.

One way to improve the accuracy and stability of the accompaniment is to use adaptive algorithms. To track maneuvering air objects in range, it is proposed to use adaptive tracking algorithms with parallel filtering, which improve accuracy and reduce the likelihood of failure to track maneuvering targets. The use of adaptive algorithms can significantly increase the stability of goal tracking. Algorithms for the functioning of radio tracking systems by range, based on testing hypotheses about the presence/absence of maneuver and its magnitude, are proposed. The adaptive parallel filtering algorithm has been shown to improve the accuracy and stability of tracking.

Recommendations for the use of adaptive algorithms are based on the analysis of the current state of air attack weapons and prospects for their development, the impact of maneuverability capabilities on the operation of radio tracking systems and current trends in the use of tracking algorithms in radar facilities.

**IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR TRAINING
OPERATIONAL RADIO TECHNICAL UNITS AND EVALUATING
THE RESULTS OF THEIR WORK USING ICS “VIRAZH-PLANSHET”**

O. Kolesnik, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

I. Shishina; M. Slusarenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The combat experience of radio-technical troops, including the use of the information and communication system (ICS) “Virazh-Planchet” shows that the use of non-automated methods of processing radar information, including manual input of information from the ARM keyboard, cannot fully ensure the corresponding values of indicators of the completeness and quality of radar information provided to users.

The existing methodology for training command post personnel is based on the use of non-automated (manual) methods of processing radar information using mechanical tablets. To improve the results of radar reconnaissance, automated methods of processing radar information by command post personnel were introduced in the ICS “Virazh-Planshet” system, which became possible thanks to the implementation of automated collection of primary radar information from the radar stations of radio-technical units in categories 01 and 129 of the protocol for the exchange of data on the air situation in Ukraine, which complies with DSTU 4528 and the international Asterix protocol. 02 and 129 categories of the protocol for the exchange of data on the air situation in Ukraine, which complies with DSTU 4528 and the international Asterix protocol. Thus, combat experience has determined the need to improve the existing methodology for training combat personnel at command posts of radio-technical units and evaluating the results of their combat work, including during training (exercises).

The report contains proposals for improving the methodology for training combat crews of command posts using simulated primary radar information from the RTV radar. To generate simulated primary information from the radar, it is proposed to use the Virazh-RD training simulation system, which allows creating simulated flight paths of air attack vehicles of any complexity and entering simulated paths into the Virazh-Planchet ICS workstation. Simulated flight paths are used in the improved information and ICS “Virazh-Planchet” to generate primary radar information from the radar, which is necessary for training information input operators, tablet operators, and combat crews of command posts. To evaluate the combat performance of command post combat crews, it is proposed to automatically evaluate a list of known indicators of the combat capabilities of RTV units, which include the air target tracking coefficient and the RTV coefficient, which can be calculated using the results of objective control of the Virazh-Planchet information and communication system. The report shows that the use of automated processing of simulated radar information from the radar stations of radio-technical units allows for a significant reduction in time and improvement in the results of combat training for command post crews. Thus, improving the methodology will improve the completeness and reliability of the combat capability indicators obtained based on the results of tracking.

PROPOSALS FOR THE EMPLOYMENT OF THE ELECTRONIC WARFARE SYSTEM BUKOVEL-AD TO PROTECT THE POSITIONS OF RADIO TECHNICAL UNITS

*Y. Solomonenko, Candidate of Technical Sciences;
V. Ivanyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Y. Oliynyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the Russian-Ukrainian war demonstrates that under conditions of the enemy's large-scale employment of unmanned aerial vehicles (UAV), the execution of missions by radio technical troops (RTT) units becomes significantly more complicated. The adversary systematically conducts aerial reconnaissance in order to detect radar assets and undertakes measures aimed at their fire destruction. Under such circumstances, the employment of electronic warfare (EW) assets becomes particularly relevant.

One such asset is the Bukovel-AD electronic warfare system, designed to generate powerful radio interference against UAV command and control, communication, and navigation channels. Its employment makes it possible to limit the enemy's capability to conduct aerial reconnaissance and to use strike UAV platforms.

The key advantages of the system include its mobility and short deployment and redeployment times. This ensures rapid adaptation to changes in the tactical situation and enables its use as a maneuverable protective asset for RTT units directly within the area of combat operations. To achieve maximum effectiveness, the selection of positions should take into account terrain features, probable UAV approach routes, and the specific patterns of their employment.

An important factor is the timely updating of data regarding the operational radio-frequency bands used by enemy UAV, as well as the integration of the system with radio-technical reconnaissance assets and air defense systems. Such an approach enables the establishment of a multi-layered counter-UAV system, in which EW assets perform the function of active suppression, while other components provide detection, tracking, and fire engagement of aerial targets.

DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE CREATION OF ADVANCED RADARS IN THE CENTIMETER WAVE RANGE USING COTS TECHNOLOGY

*O. Kostianets, Candidate of Technical Sciences;
S. Zbartskei; V. Samarchuk; Y. Sirotkin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The war in Ukraine is stimulating the development of advanced types of weapons. Current realities have shown that large-scale combat operations have been replaced by localised ones involving the use of robotic technology. The first to use unique, autonomous systems will be successful on the battlefield. That is why robotic systems with artificial intelligence have been developing so rapidly lately.

This primarily concerns flying vehicles. Their use has a significant impact not only on combat operations on the front line, but also on the entire economy of the country. The majority of flying vehicles used in air attacks are inexpensive, and their widespread use overloads the air defense system. To effectively detect and destroy

them, special radar stations capable of detecting them are required. The RPS-42 and RPS-82 radars are just such devices. However, the widespread use of unmanned aerial vehicles has revealed an insufficient number of such radars. Therefore, research into the creation of such weapons is relevant.

When developing radar equipment, especially in wartime conditions, there is a need to find the most cost-effective, lowest-cost radio-electronic systems that can be created in the shortest possible time. To this end, commercial-off-the-shelf (COTS) components are widely used around the world. This effectively reduces development costs and accelerates the deployment of advanced technological solutions. In addition, the use of COTS electronic equipment improves the interchangeability of entire units and systems through the use of open standards, which leads to a reduction in logistics costs.

One of the COTS elements that can be used in radar equipment is Wireless Fidelity (Wi-Fi) wireless data transmission technology. It uses radio waves at frequencies of 2.4 GHz, 5 GHz, and 6 GHz. Devices in this frequency range can be used to generate and process radar signals. An assessment of the existing component base showed that Analog Devices microchips contain modules that allow signals with the required frequency and time parameters to be generated directly in the S band, as well as digital processing of received signals. In essence, the creation of a radar station based on such modules requires the use of transistor amplifiers to ensure the necessary signal power in the transmitter, as well as preliminary amplification of signals in the receiver. The results of the research are proposed to be used for the modernization and creation of promising S-band radars.

CAPABILITIES OF THE EXISTING RADARS FOR EARLY DETECTION AND STABLE TRACKING OF HYPERSONIC CRUISE MISSILES

I. Trofymov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

I. Huriev, Ph.D.; Y. Smetana

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of the Russian-Ukrainian war demonstrates the limited capabilities of modern radars of radio-engineering troops in terms of early detection and stable tracking of hypersonic cruise missiles.

The limited capabilities of modern radars in terms of early detection and stable tracking of hypersonic cruise missiles are related to the characteristics of this means of air attack, namely: flight speeds exceeding Mach 5, stratospheric and mesospheric flight altitudes, and low radar visibility. Therefore, the detection zones of the radars currently in service with the radio-engineering troops only partially overlap the flight paths of hypersonic cruise missiles, and the short time that hypersonic cruise missiles remain in the detection zones of radars and their significant flight speed do not allow existing automation systems to lock onto their tracking.

The paper addresses the problem of timely detection and stable tracking of hypersonic cruise missiles through the optimal placement of spatially dispersed radars of the upper tier of the radar field on the ground. The optimal location of spatially separated radar stations of the upper tier of the radar field on the ground allows the creation of a continuous high-altitude radar field with a defined overlap coefficient of the detection zones of radars.

Thus, the creation of a continuous high-altitude radar field with a detection zone overlap coefficient greater than 2 and the use of special software for digital

processing of radar information creates conditions for the implementation of multi-track processing of primary marks from different radars. Combining marks from different radars into a single track can enable the automatic tracking of hypersonic cruise missiles.

FEATURES OF THE USE OF RADAR FOR DETECTING UNMANNED AERIAL VEHICLES

A. Lukianchykov; O. Kashchyshyn, Ph. D.;

*D. Svystunov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; Ye. Havryliuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The practice of combat operations in Ukraine has shown that the effectiveness of detecting unmanned aerial vehicles (UAVs) largely depends on the correct choice of radar station (RS) positions. Radars designed to control medium and high altitudes are in most cases ineffective for combating low-altitude targets, especially in conditions of difficult terrain.

One of the features of the use of RS under war conditions was the use of mobile and temporary radar positions. Reducing the time of the RS in one position and the use of camouflage measures make it possible to reduce the vulnerability of the RS to fire damage and the influence of the enemy's electronic warfare equipment. It is shown that an important factor in increasing the efficiency of UAVs detection is the organization of RS interaction with other means of observation. The Ukrainian experience confirms the expediency of combining RS data with information from optical-electronic, acoustic and passive means.

The analysis of foreign experience shows that the detection of UAVs is considered as a complex task, where RS play the role of one of the elements of a multi-sensor system. In such systems, considerable attention is paid to automated information processing, quick distribution of targets between the means of destruction, and minimization of time from detection to decision-making.

A separate feature of the modern use of RS is the need to work in conditions of active radio-electronic warfare. In this regard, tactical techniques for changing RS operating modes, mutual redundancy of radar posts and the use of information from external sources are becoming increasingly important.

USE OF THE POWER-BASED COUNTERMEASURE METHOD IN L-BAND SURVEILLANCE RADARS TO IMPROVE THEIR JAM RESISTANCE

O. Malyshev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

M. Araslanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

*V. Klimchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

During the full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, the enemy used a large number of air attack assets, among which a significant role was played by electronic warfare systems, in particular, active noise jamming (ANJ). When these systems are used against radars that conduct airspace surveillance, the quality of target detection and tracking tasks is significantly impaired. To eliminate the negative impact of ANJ on the operation of surveillance radars, various technical solutions have been implemented, which are usually effective in protecting against

low and medium intensity jamming. As the power of ANJ increases, the ability of radars to counteract them may be limited, requiring the use of additional methods of protection against such interference in locators.

One way to protect surveillance radars from ANJ is to use the power-based countermeasure method, which involves increasing the energy emitted in a specific sector of the surveillance zone. This will improve the signal-to-jamming ratio after echo signals are processed.

This method can be implemented in existing surveillance radars without major modernisation by switching from the standard method of circular scanning of space to an adaptive one, which will increase the number of pulses in the echo packet M_p in the azimuth sectors where ANJ operates. The value of M_p depends on the rate of space scanning and the width of the antenna radiation pattern. In order to increase the number of pulses in the echo packet, it is proposed to slow down the movement of the antenna beam. Accordingly, in the directions of ANJ operation, the antenna beam will move at a slower speed or stop completely for a while in order to obtain the required number of pulses in the packet.

The practical implementation of adaptive space scanning is feasible in radars with electronic beam steering. One of such stations is the 'SNOV' radar (L-band), which is in service with the radio engineering troops of the Ukrainian Air Force. In these radars, signal formation and processing are performed digitally, which makes it possible to implement adaptive space scanning by modifying only the locator software without changing its design. It should be noted that coherent signals are used in the radar. Therefore, in the case of their coherent accumulation, the signal-to-interference ratio will increase by almost M_p times, which will significantly increase the radar's protection against ANJ.

FEATURES OF BUILDING RADAR STATIONS FOR DETECTING UNMANNED AERIAL VEHICLES

O. Barkhatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

*D. Svystunov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; N. Shyhimaha
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat operations are characterized by the massive use of unmanned aerial vehicles (UAVs), which leads to an increase in requirements for the effectiveness of radar detection systems for air targets. Small-sized UAVs, as a rule, have a low effective scattering surface, fly at low and extremely low altitudes, and also use complex trajectories, which significantly complicates their detection by traditional radar stations (RS).

One of the main features of the construction of a RS for detecting UAVs is the need to ensure high sensitivity of the receiving tract while simultaneously reducing the level of interference from the underlying surface. This is achieved through the use of multi-channel receiving systems, digital signal processing and adaptive interference suppression algorithms.

An important direction in the development of such RS is the use of broadband and coherent signals, which allows to increase the probability of detecting small-sized targets and ensure their stable tracking. In addition, the use of Doppler motion features makes it possible to separate UAVs from stationary and slow-moving background objects.

Taking into account the conditions of modern radio-electronic warfare, the immunity of the RS is of significant importance. This necessitates the

implementation of adaptive control of radiation parameters, frequency maneuverability and spatial selection of signals. Special attention should be paid to the integration of RS with other means of intelligence, in particular optical-electronic and passive systems, within the single information space of air defense.

DIALECTICS AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF IDENTIFYING FRIEND OR FOE SYSTEMS

*O. Maliarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Ye. Karmannyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

To determine the direction of of Ukraine's friend or foe (IFF) system development, it is necessary to consider the problems and contradictions whose resolution led to the creation and/or qualitative improvement of IFF system around the world.

The need for identification devices arose during World War II with the advent of radar and the need to identify targets at long distances using the "friend or foe" principle. The advent of other radar bands necessitated the development of special equipment that operated on a request-response principle. The creation of radar operating in different ranges necessitated the development of special equipment with its own frequencies for the Luftwaffe. Similar equipment appeared among the allies of the anti-Hitler coalition (Mk III and Mk IV systems). After the war, there was a need for individual identification (Mk X(SIF) system), expansion of individual identification capabilities, and flight altitude reporting (Mk XA). The development of the element base (transistors) made it possible to implement compact cryptographic equipment for generating and processing request and response signals to prevent attempts to imitate response signals (mode 4 Mk XII). Soviet systems such as "Kremniy", "Kremniy-2", "Kremniy-2M", and "Parol" developed in roughly the same way.

With the expansion of the volume of requested/transmitted information the danger of the enemy using IFF system information increased. The problem was solved by mode 5 in the Mk XIIA system. This mode, with a modern cryptographic algorithm, can be used independently without "open" modes and is therefore widespread not only in NATO countries, but also as a national mode with its own key system in non-aligned countries. The common key system unites allied countries, which is an additional factor indicating the direction of development of Ukraine's IFF system.

ANALYSIS OF DEVELOPMENT TRENDS IN COMINT AND ACOUSTIC DETECTION SYSTEMS FOR ADVERSARY DRONES

*A. Snisarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Murzin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
H. Rybalka, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Since the onset of armed aggression against our country, the adversary has increasingly deployed tactical-class drones on an escalating scale. These include both fixed-wing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and rotary-wing platforms,

specifically FPV (First-Person View) drones, which utilize both radio-frequency (RF) and fiber-optic communication channels for guidance and control.

Given the massive scale of enemy drone deployment and the growing threat they pose to personnel, weaponry, and military hardware, organizing timely early warning and electronic warfare (EW) countermeasures is of paramount importance. The primary stage of such countermeasures is detection. The relevance of this issue is underscored not only by numerous domestic developments of diverse signals intelligence (SIGINT) and acoustic detection systems and their subsequent induction into the Armed Forces of Ukraine but also by the enemy's persistent efforts to shift control frequencies to evade detection and jamming. At present, a wide nomenclature of individual-use detection devices has been developed. When deployed within a unit, these tools ensure the timely notification of personnel regarding incoming threats.

This report examines the classification of adversary drone detection assets, providing examples of both industrial-grade and improvised electronic detection systems (RF detectors and video detectors), as well as acoustic sensors. Their specific operational features and primary technical specifications are detailed. Furthermore, the report provides an analysis of their performance in combat conditions and outlines prospective developmental trajectories for individual-use counter-UAS detection assets.

ANALYSIS OF DEVELOPMENTAL PROSPECTS FOR MULTI-SENSOR AERIAL OBJECT DETECTION SYSTEMS

M. Murzin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Snisarenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

S. Bezverkhyi; V. Prosiannyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The contemporary evolution of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their rapid integration into various domains have introduced fundamentally new security challenges. The mass deployment of affordable commercial and improvised drones in combat operations underscores the critical necessity for highly efficient airspace monitoring systems. The primary challenge lies in the exceptional difficulty of detecting such targets.

Analysis indicates that no single sensor type, when used autonomously, is capable of providing guaranteed detection of such targets across the full range of operational conditions. Consequently, there is a demonstrated need for a transition toward multi-sensor data fusion, which integrates heterogeneous physical channels for aerial object detection.

Many manufacturers now offer integrated platforms that combine radar, optical, acoustic, and RF scanning capabilities under a unified command interface. Distinctive features of such systems include the full automation of the target verification process and the ability to maintain a unified object trajectory even during temporary signal loss from one or more sensors.

This report examines examples of mass-produced multi-sensor detection systems and their specific characteristics, as well as promising developmental trends. These trends include the miniaturization of detection modules and the migration of computational power directly to the sensor nodes (edge computing) to improve

response times. It is concluded that the future of critical infrastructure protection lies in the development of self-learning, adaptive complexes capable of countering continuously evolving autonomous threats.

DIRECTIONS FOR REDUCING THE IMPACT OF NEGATIVE FACTORS ON THE DEVELOPMENT OF RADIO-ELECTRONIC TECHNOLOGY

*D. Grib, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
V. Tiutiunnyk, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report discusses the factors influencing the processes of development of radio-electronic equipment of radar troops during the Russian-Ukrainian war. In particular, to consider the factors of military, economic, political, scientific and technological impact in the next forecast period.

The dynamic development of aerial attack means has created conditions for activating the time factor for the creation of new types of equipment. The factors regarding the creation of new types of radio-electronic equipment within Ukraine are considered, namely:

negative – large-scale destruction of the industrial infrastructure of production, objective restrictions on access to resources for the production of radio-electronic equipment in European countries, reduction of human resources;

positive – the development of ties with other European countries on the deployment of joint production, gaining experience in the development, testing, application and production of radio-electronic equipment in wartime, getting rid of technological dependence on Russian enterprises and outdated technologies.

The main directions for reducing the negative influence factors of the development of radio-electronic equipment are proposed as follows:

ensuring the integration of the military-industrial complex of Ukraine into the international European system of development and creation of equipment;

development of research institutions of Ukraine and higher educational institutions of Ukraine in the following areas – radar, antenna systems, information systems, artificial intelligence, technologies for creating new types of weapons;

development of the scientific and testing base of radio-electronic equipment in Ukraine.

DIGITAL AIR SITUATION DISPLAY SYSTEM FOR ANALOG SURVEILLANCE RADARS

*M. Araslanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Klimchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Malyshev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Sidorov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

To date, in Ukraine, there are still many analog radars of the P-37, P-18 types, which, in the conditions of the Russian-Ukrainian war, play an important role in ensuring the formation of a continuous radar field over the territory of the country. The all-round lamp indicators of such radars are already morally and physically

obsolete, as a result of which the capabilities of radar operators to detect the aggressor's air means of attack are deteriorating.

To solve this problem, it is proposed to replace the outdated tube indicator equipment with a modern processor module that generates digital codegrams of a certain format from the analog echoes signals of the radar. The generated codegrams are used to display the air situation on a laptop screen or on a computer monitor.

A functional diagram of the indication system was developed on the basis of the common Arduino Due module from the Arduino kit. The module provides digitization, processing and grouping of digital codes of radar signals in a certain way in accordance with the specified type of radar and its operating mode, binding to the output radar information of the code of the current position of the radar antenna, formation of output Ethernet codegrams in accordance with the ASTERIX CAT 164 protocol. The display of the air situation is carried out by the standard programs of the "Oreanda" and "Viraz" systems.

Examples of displaying the air situation on the computer monitor screen from radars of the P-37, 5N84A and P-18 types are given.

IMPROVED AIR TRAFFIC MANAGEMENT MODEL BASED ON ADAPTIVE MULTI-PHEROMONE ANT COLONY OPTIMIZATION AND AUTOMATIC DEPENDENT SURVEILLANCE-BROADCAST TECHNOLOGY

*Y. Baistov; D. Zhuikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Hrytsaienko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of aviation industry development is characterized by increasing air traffic intensity, integration of manned and unmanned aviation, and growing requirements for safety, capacity, and efficiency of airspace utilization. In the context of aviation infrastructure digitalization, the implementation of advanced surveillance technologies and intelligent decision-support methods in air traffic management (ATM) systems is becoming particularly relevant.

An analysis of modern approaches to ATM organization has been conducted. It has been established that traditional centralized planning and air traffic control models based on deterministic optimization algorithms do not provide sufficient flexibility under conditions of dynamically changing air traffic, uneven sector workload, meteorological impacts, and increasing aircraft numbers.

A special role in improving the accuracy of air situation monitoring is played by Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) technology, which automatically transmits aircraft flight parameters (position, altitude, velocity, heading) to ground stations and other airspace users. The use of ADS-B enhances situational awareness, reduces separation minima, and lays the groundwork for transitioning to more flexible, decentralized control models.

This paper proposes an improved air traffic management model that combines the informational capabilities of ADS-B with Adaptive Multi-Pheromone Ant Colony Optimization (AMP-ACO).

Unlike the classical ant colony algorithm, the proposed model employs several types of pheromones corresponding to different optimization criteria, including minimizing flight time, reducing conflicts between aircraft, optimizing airspace sector workload, reducing fuel consumption, and minimizing meteorological impact.

Pheromone matrices are generated from real-time ADS-B data, enabling the algorithm to adaptively respond to changes in airspace parameters. The weighting coefficients of pheromones are adjusted depending on the current sector workload and flight priority levels.

The mathematical formulation of the problem involves minimizing a multi-criteria objective function that considers temporal, spatial, energy-related, and safety indicators. An adaptive pheromone evaporation mechanism helps avoid local extrema and increases the algorithm's robustness to sudden changes in the operational environment.

Simulation of the proposed improved model demonstrated that the application of multi-pheromone optimization in combination with ADS-B data allows:

- reduction in the number of potential conflict situations in airspace;
- decrease in average delays;
- increase in sector capacity;
- faster algorithm convergence compared to classical optimization methods.

Thus, the proposed improved air traffic management model, based on adaptive multi-pheromone ant colony optimization and ADS-B technology, enhances safety, efficiency, and decision-making responsiveness in modern aviation system operating conditions.

Further research should focus on optimizing the parameters of the multi-pheromone model, integrating it with controller decision-support systems, and adapting the algorithm to conditions of shared airspace use by manned and unmanned aviation.

SIMULATION OF REFLECTION FROM GROUND SURFACE FOR SURVEILLANCE PULSE RADARS

*M. Araslanov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Klimchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Malyshev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Kuts, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

During the Russian-Ukrainian war, cruise missiles and kamikaze drones are one of the most used means of enemy air attack. A feature of these means is the overcoming of our air defense system at low altitudes with the circumference of the terrain, which complicates the detection of these air targets against the background of the reflection of the radar signals from local objects and the ground surface. For reliable detection and tracking of such air targets by a units of radar troops, it is important to ensure the continuity of the radar field at low altitudes. Modeling the level of reflection from the ground surface in the in-tended areas of radar deployment allows you to determine the real spatial capabilities at low altitudes of the radar troops units and take measures to optimize the location of radars on the terrain in advance.

A simulation dynamic model of radar reflection from the ground area is presented, which is almost adequate to the real clutter situation. The shading and reflective properties of the ground surface, refraction and diffraction of electromagnetic waves, as well as the specifics of the position at which the radar is deployed are taken into account.

Examples of the model of the surround view indicator screen with the display of the results of modeling reflection from the ground surface for radars of the meter wave range when placed at different positions and the corresponding photographs of the screens of real radars located at these positions are given.

IMPROVING AERIAL OBJECT VISIBILITY IN DIGITAL IMAGERY THROUGH SPECTRAL-MATCHED DYNAMIC PROCESSING

O. Gurin, Candidate of Technical Sciences;

A. Hurin, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The detection and identification of aerial objects using electro-optical systems during airspace monitoring are frequently hindered by low contrast between the target and its background. To address this, an improved method has been developed based on the principles of spectral-matched dynamic processing, which utilizes the selective ability of surfaces to reflect and absorb light at different wavelengths. This approach is particularly effective because spectral processing does not require high spatial resolution, allowing for successful object detection even with a minimal number of visible pixels.

The mathematical foundation of this method involves representing RGB image pixels as vectors in a three-dimensional Euclidean space. The core of the process is the calculation of a specific hardware function based on the known spectral characteristics of the aerial object and the calculated characteristics of the background. By calculating the scalar product of this hardware function with the image pixel brightness, the system can change the brightness of the pixels to suppress the background while maintaining the brightness of the target object.

To achieve maximum contrast, the hardware function vector is designed to be orthogonal to the background vector, effectively reducing background brightness to zero. Computer modeling was performed to verify the method, using digital imagery of a “Shahed-136” UAV during a nighttime flight as a test case. The results of the simulation demonstrated that this improved mathematical model can increase the contrast of an aerial object by 1.5 times.

This method provides a robust solution for enhancing the capabilities of optoelectronic monitoring systems. By effectively separating an object's spectral signature from its environment, it significantly improves the reliability of detection and recognition tasks in various operational conditions.

A MANNER FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF THE RADIOLOCATION RECONNAISSANCE FULFILMENT BY THE UNITS OF RADIO TECHNICAL TROOPS OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

Ye. Karmannyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Prysiazhniuk; V. Surhai

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of the current full-scale war of the Russian Federation against Ukraine, while widespread applying by the enemy of various air attack means (AAM), one of the primary tasks during the fulfilment of air defense of

Ukraine, there is an increase the efficiency of the radiolocation reconnaissance AAM.

Modern experience in performing combat missions by radio technical troops of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine shows that radiolocation stations, which have been in service with the radio technical troops and the radiolocation stations, which provided from partner countries, with certain initial data (quantity of stations, their tactical and technical characteristics, placing) limited in terms of forehanded detection enemy AAM, that operate at the lower or upper edges of the radiolocation field at extreme distances. And this reduces the efficiency of the radiolocation reconnaissance fulfilment.

Therefore, as a result of the research conducted, a manner is proposed for increasing the efficiency of the radiolocation reconnaissance fulfilment by the units of radio technical troops in a certain direction, through the combined placing and maneuvering of the available and provided radiolocation stations, and also the construction of a radiolocation field with the necessary and sufficient level of overlap.

APPROACHES TO IMPROVING RADAR SURVEILLANCE EFFECTIVENESS BY ENHANCING SYNCHRONIZATION ACCURACY IN MULTI-POSITION RADAR SYSTEMS

*A. Bezvuliak; Y. Makukha; V. Lishchenko, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern multi-position radar systems are considered one of the most promising directions for improving the effectiveness of radar surveillance of air targets with small radar cross-section. Spatial separation of radars within a multi-position system enables an increase in target coordinate estimation accuracy and improves resistance to interference compared to traditional monostatic radar systems, which is especially important under modern combat conditions.

One of the key requirements for effective operation of multi-position radar systems is ensuring high-precision synchronization of spatially separated radars in time, frequency, and phase. Synchronization errors between system elements lead to increased target coordinate estimation errors when using time difference of arrival and frequency difference of arrival methods, as well as to degradation of coherent signal processing gain and overall system performance. The paper considers the main approaches to radar synchronization in multi-position radar systems, including centralized and decentralized synchronization architectures. It is shown that centralized synchronization provides minimal time and phase offsets between positions but has limitations related to deployment distance, system survivability, and mobility. A decentralized approach based on the use of GPS-disciplined oscillators and distributed reference signals enables achieving the required level of time and frequency synchronization without extended cable infrastructure and is more suitable for spatially distributed and mobile radar systems.

The obtained results can be used to develop practical recommendations for improving synchronization accuracy in multi-position radar systems of the Radio Technical Troops of the of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, to enhance the effectiveness of air target detection, localization, and tracking.

ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF USING AN FMCW RADAR STATION FOR DETECTION OF SMALL TARGETS BASED ON SOFTWARE-DEFINED RADIO TECHNOLOGY

O. Dodukh, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Fedorov, Ph.D.; T. Kalimulin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A complex interference environment, created by the active employment of various electronic warfare means, significantly complicates radar reconnaissance of the airspace and leads to degraded detection performance of small unmanned aerial vehicles (UAVs) by radar stations of the radar troops. To improve the effectiveness of detecting small UAVs, the use of FMCW radars based on software-defined radio (SDR) technology is proposed.

As a result of the study:

- a hardware-software model of an FMCW radar based on USRP N210 and GNU Radio was developed.

- the effectiveness of coherent integration was demonstrated; it provides a signal-to-noise ratio gain and enables the use of low-power transmitters without a substantial reduction in detection range.

- the detection range for small UAVs was theoretically substantiated and confirmed by simulation to be up to 2 km, which is sufficient to employ an FMCW radar as a complementary means of radar reconnaissance.

Thus, FMCW radar based on SDR is a promising direction for developing complementary radar reconnaissance assets and can be used to enhance the effectiveness of detecting small UAVs within the radar troops of the Air Forces.

DEVELOPMENT OF AN INTERACTIVE TRAINING APPLICATION FOR RADAR RECEIVER ARCHITECTURE EDUCATION

I. Burlachenko; V. Lishchenko, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern training of Radio Technical Troops specialists requires the integration of digital and interactive learning technologies into the educational process. Experience gained during the Russian–Ukrainian war has demonstrated the necessity of continuous updating of knowledge and practical skills of future officers and technical personnel. Traditional training methods based on printed manuals and static diagrams are no longer sufficient for mastering the complex structure and operating principles of modern radar receiver systems.

The development of an interactive educational application is aimed at improving the effectiveness of cadet and trainee training by providing a visual and dynamic representation of receiver architecture, functional modules, signal processing stages, and typical technical parameters. The application enables users to study receiver operating principles, intermediate frequency processing, automatic gain control, digital signal processing blocks, and noise mitigation techniques, as well as to analyze the impact of receiver parameters on radar system performance. The use of interactive elements, including block diagrams, animations, and simulation modules, allows cadets to better understand functional relationships between receiver components and to develop practical competencies in radar system operation and maintenance. Under modern combat conditions, where radar systems are exposed to

intensive electronic countermeasures, such training tools are particularly important for developing knowledge retention and decision-making skills in complex electromagnetic environments.

The proposed application can be integrated into the educational process of military higher education institutions and training centers of the Armed Forces of Ukraine, contributing to modernization of the training system and increasing the professional readiness of future Radio Technical Troops specialists.

ANALYSIS OF THE CAPABILITIES OF CONSTANT EMISSION RADAR FOR DETECTION AND CLASSIFICATION OF OBJECTS WITH SMALL EFFECTIVE SCATTERING AREA

*I. Romanenko; O. Pylypovych; A. Krasnozhon; K. Tkachuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The relevance of the study is due to the rapid development of unmanned aerial vehicles, in particular drones with a small radar cross section (from 0.0001 to 0.1 m²), which pose a significant threat to the security of airspace, military facilities, and civilian infrastructure. Traditional pulsed radars do not cope well with such objects due to the low signal-to-noise ratio and the strong influence of reflections from local objects – known as clutter.

Continuous-wave radars, specifically frequency modulated continuous wave radars, represent a promising solution due to their simplicity of design, relatively low cost, and ability to simultaneously measure both range (distance) and radial velocity. They are particularly effective for detecting low, slow, small targets, such as small drones and micro-UAVs, by analyzing the micro-Doppler characteristics of the echo signal caused by rotor or propeller vibrations and rotations.

The study is based on the analysis of scientific literature, modeling of radar signatures, and experimental data. The following methods were applied: micro-Doppler analysis techniques, including short-time fourier transform and empirical mode decomposition.

Machine learning algorithms – convolutional neural networks, support vector machines, and long short-term memory networks – for target classification based on range-Doppler maps and micro-Doppler spectrograms.

Modeling was performed for drones with low radar cross section (< 0.01 m²) in the X-band. statistical detection methods were used, including constant false alarm rate adaptive detection thresholds to maintain a stable false alarm probability, and F1-score for classification performance evaluation.

Frequency modulated continuous wave radars enable reliable detection of low radar cross section objects thanks to continuous-wave transmission, which significantly increases the energy accumulated on the target and improves signal-to-noise ratio. The key distinguishing feature is the micro-Doppler signature, which allows reliable separation of drones from birds, insects, or clutter even at radar cross section values below –20 dBsm. In the X-band, detection range reaches 5–10 km for targets with radar cross section above 0.01 m², when using transmitted power of 100–240 W.

Machine learning methods prove highly effective for final classification: convolutional neural networks models trained on overlaid range-Doppler maps increase accuracy up to 99.96 % for drones of different sizes at short ranges, successfully compensating for weak and noisy signatures typical of low radar cross section targets.

**DEVELOPMENT OF METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS
FOR DECIMETER WAVE RADAR OPERATORS REGARDING
DETECTION OF SHAHED-TYPE UAVS BASED ON
THE EXPERIENCE OF THE DEFENSE FORCES OF UKRAINE**

*I. Romanenko; K. Tkachuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The enemy's massive use of Shahed-136 strike unmanned aerial vehicles creates a significant burden on the air defense system, especially when using other means of air attack. The number of simultaneously launched targets from one direction can exceed 100 units, the flight takes place from extremely low to medium altitudes, and jet UAVs can fly at high altitudes, and the speed is graduated from 150 to 600 km/h. The effective scattering surface of these UAVs is approximately 0.9 m^2 in the decimeter wave range. Flying at low altitudes against the background of reflections from local objects makes their detection difficult, and the massive use creates an overload of information and analytical systems and fire weapons. This emphasizes the need to ensure timely and guaranteed detection of small air targets at low altitudes.

Detection of such targets is significantly improved when using decimeter-range radar stations. Decimeter-range radars provide a greater energy detection range, better conditions for detecting targets with low EPR and less sensitivity to radio absorption technologies. They allow for the formation of an airspace survey, determination of target coordinates and target designation for weapons, ensuring timely detection and increased efficiency of air defense systems.

Three-coordinate radars 19Zh6 and 35D6M, operating in the decimeter wave range, are capable of detecting targets with an EPR of about 1 m^2 at significant ranges. Radar 19Zh6, according to tactical and technical characteristics and acquired experience, can detect such UAVs at medium altitudes from 120 km and at low altitudes – from 70 km, providing stable tracking of dozens of targets against the background of passive interference. Radar 35D6 has a greater detection range, respectively – from 150 km at medium altitudes and from 80 km at low altitudes, provides stable tracking, more accurate measurement of coordinates, automated processing of information against the background of passive interference. Both stations provide timely detection of both single and group air targets and are integrated into automated air defense processing and analysis systems, which makes them key means of countering small-sized low-altitude air targets.

**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF PROTECTION AGAINST
ENEMY'S UNMANNED AIRCRAFT BASED ON THE EXPERIENCE
OF CONDUCTING COMBAT OPERATIONS BY THE DEFENSE
FORCES OF UKRAINE**

*I. Romanenko; A. Krasnozhan
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Unmanned aerial vehicles (UAVs), also known as drones, come in various shapes and sizes, from small quadcopters to large aircraft. They can carry combat units, contain artificial intelligence systems, be equipped with cameras, various

sensors and other special equipment. Drones conduct real-time surveillance, deliver air strikes on personnel, combat positions of units, weapons and military equipment, civilian and critical infrastructure and perform other functions.

The analysis conducted indicates that the enemy has sharply increased the production and use of this type of aircraft, uses various tactical options and methods of combat use of drones in order to achieve success, both on individual sections of the front and in the strategic perspective.

The work analyzed the tactical and technical characteristics, identified the weaknesses and strengths of enemy unmanned aerial vehicles, options and tactics for their use in order to further classify these aircraft according to various indicators based on the combat experience gained in conducting combat operations. The results of this analysis formed the basis for further work to form a general vision for countering this type of aircraft and forming an algorithm of actions aimed at protecting against various types of drones and options for their actions. Also, for this purpose, an analysis was conducted of both theoretical and implemented practical methods of influencing these aerial objects in order to neutralize them. The effectiveness of use in combat operations and their weaknesses and strengths were studied. A review of the tactical and technical characteristics of technical means and systems for comprehensive counteraction to unmanned aerial vehicles used by the defense forces and samples presented on the global arms market was conducted.

The enemy's use of unmanned aerial vehicles poses a threat to both military and civilian persons and facilities. The system for countering drones must have a comprehensive approach during the implementation of all stages of the algorithm and a high-quality approach to planning and implementing all types of ensuring these measures to counter these aircraft. The results of the work combine various methods and ways of protecting against enemy unmanned aerial vehicles using existing and promising technical means, both based on the experience gained in conducting combat operations by the Ukrainian Defense Forces and modern technologies for combating drones.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO INCREASE THE RELIABILITY OF THE CONTROL SYSTEM FOR UNITS OF RADIO ENGINEERING TROOPS (SEPARATE RADAR PLATOON, CONSOLIDATED UNIT)

*I. Kolodka; R. Raikov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the conditions of the Russian-Ukrainian war, the importance of the reliability of the air defense control system, in particular the units of the radio engineering troops, as the main source of information about the air situation has sharply increased.

The control of a radio engineering unit is a process of purposeful influence of the commander on subordinate personnel in order to maintain combat readiness, organize training and ensure the effective performance of tasks during combat use.

The following basic requirements are imposed on the process of controlling a separate radar platoon (combined unit): efficiency, stability, continuity, stealth and quality.

Stability and continuity of control are interrelated indicators and are ensured by rational deployment of the control point, camouflage, protection from enemy weapons, and equipping with modern technical control equipment.

Thus, increasing the reliability of control of a separate radar platoon can be achieved by creating a protected control point, automating the processes of capturing information from the radar and transmitting it to the operator's workplace, as well as using a multi-channel communication system (modern radio equipment, satellite communication, LTE modems). The implementation of these measures allows reducing the vulnerability of the control system and ensuring its functional stability in difficult combat conditions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO IMPROVE THE QUALITY OF DETECTION OF AIR OBJECTS BY RADAR STATIONS THROUGH THE INTRODUCTION OF AN ADDITIONAL RECEPTION CHANNEL

*S. Kovalevskiy; I. Yakimechko; D. Vovnenko; B. Stepchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Since the onset of the full-scale invasion of the Russian Federation into the territory of Ukraine, the Radio Technical Troops of the Air Forces (RTT AF) have faced the challenge of timely detection and tracking of such classes of air objects as cruise missiles (CM) and unmanned aerial vehicles (UAVs). The small effective radar cross-section (RCS) and operation at low and extremely low altitudes, often utilizing the terrain, do not always allow for timely detection and stable tracking of these air attack assets (AAA), which in turn prevents the fire assets of the anti-aircraft missile troops (AAMT) and mobile fire groups (MFG) from effectively neutralizing the aerial adversary. Thus, the existing radar reconnaissance system is not capable of ensuring guaranteed detection and uninterrupted tracking of such air targets (AT).

RTT AF faces the problem of detecting AAA at maximum distances from protected objects. This task can be solved by the integrated use of signals from AF radar stations and signals ("illumination") from television and mobile communication towers. Air objects are simultaneously illuminated by signals from RTT radar stations and television and mobile communication towers. As a result, we transition from monostatic reception to bistatic reception.

Accordingly, by integrating the properties of bistatic and monostatic RCS (combining the modes of spatially separated and co-located reception), it is possible to increase the size of the detection zone for small and low-altitude targets, providing more time for fire assets to make decisions to neutralize such air objects. In this case, the detection zone of the radar station can increase by approximately 15–20 % with the additional use of energy from external sources of electromagnetic waves.

Taking the above into account, and based on the results of mathematical modeling and calculations performed using the Mathcad system, the effectiveness of this method is substantiated.

MEASURES TO ENHANCE THE SURVIVABILITY OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT IN COMBAT ENVIRONMENTS

*A. Tkalych; R. Raikov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

One of the priority pathways for enhancing the survivability of radar assets under combat conditions is the reduction or intentional distortion of information regarding target objects acquired and processed by enemy reconnaissance systems.

To achieve this, electronic warfare (EW) methods, aerosol countermeasures, and engineering fortification of positions are primarily employed. Electronic and electro-optical countermeasures against enemy reconnaissance assets, aimed at unit preservation, are executed using organic unit capabilities. Concurrently, for the practical implementation of other measures in this domain, modern camouflage and imitation tools for military equipment may be utilized (including camouflage kits, military equipment decoys, radar corner reflectors, thermal signatures, and radar simulators of mobile equipment), alongside disruptive painting, standard-issue camouflage equipment, and available improvised materials.

Based on the experience of modern high-intensity combat operations, the deployment of industrial-grade decoys at dummy positions, combined with the skillful replication of battle damage (simulation of craters, creation of fire hotspots, and demonstration of “damaged” equipment), has enabled the diversion of up to 90 % of enemy airstrikes toward false targets. Units that incorporated radar emitter simulators, corner reflectors, decoys, and a comprehensive suite of measures to reduce infrared signatures into their tactics experienced significantly lower exposure to direct engagement by enemy strike assets.

METHOD FOR SELECTING A RECONNAISSANCE UAV SIGNAL FROM A DATABASE OF REFERENCE SIGNALS USING A NETWORK OF SDR RECEIVERS

Y. Shevchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

An analysis of the experience of repelling large-scale armed aggression by the Russian Federation against Ukraine demonstrates the critical importance of implementing the latest information technologies and methods for detecting and identifying low-visibility air targets.

The effectiveness of detecting unmanned aerial vehicles (UAV) using active radar is currently significantly limited. This is due to a combination of the high risk of radar stations being exposed by their own emissions and the specific characteristics of the targets.

In order to overcome the limitations of active radar, the use of a network of SDR receivers is proposed, which allows the creation of a flexible infrastructure for detecting and identifying UAVs without active radiation. The detection method is based on comparing the received signal with a database of previously accumulated spectrogram images.

It should be noted that the classes and types of UAVs detected by this method are limited by the presence of active radio emissions, namely:

- 1) command and telemetry channel signals;
- 2) target channel (video and reconnaissance data transmission);
- 3) manual control channels;
- 4) satellite navigation system signals.

The effectiveness of the approach was confirmed by experimental studies of the selection and reconstruction of signals from low-visibility airborne objects from a database of reference signals. The results of the studies demonstrated the system's ability to reliably identify types of reconnaissance UAVs by the characteristic “radio portraits” of their communication channels. The method of comparison with a

reference database using a network of SDR receivers allows automating the process of detecting reconnaissance UAVs and ensuring a high probability of correct identification in conditions of dense interference.

**DEVELOPMENT OF AN EDUCATIONAL AND INTERACTIVE
APPLICATION FOR CHECKING THE PARAMETERS AND
CONFIGURATION OF THE MAIN SYSTEMS OF THE 19Zh6 RADAR
BASED ON THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR**

*O. Pylypovych; M. Kucher; S. Ignatushko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Despite its long service life, the 19G6 radar still implements advanced technical solutions and uses a complex element base that includes modern digital computing devices and improved radar signal processing modules.

In order to improve the quality of technical maintenance and ensure rapid detection and elimination of possible malfunctions in combat conditions, a comprehensive analysis of all operations performed during equipment testing within the framework of various types of technical maintenance of the 19G6 radar was carried out. This analysis will allow systematizing the order of actions of combat personnel, identifying the most critical stages of control, and forming the basis for the creation of effective interactive training tools for specialists in this type of equipment.

Mnemonic diagrams were developed in the form of interactive training applications with advanced capabilities for configuring and adjusting the basic systems and units of the 19G6 radar, which provided a more in-depth reflection of the internal processes and logic of the station's operation. Such diagrams make it possible to simulate the operation of individual complex subsystems in detail, analyze possible failures, and develop algorithms for combat personnel actions during technical maintenance.

**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE PROTECTION OF RADIO
TECHNICAL TROOPS UNITS AGAINST OPTICAL-ELECTRONIC
AND RADAR RECONNAISSANCE MEANS BASED ON
THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR**

*O. Serdyuk; O. Samarets
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

During the Russian-Ukrainian war, ensuring the survivability of radio engineering troops units under constant exposure to modern optical-electronic, radar, and electronic reconnaissance systems has become particularly important. The widespread use of unmanned aerial vehicles, space-based surveillance systems, and precision weapons significantly complicates the execution of combat missions. As the primary source of information about the air situation, radio engineering troops units are priority targets for enemy detection and engagement.

A distinctive feature of modern combat operations is the minimal time between target detection and strike delivery. After detecting radar emissions or identifying a radar position using optical-electronic means, the enemy can quickly transmit target coordinates to strike assets and carry out a precision attack. Under such conditions,

implementing a comprehensive counter-reconnaissance system, increasing unit mobility, and timely relocation of positions become especially critical.

The study identifies the main demasking features of radio engineering troops units, including radar emissions, thermal radiation of equipment, characteristic outlines of antenna systems, and engineering indicators of deployed positions. To reduce the probability of detection, a set of organizational, engineering, and technical measures is proposed.

Key directions for enhancing survivability include implementing camouflage measures with consideration of the thermal spectrum, as well as integrating electronic warfare systems to counter enemy UAVs.

Thus, increasing the survivability of radio engineering troops units is possible only through a systematic and comprehensive approach that combines organizational, engineering, and technical solutions, ensuring a reduced probability of detection of radar assets of the radio engineering troops of the Armed Forces of Ukraine by optical-electronic reconnaissance systems.

FEATURES OF TECHNICAL MAINTENANCE OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT IN MODERN CONDITIONS

O. Vysotskyi; V. Chernenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The Armed Forces of Ukraine have a large amount of radio-electronic equipment (REE) at their disposal, including domestically produced equipment, NATO equipment, and equipment from the Soviet period. All of this equipment has different tactical and technical characteristics and operating conditions, which requires timely and high-quality maintenance.

Technical maintenance is the process of keeping weapons and military equipment in proper condition and ready for combat use.

In modern combat conditions, the serviceability of radio-electronic equipment directly affects the performance of combat tasks and the safety of personnel. Therefore, the role of maintenance is significantly increasing, while at the same time a number of difficulties arise related to the operation and repair of RET in combat conditions.

Radar stations are a priority target for the enemy, as their destruction significantly reduces the effectiveness of air defense. Therefore, during maintenance, great attention is paid to: camouflaging positions to make them more difficult to detect from the air and satellites; using mobile radar stations that can quickly change their location, making them less vulnerable.

Radar combat crews are at increased risk. Work must be carried out in compliance with all safety measures, including the use of protective structures and shelters. It is also important to rotate personnel to avoid psychological exhaustion.

In combat conditions, there is a high probability of damage to radio-electronic equipment as a result of shelling. Therefore, technical maintenance involves preparation for the rapid restoration of equipment, including the availability of the necessary tools, materials, and trained personnel.

Maintaining electronic equipment in combat conditions is critical to maintaining the combat readiness of units. Failure of electronic equipment can lead to loss of communication, control, guidance, and other key functions.

Main causes and types of damage

In combat conditions, electronic equipment is subjected to significant physical, mechanical, and electrical stress.

Mechanical damage: impacts, falls, vibrations from explosions, and vehicle movement. This can damage housings, connectors, antennas, and internal components.

Electrical and electronic failures: power surges, electromagnetic interference, exposure to electronic warfare (EW) equipment. This can cause microchips, transistors, capacitors, and other electronic components to fail.

The environment also has a strong impact: extreme temperatures, humidity, dust, sand, and dirt. These factors can cause corrosion, overheating, contamination, and other damage that negatively affects the operation of devices.

Maintenance in combat conditions performs several key functions: maintaining operability and performing operational repairs. Regular inspections and preventive maintenance allow minor malfunctions to be identified and eliminated before they develop into serious breakdowns. Rapid on-site troubleshooting allows equipment to be restored to working order without the need for evacuation, saving time and resources. Maintenance includes adjusting and calibrating equipment for specific conditions of use, such as changing frequencies, operating modes, or power. Faulty RET can pose risks to personnel, for example, through malfunctioning guidance or communication systems, which can lead to false targets or loss of communication.

Repairs are often carried out in the field with limited access to tools, spare parts, and diagnostic equipment. Maintenance personnel are often exposed to the threat of gunfire, explosions, or other hazards. Repairs must be carried out as quickly as possible, as delays can have critical consequences for combat operations.

All these factors underscore the importance of having well-trained specialists, portable repair equipment, and a sufficient supply of spare parts to ensure the smooth operation of electronic equipment.

Therefore, the maintenance of radio-electronic equipment is an important element in ensuring the combat readiness of units. The ability to quickly maintain and repair radio-electronic equipment is one of the key factors in the successful completion of combat missions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE PROTECTION OF COMBAT RADAR STATIONS FROM HIGH-PRECISION ENEMY WEAPONS, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

O. Serdiuk; M. Isau

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Experience in the use of enemy forces and means during the Russian-Ukrainian war shows that the radio-technical units of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine are a priority target for self-guided radio-emission weapons. Given the enemy's intensive use of high-precision weapons, anti-radar missiles (Kh-25MPU, Kh-31P, Kh-58U), which are capable of targeting the electromagnetic radiation of radar stations, pose a decisive threat to radar stations.

A number of organisational and technical measures to improve the survivability of RTV radars have been considered. Countering the destruction of radars by anti-radar missiles is based on the implementation of a set of solutions, including the deployment of portable means of simulating radar emissions and distracting anti-radar missiles from real objects and radar mock-ups in order to mislead the enemy.

The effectiveness of these actions is enhanced by the creation of complex false positions using radar simulators, corner reflectors and elements of unusable equipment.

Improving the survivability of radar stations of electronic warfare units is only possible through the integrated application of technical solutions, organisational measures and tactical techniques. The practical implementation of the proposed set of measures ensures a significant increase in the level of protection of radar units in the modern combat environment and creates the conditions for them to successfully perform their assigned tasks.

ANALYSIS OF TYPES OF MAGNETIC FIELD TRANSDUCERS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT USED BY RADIO-TECHNICAL TROOPS OF AIR DEFENSE OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

O. Kononova; S. Artiunov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The increasing requirements for the quality of weapons and military equipment (WME) used by units of the Radio-Technical Troops of the Armed Forces of Ukraine (RTT) are directly related to magnetic field characteristics and the magnetic properties of materials applied in these systems. The electromagnetic radiation (EMR) ranges emitted by WME samples influence personnel health, operational performance, and overall combat readiness of RTT units.

Determining magnetic field characteristics and material properties, followed by analysis of their advantages and limitations, significantly affects the organization and execution of scheduled maintenance activities performed by RTT personnel, which defines the relevance of this scientific and applied problem.

The purpose of this study is to analyze common types of magnetic field transducers and determine the direction of their interaction with the magnetic field source.

A magnetometer is the primary transducer used for measuring magnetic field characteristics and material properties. Depending on the measured parameter, transducers may determine field strength, direction, gradient, magnetic induction, flux, coercive force, permeability, susceptibility, and magnetic moment.

The study concludes that the selection of magnetic field transducers should consider the required parameters of WME samples operated by RTT units, operating conditions, and economic factors.

IMPROVEMENT OF THE TRAINING OF RADIO ENGINEERING UNIT PERSONNEL THROUGH THE IMPLEMENTATION OF DIGITAL LEARNING TOOLS IN THE CONDITIONS OF RUSSIA'S WAR AGAINST UKRAINE

O. Serdiuk; S. Horbachevskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the Russian-Ukrainian war, the issue of training personnel called up through mobilization has become particularly relevant. Military personnel differ in their level of professional preparedness, experience, and understanding of assigned tasks, as basic combined arms training does not fully take into account the specific

features of radio engineering units. The organization of direct position protection and ground defense requires clearly developed action algorithms, coordination, and rapid decision-making. In this regard, there is a need to improve the personnel training system with an emphasis on developing stable practical skills and continuously updating knowledge in accordance with changes in the nature of combat operations within radio engineering units. The paper examines the feasibility of using modern digital learning tools, in particular an interactive electronic reference guide, which can be applied as an instrument for rapid training and self-study. The necessity of its use lies in ensuring the acquisition of all basic and practical skills required for performing training and combat tasks, even if personnel have not received appropriate prior preparation. The use of the proposed training tool makes it possible to improve the quality of personnel training and, accordingly, increase the effectiveness of performing combat missions during measures aimed at repelling ground enemy forces and air attack assets within radio engineering units.

The interactive electronic reference guide provides quick access to structured information on the organization of direct cover and ground defense of radio engineering units. The use of diagrams, illustrative materials, hyperlinks, and interactive elements significantly improves the perception of the material, reduces the time required for its study, and enhances the level of knowledge assimilation by personnel.

Taking into account the constant changes in enemy tactics and the updating of regulatory documents, the electronic format of the guide allows for timely modifications and additions. This minimizes the risk of using outdated information during both training and the execution of combat missions.

Thus, under modern combat conditions and limited time available for personnel training, the interactive reference guide is a modern and effective learning tool intended for use in the training and improvement of practical skills of personnel of radio engineering units of the Radio Engineering Troops of the Armed Forces of Ukraine.

FEATURES OF DEVELOPING AN INTERACTIVE REFERENCE BOOK ON PREPARING RADAR SYSTEMS FOR USE IN COMBAT CONDITIONS

*K. Zmozhenko; O. Vysotskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Combat crews operating radio-electronic equipment belonging to the Air Force's radio-technical units in combat zones are the main source of information about the air situation. The training of units performing tasks in combat zones is based on maintaining acquired combat capabilities and improving the level of theoretical knowledge and practical skills of military personnel, as well as ensuring the readiness of weapons and military equipment for combat use.

In modern armed conflicts, the survivability of radar stations directly depends on the mobility of the crew and the speed of bringing the equipment into combat mode. A radar station has a complex deployment and configuration algorithm. Under enemy fire, traditional training methods and paper instructions become ineffective, which necessitates the creation of interactive digital tools.

Unlike static manuals, the proposed interactive reference guide is based on the concept of "algorithmic cards" and visual simulation. The main focus in development is on the following aspects:

1. Optimization of time indicators: the reference guide contains an interactive diagram of the sequence of deployment operations. The use of 3D visualization of mounting nodes and cable network connections helps avoid critical errors during forced deployment of the station in an unprepared position.

2. Combat configuration in electronic warfare conditions: the radar has a complex system of protection against active and passive interference. The reference manual offers an interactive simulator of a circular view indicator, where the operator can practice selecting the optimal operating mode (SDC, frequency tuning, signal accumulation) depending on the type of interference environment.

3. Resistance to stress errors: the interface is designed according to the “minimum number of clicks” principle. A fault diagnosis unit has been implemented, where, based on visual signs (instrument readings, status of light indicators on the units), the program provides a clear algorithm of actions to restore operability.

4. Specifics of combat use: sections have been added on station camouflage, position selection taking into account angles of closure, and the order of actions when detecting anti-radar missiles.

An interactive support model is proposed, combining technical operating documentation with elements of a training complex. This allows for a “cold” check of the calculation knowledge immediately before performing a combat mission.

Thus, the development of an interactive reference book for the radar provides: a 15–20 % reduction in the time required to bring the station into combat readiness through the visualization of algorithms; increased reliability of station systems in conditions of intense electronic countermeasures; the ability to quickly restore skills for personnel arriving for replenishment.

RECOGNITION OF ATMOSPHERIC PHENOMENA BASED ON ADAPTIVE LATTICE FILTER PARAMETERS

R. Stovba; D. Kichey

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Operational detection and recognition of classes of weather formations significantly reduces the probability of aviation events caused by adverse weather conditions and increases the effectiveness of combat tasks by units of the Unmanned Systems Forces. The main sources of information about the weather situation on the flight tracks of aircraft and in positional areas are meteorological radiolocators.

Existing algorithms for recognizing weather formations in radar stations differ in the complexity of implementation and the completeness of the vector of identified weather phenomena, but they do not have a single structural and algorithmic basis that would combine the task of measuring parameters and their own recognition.

It is proposed to use the parameters of adaptive lattice filters obtained in the process of their adjustment based on the reflected signal from weather formations as informative signs for identifying cloud types and dangerous meteorological phenomena.

The testing was performed on an array of data of the annual observation cycle, which contains fluctuations in the amplitudes of incoherent signals of the 3-cm range of radio waves reflected from various types of cloudiness.

The proposed method demonstrates recognition accuracy commensurate with known approaches, while it is implemented directly during the measurement of parameters of the spectrum of amplitude fluctuations, which does not require additional computational operations.

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF DIFFERENT TYPES OF FILTERS FOR FINDING WAYS TO IMPROVE THE DETECTION OF LOW-ALTITUDE AIR TARGETS

*S. Denysenko; I. Orlov; O. Stadnichenko; I. Tiahii
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Given the widespread use by the enemy of unmanned aerial vehicles, which mainly operate at low and extremely low altitudes, research and improvement of moving target selection systems are becoming particularly relevant. The quality of such systems directly determines the ability to detect air targets in a timely manner against the background of reflections from local objects.

The work studied the Legendre filter, which has not gained widespread use due to its rather complex implementation, requiring the use of higher-order polynomials and complex mathematical models. Using Simulink software, a Legendre filter model was developed and a comparative analysis with Butterworth and Chebyshev filters was performed. The developed model showed balanced characteristics, unlike its analogues, which have obvious advantages and disadvantages. The Butterworth filter has a low slope of the amplitude-frequency characteristic, but a smooth amplitude-frequency response. The Chebyshev filter has the opposite characteristics. The balanced characteristics of the Legendre filter make it an alternative to these filters in tasks where signal filtration quality is important, without focusing on different aspects of filtration.

INCREASING THE SURVIVABILITY OF RADIO ENGINEERING UNITS DURING COMBAT MISSIONS IMPROVING THE ACCURACY PERFORMANCE OF THE COMBAT CAPABILITIES OF RADIO TECHNICAL TROOPS THROUGH THE USE OF ADVANCED DOMESTIC AND FOREIGN-MADE RADAR SYSTEMS

*M. Pyvo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The complexity of detecting enemy air attack assets and the intensity of their employment determine the need to improve the accuracy of determining the coordinates of aerial targets and the parameters of their motion. The effectiveness of mission execution by radio engineering troops directly depends on the determination of the angular coordinates of aerial objects, the stability of their tracking, and the timeliness of issuing radar information to the air defense assets of the Armed Forces of Ukraine.

Successful improvement of the effectiveness of radar reconnaissance by radio engineering troop units is achieved through the deployment of radar stations (systems) of domestic and foreign production, their placement with consideration of radar coverage overlap zones, and the organization of combat duty

in order to ensure continuous control of the airspace and coverage of probable directions of enemy air attack. This ensures a reduction in errors in determining angular coordinates and increases the effectiveness of unit operations under conditions of enemy employment of active noise jamming.

Thus, the introduction of advanced radar systems and the optimization of the combat employment of radar complexes contribute to improving the accuracy characteristics of radar reconnaissance and the effectiveness of information support for air defense forces.

ENSURING THE SURVIVABILITY OF A RADAR STATION UNDER THE USE OF THE KH-35 MISSILE

K. Vashchilina

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern combat operations, radar stations (RS) are priority targets for precision-guided weapons, as they form the informational foundation of the air defense system. The use of cruise missiles, particularly the Kh-35, creates a real threat of disabling elements of the radar coverage field and disrupting command and control of air defense forces and assets. The destruction of a single radar position may result in gaps within the radar surveillance zone and reduce the effectiveness of repelling an air attack.

Improving the resistance of radar stations to fire impact should be considered a multi-component process that includes preventive, operational, and recovery measures. The foundation of this approach is the creation of an integrated countermeasure system capable of ensuring early threat detection, minimizing signature exposure, and reducing the probability of destruction.

The warning system should rely on a combination of electronic intelligence assets, automated command posts, and interaction with other air defense elements. Analytical processing of data regarding a possible missile launch makes it possible to predict its flight path, determine the estimated time of arrival, and promptly switch the station to a reduced activity mode or completely cease radiation.

The active component of protection includes the deployment of short-range surface-to-air missile systems, the use of mobile fire support assets, and the implementation of electronic countermeasures. An important element is the introduction of adaptive transmitter algorithms – frequency hopping, modification of pulse parameters, and reduction of continuous emission duration. Such tactics complicate target acquisition by the missile's guidance system.

Passive measures involve engineering enhancement of positions, construction of fortifications, use of camouflage coatings, and thermal shielding. The deployment of false radar posts with simulated electromagnetic emissions is also effective in diverting enemy strike assets. Regular relocation and minimizing the time spent at a single position significantly reduce the risk of a targeted strike.

Thus, ensuring the protection of a radar station against a Kh-35 missile requires the implementation of a multi-layered defense concept combining technical modernization, rational tactical employment, and engineering solutions. Only a systematic approach makes it possible to preserve the functionality of radar units and maintain continuous radar control of the airspace under conditions of intense fire impact.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF RADIO-TECHNICAL TROOPS WHEN THE ENEMY LAUNCHES MASSIVE MISSILE AIR STRIKES BASED ON THE EXPERIENCE OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

I. Datsinko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The recent experience of the Russian-Ukrainian war shows the growing role of massive missile and air strikes with the combined use of cruise and ballistic missiles, strike unmanned aerial vehicles and electronic warfare means. The main purpose of such actions is to disrupt the air defence system and disable elements of the radar field. In these conditions, the positions of radio-technical troops become priority targets. This requires improving their tactical organisation and increasing their survivability.

Analysis of the combat use of radio-technical troops shows that the effectiveness of positions is reduced due to exposure during prolonged operation, damage from high-precision weapons, the use of loitering munitions, and intense electronic warfare. The massiveness of strikes increases the risk of simultaneous disabling of several radar facilities and the occurrence of gaps in the radar field.

To increase efficiency, it is proposed to introduce a manoeuvrable model of position use, which includes reducing the time of continuous radiation, alternating operating modes, advance preparation of spare positions, and dispersal of equipment. It is recommended to create false positions using mock-ups and simulation devices, which reduces the likelihood of damage to real objects. Integration with short-range air defence units and anti-unmanned aerial vehicle systems provides multi-layered protection against air threats.

A summary of combat experience shows that a combination of manoeuvring, dispersal, engineering of positions and reservation of communication channels increases the survivability and resilience of radio-technical troops' positions when repelling massive missile and air strikes. The proposed measures are aimed at forming an adaptive radar reconnaissance system capable of functioning effectively under conditions of intense enemy fire and radio-electronic influence.

FEATURES OF THE ARCHITECTURE OF TABLE SYNTHESIZERS OF FREQUENCY-MODULATED SIGNALS ON PROGRAMMED LOGIC

O. Kostyria¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Y. Romanov², Candidate of Technical Sciences; D. Khokhlov²

¹*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;*

²*Kharkiv National University of Radio Electronics*

The effectiveness of using Field-Programmable Gate Array (FPGAs) in modern and promising radio equipment is explained by their high adaptability and energy efficiency. The presence of FPGAs with built-in Random Access Memory (RAM) blocks allows the implementation of tabular Digital Signal Synthesizers (DSS) with both Linear Frequency Modulation (LFM, FM) and Non-Linear Frequency Modulation (NLFM) laws.

An architecture is proposed for creating tabular DSSs on FPGAs, in which, based on simple transformations of stored digital samples, the formation of quadrature components of FM signals is ensured, which ensures their effective conversion into the microwave range. The latter is achieved without increasing the amount of RAM in the FPGA based on the frequency symmetry of FM signals and the use of the spectrum inversion effect when changing the indexing order of digital samples.

The possibility of increasing the frequency deviation and reducing the level of the side lobes of the autocorrelation function of NLFM-signals composed of several LFM fragments is shown. There is no need to increase the amount of RAM in the FPGA, since the initial samples of the LFM signal are used to synthesize these fragments.

An architecture is proposed for constructing a tabular DSS with a multi-stage procedure for forming ultra-wideband signals, the effective spectrum width of which is commensurate to the clock frequency value.

RADAR SCATTERING CHARACTERISTICS OF COMBINED OBJECTS IN THE VHF BAND

*S. Horielyshev¹, Candidate of Technical Sciences, Assoc. Prof.; O. Mihura¹, PhD;
G. Zalevsky², Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher; Y. Oliynyk²*

¹National Academy of the National Guard of Ukraine

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The results of computer simulation of radar scattering characteristics of combined aerial objects in free space, such as the unmanned aerial vehicles, as well as ground objects – vehicles and biological objects (military personnel in personal protective equipment) in the VHF band are presented. The developed iterative electrodynamic method for calculating the radar scattering characteristics allows accounting for the interaction process between the metallic and dielectric components of the object under study. Features of developed method are considered when the metallic and dielectric components of a combined object are arranged as separate structural elements (UAV model 1), or as structural elements located under a dielectric shell (UAV model 2).

Furthermore, an electrodynamic method for calculating the electromagnetic field scattered by a combined ground object is presented, accounting for the electromagnetic interaction between the object and the interface of dielectric media.

The simulation of radar scattering characteristics was carried out taking into account an arbitrary orientation angle relative to the radar, the geometry of the object's surface, and the parameters of the probing signal.

The obtained radar scattering characteristics can be used for:

- assessing and refining the capabilities of existing VHF-band radars for detecting and tracking objects;
- substantiating requirements at the stage of radar systems development;
- developing signal processing algorithms in the time and frequency domains;
- and substantiating the tactics for using VHF-band radars.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

О.В. Пуховий¹, к.військ.н., доц.;

П.В. Щипанський¹, к.військ.н., проф.; С.О. Симітко²

¹Національний університет оборони України;

²Командування Повітряних Сил Збройних Сил України

Досвід російсько-української війни свідчить про підвищення інтенсивності застосування противником безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які використовуються для виконання завдань розвідки та нанесення ударів по об'єктам. Необхідність ефективного протистояння зазначеній загрозі з повітря в умовах обмеженої кількості традиційних засобів протиповітряної оборони зумовила пошук альтернативних шляхів щодо протидії БпЛА. Одним з таких шляхів стало використання БпЛА-перехоплювачів для наведення та ураження БпЛА противника.

Слід зазначити, що такий клас засобів повітряного нападу як БпЛА характеризується малими розмірами та, відповідно, малою ефективною поверхнею розсіювання. Крім того БпЛА в основному діють на малих та гранично малих висотах на фоні віддзеркалень від земної поверхні та мають малу швидкість польоту, що ускладнює їх селекцію на фоні пасивних завад. Зазначені особливості впливають на виявлення БпЛА оглядовими радіолокаційними станціями, їх стійке супроводження в радіолокаційному полі та виконання завдань наведення БпЛА-перехоплювачів для їх ураження. Кращі можливості щодо виявлення та супроводження БпЛА мають спеціалізовані РЛС.

В доповіді проаналізовані тактико-технічні характеристики РЛС та їх можливості щодо виявлення БпЛА, наведені варіанти побудови системи радіолокаційної розвідки, визначені переваги та недоліки цих варіантів та запропоновані рекомендації, які можна застосовувати в залежності від умов обстановки для підвищення ефективності розвідки БпЛА.

RADAR MEANS OF DETECTING AIR TARGETS ON HELICOPTERS - CURRENT STATE AND DEVELOPMENT PROSPECTS

D. Donchak¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

G. Kamaltynov², Candidate of Technical Sciences; K. Shutko²

¹JSC "Ukroboronprom";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report examines the current state and development prospects of radar detection systems for aerial targets on helicopters. It considers the advantages of using radar detection systems (RLS) for ground and aerial targets on helicopters compared to ground-based systems. Specific requirements for RLS mounted on airborne mobile platforms are discussed. An analysis of global experience in creating RLS used on helicopters has been conducted. The main types and manufacturers of RLS on airborne platforms and helicopters in leading countries of the world are considered. The results of the analysis of global experience in the use of reconnaissance and information helicopter systems in combat conditions are

described. The possibilities of equipping helicopters with advanced RLS are analysed.

Trends in the development of radar systems on helicopters using modern technologies are being discussed. The possibility of using modern aviation and prospective compact radars on known and prospective helicopters and helicopter-type unmanned systems is considered. Special attention is paid to the development of helicopter air target detection systems, in particular unmanned aerial vehicles in Ukraine. The capabilities of Ukrainian enterprises to create radars suitable for installation on helicopters are analysed. The possibilities of using radars from partner countries on domestic and foreign prospective helicopters in the interests of the Armed Forces of Ukraine are discussed.

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА В НАСТУПАЛЬНІЙ ОПЕРАЦІЇ

С.В. Поліщук¹, к.військ.н., доц.; М.В. Веровок¹; О.В. Юла²; Е.І. Цуря²

¹Національний університет оборони України;

*²Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Сучасним наступальним операціям притаманний високий рівень невизначеності обстановки, що визначає складність обґрунтування прийнятих рішень на застосування військ, в тому числі і системи розвідки повітряного противника. Це є одним з ключових проблемних питань забезпечення ефективного використання сил та засобів системи розвідки повітряного противника для досягнення мети наступальної операції.

Для визначення шляхів вирішення цієї проблеми необхідно застосовувати відповідний науково-методичний апарат. Проте, аналіз існуючого науково-методичного апарату дозволив зробити висновок, що існуючі методики не враховують особливості функціонування системи розвідки повітряного противника в наступальній операції.

У доповіді розкриті основні положення удосконаленої методики оцінювання ефективності функціонування системи розвідки повітряного противника в наступальній операції оперативного угруповання військ, яка, на відміну від існуючих, дозволяє визначити варіант способу застосування сил і засобів системи розвідки повітряного противника в умовах невизначеності вимог споживачів інформації про повітряного противника та враховує проведення інженерної розвідки та розмінування шляхів висунання та позицій підрозділів системи розвідки повітряного противника.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ УГРУПОВАННЯМ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК В ОБОРОННІЙ ОПЕРАЦІЇ

С.В. Кресан

Національний університет оборони України

В умовах сучасних бойових дій ефективність застосування угруповання радіотехнічних військ (РТВ) безпосередньо залежить від ефективного функціонування системи управління.

Для підвищення ефективності управління доцільно зосередити зусилля на трьох взаємопов'язаних напрямках: оперативності прийняття рішень органами управління та доведення їх до підпорядкованих підрозділів, живучості системи управління та стійкості системи зв'язку.

Оперативність управління можливо досягти за рахунок підвищення навченості посадових осіб, удосконалення алгоритмів роботи оперативного складу органів управління, його регулярного тренування до дій в умовах швидкої зміни повітряної обстановки, а також впровадженням сучасних систем підтримки прийняття рішень в тому числі з використанням штучного інтелекту.

Живучість системи управління досягається розосередженням елементів системи управління, створенням розгалуженої мережі пунктів управління, їх інженерного обладнання та маскуванню, а також завчасним плануванням порядку передачі управління та перепідпорядкування.

Стійкість системи зв'язку забезпечується шляхом створення багатоканальної структури системи зв'язку, резервуванням технічних засобів, використанням різномірних каналів передачі інформації та впровадженням пріоритетності доведення критично важливої інформації.

Комплексна реалізація таких заходів дозволить підвищити ефективність управління утворюванням РТВ, що є ключовою умовою для його ефективного застосування в сучасних умовах ведення оборонних операцій.

ОСОБЛИВОСТІ ВЕДЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ РАДІОТЕХНІЧНИМИ ВІЙСЬКАМИ В УМОВАХ МАСОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

Д.А. Матрьонін; А.О. Слюсар

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Сучасні бойові дії характеризуються масованим застосуванням безпілотних літальних апаратів та активним використанням засобів радіоелектронної боротьби. Це ускладнює виконання завдань радіотехнічними військами з контролю повітряного простору.

Особливістю ведення радіолокаційної розвідки в бойових умовах є виявлення повітряних цілей з малими ефективними поверхнями розсіювання та змінними режимами польоту. Це потребує адаптації тактичних прийомів, вибору режимів роботи радіолокаційних станцій та гнучкої організації розгортання підрозділів.

Радіоелектронна протидія противника знижує інформативність засобів РТВ. Для підвищення ефективності застосовуються розосередження підрозділів, маневр позиціями та резервування каналів передачі інформації. Взаємодія з підрозділами РЕБ та зенітними ракетними військами забезпечує підвищення достовірності та повноти розвідувальних даних.

У доповіді обґрунтовано напрями адаптації тактики бойового застосування радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України, що дозволяє підвищити стійкість технічних засобів, скоротити час оновлення інформації та забезпечити безперервний контроль повітряного простору в умовах інтенсивного впливу БпЛА та РЕБ.

ВИКОРИСТАННЯ СИГНАЛЬНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

Д.С. Завадський

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Ефективність сучасної ППО знижується через масове застосування БПЛА-імітаторів та хибних цілей. Традиційні методи класифікації не забезпечують необхідну ефективність через схожість характеристик повітряних об'єктів та значні флуктуації сигналу залежно від ракурсу. Головним бар'єром для впровадження елементів штучного інтелекту є дефіцит реальних навчальних датасетів.

Для створення бази навчання запропоновано комплексний підхід: генерація первинних даних через програмний експеримент з використанням 3D-моделей засобів нападу; розширення бази шляхом уточнення матеріалів та контрольні розрахунки більш точними методами, багаторакурсні практичні вимірювання; формалізація еталонів на основі статистики ЕПР у різних частотних діапазонах.

Процес ідентифікації реалізується за п'ять кроків:

просторово-сигнальний аналіз: виділення ознак класів, що не перетинаються; диференціальний аналіз: фіксація змін сигналу при зміні ракурсу спостереження; імітаційне моделювання: формування баєсовських класифікаторів на основі траєкторій та сигналів; послідовне уточнення: алгоритмічне прийняття рішень при слабкому сигналі під час супроводження; інтелектуальна обробка: машинне навчання з використанням багатодомених даних (поляризаційних, мікродоплерівських тощо).

Запропонована методика дозволяє будувати адаптивні системи із самонавчанням на основі польових вимірювань. Перспективним напрямком є створення гібридних моделей, що поєднують прогностичні результати нейромереж із законами поширення на основі фізичної і геометричної оптики.

МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ БАГАТОПОЗИЦІЙНОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

В.А. Чернега

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Одним з чинників, що впливає на показники точності методу, є геометричний фактор (англ. *geometric dilution of precision, GDOP*), який обумовлений взаємним розташуванням приймальних пунктів. Для наземної системи мінімізації (або покращення) значення GDOP можна досягти вибором координат позицій приймальних пунктів.

При наявності даних про висоти рельєфу можна поставити та вирішити клас оптимізаційних задач: мінімізувати статистичні характеристики обраного показника точності (математичне очікування відхилення визначених плоских (двовимірних) або просторових (тривимірних) координат, їх медіанне значення або інше) у заданій смужі (області) розвідки при обмеженнях на

райони розташування приймальних позицій та при обмеженій висоті підйому приймальних антен. Розташування приймальних пунктів може варіюватися з урахуванням тактичних обмежень та умов місцевості. Вирішення таких задач набуває особливої актуальності під час виявлення малорозмірних повітряних цілей, зокрема безпілотних літальних апаратів, на малих та надмалих висотах.

Автором розроблено методику оптимізації розташування приймальних пунктів за критеріями мінімізації похибок у заданій смузі розвідки або заданому секторі спостереження. Формалізовано оптимізаційну задачу та проведено програмне моделювання для різних варіацій завдання системи (розвідка заданої смуги, заданого району тощо). Для оптимізації запропоновано алгоритм імітації відпалу. Перевірка результатів здійснювалася повним перебором з просторовою дискретизацією, що відповідала дискретності цифрової моделі рельєфу.

СЕКЦІЯ 8

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

Керівники секції: полковник Поліщук Я.Г.;
д.т.н. проф. прац. ЗС України Костенко П.Ю.
Секретар секції: майор Матюх Ю.В.

IMPROVING DOPPLER FREQUENCY RESOLUTION OF COMPLEX SIGNALS DISTORTED BY MULTIPLICATIVE INTERFERENCE

*P. Kostenko¹, Doctor of Engineering Science, Professor;
M. Alonkyn¹; Y. Polishchuk²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

The operation of signal processing systems under complex interference conditions, for which no a priori information about the probability distribution is available, significantly complicates the solution of signal separation problems. Traditionally, the most widely used model assumes additive noise with a Gaussian probability distribution, including cases with unknown parameters, where signal processing is reduced to matching the observed signal with its a priori model.

At the same time, the problem of measuring and separating signals distorted by multiplicative interference with an unknown probability density function remains insufficiently studied. In this regard, the use of nonparametric SG-statistics is proposed as a basis for constructing a cost function to estimate the probability of separating wideband pulsed signals by Doppler frequency in the presence of multiplicative distortions.

The results of statistical modeling indicate that the application of SG-statistics provides effective signal separation even in the absence of any a priori information about the statistical properties of the interference, whereas the maximum likelihood method demonstrates significantly lower efficiency under similar conditions.

COVERT INFORMATION TRANSMISSION USING A MODIFIED CHAOTIC CHUA SYSTEM IN A COMPLEX INTERFERENCE ENVIRONMENT

*K. Vasiuta, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Snitsarenko; I. Kazmirov*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The paper considers the problem of increasing the secrecy and quality of digital message transmission in radio channels with a high level of noise. An information transmission system based on dynamic chaos (Chaos Shift Keying) is proposed, which uses a modified Chua system as an information carrier.

The numerical modeling method has established the stability threshold of chaotic generation ($\alpha = 11$), which provides optimal correlation properties of signals. The paper has implemented a fast correlation decoding algorithm that allows

statistical analysis on large data samples (1000 bits and more). The modeling results have shown high noise immunity of the information transmission system: with a signal/noise ratio of up to -10 dB, practically error-free transmission is ensured, and the communication breakdown threshold is observed only at SNR below -15 dB.

It is proven that the use of chaotic carriers allows effectively masking the information signal under background noise, providing a high level of spectral secrecy.

NON-PARAMETRIC METHOD FOR SIGNAL DETECTION USING HILBERT TRANSFORM AND COMBINED SG PREDICTABILITY INDEX

P. Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Professor;

R. Lukianiuk; M. Kyslenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Signal detection in multiplicative noise is critically important for fading communication and radar systems. The multiplicative model differs fundamentally from the additive model in that the dispersion of interference scales proportionally to the useful signal, leading to degradation of traditional detectors.

Classic parametric methods require prior knowledge of the probability density of the interference, which limits their applicability in conditions of uncertainty. Existing nonparametric approaches based on logarithmic transformation use mainly amplitude information without highlighting the full phase dynamics of the signal.

The proposed method uses the Hilbert transform to represent the observation as an analytical signal, dividing it into instantaneous amplitude and phase. On a set of complex-valued observations, linearization is possible with subsequent determination of the predictability index separately for the envelope and phase structure. The method calculates two indices based on SG statistics and combines them with an adaptive weighting coefficient.

The weighting coefficient determines the priority of the amplitude or phase channel depending on the type of digital modulation. For phase modulation, the information is encoded in the phase dynamics, for amplitude modulation — in the amplitude change. Adaptive selection of the coefficient maximizes detection efficiency for different conditions.

Further research includes experimental verification of the effectiveness of the combined detector, justification of phase stability in high noise, extension to non-Gaussian models, multi-channel systems, and real-time weight coefficient adaptation.

IMPROVING THE PERFORMANCE OF SPEECH PROCESSING USING THE COMBINED APPROACH BASED ON SINGULAR SPECTRUM ANALYSIS

V. Vasylyshyn, Doctor of Technical Sciences, Professor;

S. Shcherbinin, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improvement of the performance of the modern communication system can be achieved by many ways. The efficiency of 5G and 6G mobile communication systems, satellite communication systems, modern radio means like Silvus defined by using the MIMO, Massive and Ultra Massive technologies. Furthermore, the

beamforming mode and channel state information are really important. The integrated channel sounding and communication can be realised in such type of systems. Additionally, the radio monitoring can be performed to select the frequency band with minimal level of interferences caused by electromagnetic compatibility problem and minimal level of jammers. The millimetre waves, artificial intelligence and machine learning can be used for further improvement.

Such as in the many situations that are important from the practical point of view it is necessary to improve the signal-to-noise ratio. This problem is very important in the case of speech processing, meteorology, radar and communication. There are many approaches allowing to reduce the level of noise. Between others the singular spectrum analysis (SSA) is widely used.

The combined approach of noise reduction is proposed. The basic element is the SSA or modified SSA. Furthermore the additional method of noise reduction is used. Joint application of several noise reduction approaches allows to improve the efficiency of processing. The choice of the second method can be performed using the solution of optimization problem.

The effectiveness of the proposed approach is investigated based on the simulation. The results of simulation confirm the improvement of performance of considered approach.

The future investigation are related with hybrid using of several approaches improving the efficiency of communication systems.

MULTI-CHANNEL DEGARBLING APPROACH USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

*V. Vasylyshyn, Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Lopatin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Secondary surveillance radars are important part of the modern systems of air control. Furthermore, the airborne transponders allow to realise the identification friend or foe system. Mode S is so called address system and has many advantages as compare to the traditional Mode C. This mode is useful for airborne collision avoidance system, traffic collision avoidance system. However, the similar system such as ADS-B (Automatic dependent surveillance-broadcast) are known.

The advantages of the surveillance systems using the transponders can be obtained if the problem of garbling effect is solved. Therefore the situation with superimposed signals must be solved.

The efficiency of the degarbling methods depends on the many factors. It can be improved with using the antenna array processing, beamforming approaches and others.

In the conditions of the low SNR the corresponding approaches should be used such as matched filtering, denoising approaches (Wiener filtering, wavelet transformation and others). The proposed approach assumes multi-channel antenna system. Convolutional neural network is used in the process of denoising. Furthermore, additional improvement can be obtained using hybrid approach when the additional noise reduction approach is used. The GPUs can be used to simplify the realisation of CNN.

The efficiency of the considered approach was investigated using Matlab. It is possible to make a conclusion that the proposed approach improves the performance of the degarbling approach.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IMPROVEMENT OF THE COMMUNICATION MEANS USING ADAPTIVE ARRAY

*V. Vasylyshyn, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Liebiediev, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Improving electromagnetic compatibility (EMC) in modern communication devices is a complex task that involves ensuring stable means operation in crowded radio environments and minimizing interference with other systems.

Traditionally the improvement of EMC can be obtained by using the adaptive power control, monitoring of the radio spectrum, modern methods of signal processing and space-time signal processing.

Space-time processing can be implemented based on the active electronically scanned array, phased antenna array, MIMO systems, adaptive antenna array.

Nowadays the adaptive antenna arrays are widely used in the many areas, including global navigation satellite system which are related with Positioning, Navigation, and Timing (PNT), communication system. The main advantage of such type of array is the possibility to use the beamforming mode to form the zero of the beampattern in the direction of interference. The several examples of using of the such approach in the modern communication means are known.

The direction of arrival estimation allows to obtain the information needed for the implementation of adaptation algorithm. In the paper the modification of ESPRIT approach is considered which is effective even in the case of the small antenna elements.

Simulations are conducted using Simulink Matlab. They confirm the improvement of performance of the communication system from the EMC point of view.

The directions of future investigations are related with using the artificial intelligence and deep learning, with considering nonstationary interferences.

METHOD FOR SELECTING TIME-SEGMENT DURATION TO ENHANCE INTERFERENCE IMMUNITY IN WIRELESS INTELLIGENT TELECOMMUNICATION SYSTEMS

*G. Shubina; V. Lysechko, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern wireless intelligent telecommunication systems, operational efficiency largely depends on the proper selection of time-domain signal structure parameters, particularly the duration of time segments. A mismatch between the segmentation scale and channel characteristics under interference conditions leads to increased multiple access interference, degradation of ensemble correlation properties, and reduced interference immunity.

This study proposes a method for selecting the duration of time segments of forming signals, where the segment length is treated as a controllable parameter determined through minimization of an integral optimization criterion. The criterion incorporates the average mutual correlation level of the signal ensemble, variation of energy parameters, and the signal-to-noise ratio (SNR). The method involves forming a set of admissible segment durations, evaluating interference immunity

indicators for each configuration, and selecting the optimal segmentation scale in accordance with the current interference environment.

Unlike fixed-scale or heuristically adjusted segmentation approaches, the proposed method ensures alignment of the signal time structure with the local channel dynamics. This reduces mutual interference and improves the stability of ensemble correlation characteristics. Simulation results demonstrate a 15–22 % reduction in multiple access interference and an overall improvement in interference immunity under structurally nonstationary channel conditions.

ADAPTIVE CONTROL OF THE TIME–FREQUENCY STRUCTURE OF SIGNALS IN COGNITIVE COMMUNICATION SYSTEMS

*V. Panimatka; V. Lysechko, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern cognitive telecommunication systems operate under conditions of limited and dynamically changing radio-frequency environments, which require high interference immunity and the ability to ensure the simultaneous operation of numerous users within a shared spectrum. One of the key challenges of such systems is the presence of mutual correlation between signals within an ensemble, which leads to increased inter-channel interference and degradation of communication channel characteristics.

Well-known methods for forming ensembles of complex signals are based, among other things, on time-domain or frequency-domain permutations of signal structural elements. However, independent control of time and frequency parameters does not provide a stable reduction of mutual correlation under dynamically varying radio-frequency conditions, which is characteristic of cognitive telecommunication systems.

An adaptive control method for the time–frequency structure of signal ensembles is proposed, in which the parameters of time segmentation and frequency allocation are treated as interrelated control parameters. The efficiency of the method is evaluated using a normalized correlation indicator defined by the maximum level of sidelobes of the mutual correlation function, normalized with respect to the signal basis.

Coordinated reconfiguration of the time–frequency structure, taking into account the current spectral state, enables a stable reduction of mutual signal correlation, thereby improving interference robustness and spectral efficiency of next-generation cognitive communication systems.

RESEARCH ON ILS AND MLS TYPE APPROACH RADIO SYSTEMS

*D. Karlov, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Fedorchak; A. Shcherban
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The study is devoted to the comparative analysis of ILS and MLS approach radio engineering systems in the context of improving the safety and efficiency of aviation traffic. The traditional ILS (Instrument Landing System) uses course and glide beam beacons to guide the aircraft, but has significant limitations: it provides only one fixed trajectory, has only 40 frequency channels and is vulnerable to terrain or building interference. In contrast, the microwave-based MLS (Microwave

Landing System) offers 200 channels and high accuracy thanks to the principle of a time-resolved scanning beam.

The main advantages of MLS are the ability to perform curvilinear landing measures, support for STOL-type aircraft and helicopters, as well as stable operation in the conditions of a complex mountain landscape. Despite the technological advantage of MLS, its wide implementation is restrained by the high cost of on-board equipment, which is 3–4 times more expensive than ILS counterparts, and competition from satellite navigation systems (GNSS/GBAS). As a result, while MLS remains indispensable for airports with extreme conditions, the future of landing systems lies in satellite technology and existing precision guidance tools.

STUDY OF THE ACCURACY OF MEASURING AIRCRAFT COORDINATES BY A SHORT-RANGE RADIO NAVIGATION SYSTEM USING WIDEBAND SIGNALS

*D. Karlov, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher; I. Hlushchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Short-range radio navigation systems (RSBN) are complex of ground-based and airborne equipment that contain a large number of functional connections and elements. They are installed as the primary navigation equipment at permanent and operational aviation bases as well as on aircraft of the Air Force.

Short-range radio navigation systems belong to the class of angle-and-range radio navigation systems, in which the aircraft position is determined onboard by the intersection of position lines corresponding to its azimuth and range relative to a ground-based radio beacon. RSBN-4N systems play a key role in ensuring flight safety, since they provide high-precision positioning of an aircraft at short and medium distances from ground navigation aids. The accuracy of coordinate measurements directly affects the quality of navigation support, the level of crew situational awareness, and the efficiency of automated flight control systems.

Wideband signals are characterized by a large frequency bandwidth, which ensures short pulse duration in the time domain. This makes it possible to determine the signal arrival time at the receiver more accurately and, therefore, reduce the range measurement error. In addition, such signals have increased resistance to interference and a better ability to separate reflected signals under complex multipath propagation conditions, which is especially important for the operation of short-range navigation systems in the aerodrome area.

The potential accuracy of the pulse-time method for range measurement depends on the signal-to-noise ratio and the root-mean-square effective spectral width of the signal.

The main distinguishing feature of RSBN-4N is the use of the differential range measurement method, which makes it possible to improve positioning accuracy and reduce the influence of systematic errors.

Thus, the use of wideband signals in short-range radio navigation systems opens new opportunities for increasing the accuracy of aircraft coordinate measurements, improving interference immunity, and enhancing the reliability of navigation support. Research results in this field can be applied in the modernization of existing navigation systems as well as in the development of new high-precision navigation and landing complexes for aircraft.

FIBRE OPTIC TRANSMISSION SYSTEM ARCHITECTURE FOR CRITICAL AIR TRAFFIC SUPPORT SYSTEMS

*O. Onyshchuk, Ph.D., Associate Professor;
D. Karlov, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The architecture of the Fibre Optic Transmission System (FOTS) must integrate a set of active and passive components that ensure reliable, continuous, and standardized data transmission between critically important air traffic support systems of state aviation.

The active elements of the FOTS include:

- optical multiplexers (MUX);
- channel banks (CB);
- network switches (SWITCH);
- programmable logic controllers (PLC).

All technical devices employed within the FOTS must support standardized physical interfaces, including:

- twisted pair cables;
- fibre-optic interfaces;
- high-speed variants of coaxial cables.

The linear-cable infrastructure of the airfield's fibre-optic network must be designed and constructed with enhanced requirements for reliability, durability, and resistance to environmental impacts. The key structural components include:

- single-mode optical fibres (SMF);
- hermetically sealed splice closures and terminal optical devices;
- fusion-splice joints with guaranteed losses not exceeding 0.2 dB;
- underground communication manholes and cable ducts.

Thus, the external cable infrastructure of the Fibre Optic Transmission System is formed as a robust, protected, and standardized system designed for long-term operation without parameter degradation. This ensures the integrity of communication channels between the most critical air traffic radio-technical support systems, minimizes the risk of failures, and guarantees compliance with aviation safety requirements

AIRPORT CABLE LOOP SYSTEM FOR CRITICAL AIR TRAFFIC SUPPORT SYSTEMS

*O. Onyshchuk, Ph.D., Associate Professor;
O. Vysotskyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Fibre Optic Transmission System (FOTS) at an airfield is implemented in the format of the Airport Cable Loop System (ACLS) – a specialized ring-based fibre-optic infrastructure that ensures communication between all key elements of the aerodrome complex. These elements include: Instrument Landing System (ILS) consisting of Glide Slope, Localizer and markers (MM/IM/OM) transmitters or Distance Measuring Equipment (DME); Transponder Landing System TLS; MALSR lighting system; Airport Surveillance Radar (ASR); Precision Approach Radar (PAR); Tactical Air Navigation System (TACAN); Remote Transmitter/Receiver (RT/R); Command Control Point.

The optical infrastructure is constructed using a ring topology, which provides network resilience to single-point failures and enables automatic rerouting of traffic around damaged sections. This architecture forms a unified, highly reliable information platform for transmitting critical data required for navigation, radio-technical flight support, and air-traffic control operations.

Since the ASR/PAR, the ILS/TLS, the TACAN, the RT/R and the Command Control Point represent the most critical components of the ground-based infrastructure, the FOTS design must incorporate a redundant fibre-optic backbone to ensure their continuous and uninterrupted operation.

Thus, ring topology of the ACLS ensures increased reliability through automatic protection switching mechanisms and the network's capability for self-recovery after failures. This makes it the optimal technical solution for the radio technical support system for state aviation flights.

DEVELOPMENT OF SPECIAL SOFTWARE AND MATHEMATICAL TOOLS FOR CALCULATING THE ENERGY CHARACTERISTICS OF THE RADIO LINE “NON-DIRECTIONAL BEACON – AUTOMATIC DIRECTION FINDER”

*V. Pozdnyak; O. Kulyk, Candidate of Military Sciences; O. Pavlichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current level of development of aviation radio navigation systems is quite high. At the same time, Ukrainian state aviation continues to successfully use medium-wave (hectometer) range radio navigation systems (“NDB-ADF” systems) both for guiding aircraft to the airfield and for constructing pre-landing maneuver.

Due to the fact that these systems are still in operation, questions periodically arise regarding the calculation of their maximum range with known technical characteristics of NDB and ADF, as well as the solution of the inverse problem – the justification of the characteristics and parameters of NDB antennas and transmitters at the stage of their design, modernization, or purchase at a given maximum range of the system.

The proposed special software and mathematical support, implemented in the Mathcad environment, allows these calculations to be automated for radio links using ground waves with any electrical parameters of the underlying surface.

The research results can be applied not only to calculate the energy characteristics of “NDB-ADF” radio links, but also in cases where multiple repeated calculations of radio links with different input data are required, in particular, when justifying the basic technical parameters of radio navigation and radio communication devices operating on ground waves in the frequency range from 30 kHz to 30 MHz.

ANALYSIS OF INTERFERENCE IMMUNITY OF AIR TRAFFIC CONTROL RADARS

*O. Vysotskyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Zvonkova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In real operational conditions, air traffic control radars (ATC radars) of precision approach radar systems receive and process various interference signals along with the useful signal. These include: passive interference (reflections from local objects

and meteorological formations, as well as reflections from the underlying surface); unintentional interference from various radio engineering systems and radiating devices; industrial and atmospheric interference; internal system interference (signals transmitted and received through the antenna side lobes of the ATC radar); external and internal noise and interference signals; as well as intentional jamming from electronic warfare systems.

The primary channel of the modernized DRL-10MA (-10ML) radars provides protection against asynchronous pulse, passive, and active interference. Asynchronous pulse interference of various types is completely suppressed through digital signal processing. Protection against passive interference is ensured by an adaptive digital moving target indication system and the creation of a dynamic map of local objects, which makes it possible to eliminate stationary echoes even under conditions of high intensity. Protection against active interference is achieved through automatic monitoring of the interference environment with the results displayed at the automated workstation; implementation of instant electronic tuning of the operating frequency of the ATC radar with a 0.4 MHz step within the frequency band defined by ICAO requirements and recommendations; and by increasing the dynamic range of the receiver and the digital signal processing unit. Protection against internal system interference is ensured by the antenna side-lobe suppression mode of the ATC radar, both for interrogation and reply channels, across the entire range of elevation and azimuth angles.

ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF TRANSPONDER LANDING SYSTEMS WITH RADIOELECTRONIC MEANS OF RADIOTECHNICAL SUPPORT SYSTEM

*O. Vysotskyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Makarov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; R. Konstantinov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The increase in the intensity of the use of radioelectronic means in the system of radio technical support of state aviation flights necessitates a comprehensive analysis of their mutual influence in the single electromagnetic space of the airfield. Special attention is needed to the implementation of transponder landing systems (TLS), the principle of operation of which is based on interaction with aircraft transponder. Operation of TLS in a common frequency environment with radioelectronic means of radiotechnical support system can lead to the occurrence of mutual unintended electromagnetic interference. The consequence of this is a possible deterioration of the accuracy of determining the parameters of the approach to landing, a decrease in the stability of the receiving paths and a decrease in the immunity of systems in a complex electromagnetic environment.

To minimize the specified risks, it is advisable to carry out a preliminary analysis of the spectral characteristics of TLS signals and other radio technical means, assessment of the levels of side radiation, and the spatial location of antenna systems. An important element is the modeling of the electromagnetic situation, taking into account the real modes of operation of the transmitters and the sensitivity of the receiving devices. Among the practical measures to ensure electromagnetic compatibility, we can single out the optimization of frequency planning based on the developed norms of frequency-territorial diversity between TLS and radioelectronic means of radio technical support system for state aviation flights, as well as the regulation of modes of simultaneous operation of radioelectronic means.

APPROACH TO ASSESSING THE RELIABILITY OF THE LRBG COURSE RADIO BEACON AS A MILITARY-TECHNICAL SYSTEM

*O. Kulyk, Candidate of Military Sciences;
I. Kostenko, Candidate of Military Sciences, Senior Researcher;
D. Voronov, Candidate of Technical Sciences; O. Pavlichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The main tasks in armed combat are performed by military-technical systems (MTS) of various functional purposes, which are an interconnected set of weapons, military equipment, and military personnel (operators). Each of the MTS can effectively perform its assigned tasks only when the technical means (TM) (in our case, this is the course radio beacon (CRB) of the landing radio beacon group (LRBG) of a military airfield) and the operator(s) will be function reliably.

The reliability of TMs, as their complex property, is usually characterized by their fault tolerance, maintainability, preservation, and durability. To take into account the impact of the operator on the reliability of the MTS, which is one of the types of “human-machine” systems (anthropotechnical systems), it is proposed to use the following indicators: the probability that the operator will be able to start work at any given moment; the probability of the operator performing the specified actions in a timely manner; the probability of error-free execution of specified actions; the probability of the operator correcting his mistakes. Their combination characterizes the biological and operational working capacity of the operator. The reliability of the actions of the CRB operator is not a constant value, but changes over time. This is due to both changes in the conditions in which the operator works and fluctuations in the medical and biological indicators of their condition, which causes changes in their operational working capacity. Therefore, when determining the reliability of an operator in each specific case, it is necessary to select those factors that are most characteristic of their type of activity.

FEATURES OF THE PROPERTIES OF CHAOTIC AND STOCHASTIC PROCESSES IN THE FOCUS OF RADIO STEGANOGRAPHY

*S. Shcherbinin, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The need to implement Quality of service for subscribers in terms of increasing the steganographic stability of transmitted information. Led to the development of steganography as a science and the search for new methods of information transmission. The use of the Open Systems Interconnection Basic Reference Model for the classification of steganographic protection methods makes it possible to highlight a new direction, such as physical steganography, a subclass of which is radio engineering steganography. The principles of radio steganography depend primarily on the properties of the transmitted signals. In other words, radio steganography is a combination of signal theory and digital steganography, where the signal acts as a container for hidden data. Considering the properties of signals that affect steganographic stability, a promising direction from the point of view of radio engineering steganography is the use of chaotic and stochastic signals.

A significant difference between stochastic and pseudo-random processes is that pseudo-random processes are synthesized on the basis of deterministic processes by gradually complicating them, while stochastic processes are synthesized by

gradually introducing determinism (adding long-term memory elements), that is, simplifying the process. Chaotic processes are partial cases of stochastic processes and are distinguished by the presence of strange attractors in the dynamics of their behavior in pseudophase space. Complicating deterministic processes during signal generation leads to a broadening of the spectrum, which increases the redundancy of the information being transmitted, but increases structural secrecy. Simplifying stochastic processes reduces redundancy and secrecy.

IMPROVED METHOD FOR GENERATING STOCHASTIC SIGNALS USING VOLTERRA SERIES

*S. Shcherbinin, Candidate of Technical Sciences; M. Gariachiy
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

An improved method for forming and nonlinearly processing stochastic signals in command-and-control information systems, based on second-order Volterra series with adaptive kernel parameter tuning. A mechanism for adjusting the kernel structure in accordance with the statistical properties of the input signal is proposed, enabling increased model stability under varying spectral content.

To evaluate the effectiveness, an experimental comparison was conducted between the improved method and the baseline Volterra-series approach, analyzing indicators such as effective spectral width, spectral-efficiency gain, impact on high-frequency components, and performance on structured (OFDM) and noise-like signals. The optimization reduced the effective spectral width by up to 8.6 % for structured signals and ensured a consistent spectral-efficiency improvement of 1.9–5 %, while preventing the uncontrolled spectral expansion characteristic of the basic model when processing noise realizations. The experimental results confirm the feasibility of integrating the adaptive kernel-tuning mechanism into the Volterra-based processing pipeline to improve its efficiency for real-time operation under limited frequency-resource conditions.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF MASH AND MANET NETWORK TOPOLOGIES

*O. Kulyk, Candidate of Military Sciences; V. Pozdniak;
E. Komarov; S. Blashchuk, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

With the advent of new network architecture models capable of self-organization (Mash and MANET) and focused on packet-based information transmission, it has become possible to significantly improve the efficiency of intra-airfield radio communication networks. These networks are complex systems that are usually characterized by a significant number of indicators. Among them is the topological structure (topology) of the network, as the mutual arrangement of a certain set of nodes and hosts, with their inter-element connections.

A distinctive feature of the Mash network topology is that it is cellular. It is characterized by the stationary or rarely changing location of nodes that are within each other's radio coverage area and, as a result, rare changes in the physical topology of the network. Its logical topology is characterized by the presence of numerous inter-node connections, often excessive, but aimed at ensuring the

reliability of the network. It can be fully connected or partially connected. It is possible to divide the network into cluster zones with 8–16 access points and automatic updating of the topology (at the cluster level) and route configuration. Simple routing is used.

The MANET network topology is characterized by: the absence of stationary nodes – they are all mobile; the network graph is constantly changing (it is very dynamic); connections between nodes that simultaneously function as routers and hosts are broken and formed randomly. The logical topology that was relevant at the moment can instantly change to a new one; due to the uneven distribution of nodes in space, the emergence of isolated network segments is not excluded. Complex self-organization algorithms are used.

Both networks are characterized by decentralization and scalability.

DATA SECURITY IN THE DRUPAL CONTENT MANAGEMENT SYSTEM

O. Sievierinov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Sukhoteplyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern digital world creates conditions for a rapid growth in the amount of information processed and stored in web applications. This data includes personal information, financial transactions, corporate documentation and much more. Protecting such data is one of the key tasks for developers and administrators of web applications, because any vulnerability in the system can cause significant financial losses, reputational risks and even legal liability.

Given the frequent cases of cyberattacks, such as data leaks, website hacking and the use of vulnerabilities for unauthorized access, ensuring the security of web applications is becoming a prerequisite for their functioning. In this context, content management systems (CMS), which are the basis for many websites, especially need reliable protection.

Among the most common free CMSs are WordPress, Joomla and Drupal. The main advantage of these platforms is that large teams of specialists have been working on their security for a long time. In the case of open source systems, the user community is also actively involved in finding and fixing vulnerabilities, which increases the level of security of such platforms.

Drupal is one of the leading content management systems due to its flexibility, scalability and wide range of capabilities. It is used to create websites for government agencies, large corporations, educational institutions, news portals and even online stores. Drupal's unique architecture allows you to integrate various modules, which significantly expands its functionality and at the same time increases the complexity of data protection.

Drupal's high popularity among large and medium-sized organizations makes it an attractive target for cybercriminals. Vulnerabilities in content management systems can be used to hack websites, steal personal information of users or introduce malicious software. Therefore, researching data security in Drupal is especially important both for maintaining data confidentiality and for ensuring stable operation of websites.

Drupal developers regularly release updates to improve security, but the open source and free nature of the system make it easily accessible for research and abuse. Technical flaws, together with the human factor, make the system vulnerable to attacks such as dictionary attacks or brute force attacks.

Various settings and additional tools are used to protect against such attacks. The report examines the main measures to improve the security of the content management system using the Drupal CMS as an example. Recommendations have been developed to ensure the security of a Drupal CMS site.

CONSTRUCTION OF A RADIO TRANSMITTER ON A PLATFORM OF AN UNMANNED AIRCRAFT BASED ON SDR RADIO MODULES

*O. Pavlichenko; O. Kulyk, Candidate of Military Sciences;
V. Pozdnyak; I. Kostenko, Candidate of Military Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

An SDR repeater is a software-defined radio system that combines the capabilities of receiving and transmitting radio signals. Unlike traditional equipment, its functions (modulation, demodulation, filtering) are implemented in software, which makes it an extremely flexible and powerful tool for users. Thanks to the software implementation, the SDR repeater can be configured for different operating frequencies in the range from 1 MHz to 2 GHz and operating modes without replacing the hardware. It is enough to update the software to change the functionality. The functionality can be easily expanded using additional modules or programs.

The SDR architecture is characterized by flexibility, which is understood as the ability to switch between channels and change the type of modulation. As a result, the existing SDR hardware platform can be easily reprogrammed to support any new wireless data exchange standards that are gaining popularity. The hardware of radio systems based on the SDR architecture is simpler, since many analog circuits in them are replaced by software processing of the digital signal. SDR devices can provide high reliability of information transmission (from $BER = 10^{-5}$ to $BER = 10^{-6}$) with a high radio link availability factor (0.98).

SDR radio repeaters allow for more efficient methods of signal generation and processing during reception in order to reduce the signal-to-noise ratio at the receiver input, while ensuring compliance with channel quality standards and a sufficiently high throughput.

ANALYSIS OF MODELS OF INTELLIGENT MANAGEMENT OF GROUND-TO-AIR AD-HOC COMMUNICATION NETWORKS

*V. Kubrak; I. Melnikov; V. Vorotintsev;
S. Blashchuk, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid and dynamic nature of modern warfare and the need to exchange increasing amounts of digital data necessitate the introduction of Ad-hoc networks into the troop and weapon control system. The self-organised networks of the Ukrainian Air Force have a number of features that stem from the specific nature of their activities. The nodes of these networks are often located at distances that do not allow for direct communication between them. In addition, there is a need to exchange data with nodes that are moving at high speeds at extremely low altitudes.

To ensure guaranteed data exchange in such conditions, it is necessary to place separate Ad-hoc network nodes on unmanned aerial vehicles – repeaters, while adjusting their position in space in accordance with constantly changing conditions.

Therefore, there is a need for continuous intelligent control of ground-air ad-hoc communication networks.

The presentation analyzes the possibility of using various models and approaches for intelligent management of ground-air communication self-organized networks, such as Random Waypoint Model (RWP), Group Mobility Model (GMM), Trajectory Mobility Model (TMM), Potential Field Mobility Model (PFMM), and Machine Learning-based Mobility Model (MLMM). The effectiveness of the process of intelligent management of ground-air communication ad hoc networks using these models was predicted based on the criteria of packet delivery rate and transmission delay.

Recommendations have been formulated for selecting an intelligent management model for ground-air ad hoc communication networks to ensure their high performance, reliability, and adaptability of data exchange in the dynamic conditions of their actual combat use.

EDR SYSTEMS PROTECT ENDPOINTS FROM SOPHISTICATED THREATS

*O. Sievierinov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Sukhoteplyi*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid development of information technologies and the increase in the number of cyberattacks necessitate the implementation of modern endpoint protection mechanisms that are capable of detecting and blocking complex, multi-vector threats in real time. Traditional antivirus solutions, based mainly on signature analysis, can no longer guarantee a sufficient level of security in the face of the use by attackers of new approaches to behavioral techniques, fileless attacks, abuse of legitimate system tools, and complex chains of compromise. This has led to the emergence and active development of Endpoint Detection and Response (EDR) systems focused on deep telemetry, behavioral analysis, and automated response.

The paper provides a comparative analysis of modern EDR solutions, including Microsoft Defender for Endpoint, SentinelOne Singularity, and Cisco Secure Endpoint, and identifies their strengths and weaknesses based on theoretical analysis and experimental testing.

The analysis of the architecture of EDR solutions confirmed that their key advantages are deep behavioral telemetry, support for continuous monitoring, the ability to automate response, and close integration with SOC, SIEM, SOAR, and threat intelligence ecosystems. These characteristics provide EDR with the status of one of the basic elements of modern security architecture, which forms a critical plane of visibility in the SOC Visibility Triad.

Modeling of MITRE ATT&CK techniques allowed us to obtain objective quantitative and qualitative assessments of the ability of Microsoft Defender for Endpoint, SentinelOne Singularity, and Cisco Secure Endpoint to counter multi-vector attacks. The test results showed significant differences between the products in terms of detection speed, depth of event correlation, quality of automated response, and ability to capture complex attacker tactics. The SentinelOne platform demonstrated the highest autonomy, accuracy of behavioral analysis, and response efficiency, which made it possible to determine it as the most effective EDR solution among the studied ones.

The study confirmed that even the most advanced solutions require proper adaptation to the enterprise architecture, setting security policies, integration with other SOC components and regular review of analytical rules. The effectiveness of EDR significantly depends on the quality of telemetry, clarity of response mechanisms and the level of maturity of cyber defense processes in the organization. Thus, EDR is not a stand-alone element, but works most effectively in conjunction with proactive control methods, centralized analytics systems and automation of response processes, endpoints and increasing the maturity of the enterprise information security system.

APPLICATION OF QUANTUM TECHNOLOGIES IN FIBER-OPTICAL COMMUNICATION LINES TO INCREASE INFORMATION SECURITY

*O. Chechui, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Liebiediev, Candidate of Technical Sciences; V. Kushnir
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Fiber-optic communication lines (FOCLs) form the backbone of the electronic communication network of the Armed Forces of Ukraine, ensuring the necessary levels of stability, throughput, and information security. However, given the constant advancement of enemy technical intelligence and interception methods, there is a pressing need for new solutions to enhance FOCL information security.

Existing methods for protecting FOCLs demonstrate limited effectiveness against modern unauthorized access techniques.

One contemporary approach to improving security is the application of quantum technologies, implemented not by measuring energy parameters but by analyzing the quantum statistics of photons. The key advantage of this technology is that it provides quantum-level protection in the existing fiber-optic infrastructures.

This paper proposes the application of the Measurement-Device-Independent Quantum Key Distribution (MDI-QKD) protocol in branched Passive Optical Networks (PONs), ensuring detector synchronization via a dynamic time-window control algorithm. The presented algorithm allows the MDI-QKD protocol to operate simultaneously with gigabit traffic without requiring a dedicated fiber, while accounting for phase noise and temperature drift within the passive network tree with splitters.

The implementation of the proposed solutions will enhance the information security of PON-based FOCLs while ensuring data exchange within the electronic communication network of the Armed Forces of Ukraine, and can be applied to the construction of hybrid quantum-classical communication networks.

REQUIREMENTS FOR MANET NETWORK EQUIPMENT TO ENSURE RADIO COMMUNICATION AT THE AIRFIELDS OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*Y. Komarov; O. Kulyk, Candidate of Military Sciences; O. Shcherbak; S. Kyrylenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of combat operations by the aviation of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine in the face of russian aggression confirms the critical vulnerability of stationary telecommunications infrastructure at airfields. The

purpose of this report is to consider the requirements for Mobile Ad-hoc Network (MANET) equipment, which is capable of self-organization and ensuring resilient data exchange under conditions of active electronic jamming. The primary requirement for the network architecture is its full decentralization. MANET equipment must function without a designated central control node, thereby ensuring system survivability in the event of individual segment destruction. The speed of dynamic routing must be in milliseconds to maintain stable communication with mobile objects. The radiophysical parameters of the equipment must guarantee interference immunity through the use of Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) with a rate exceeding 1000 hops/s and COFDM modulation. This will minimize the impact of multipath signal propagation in airfield environments and ensure stealth. Receiver sensitivity must be no worse than $-95\ldots-102$ dBm at a 5 MHz bandwidth, which is critical for operation at the edge of the coverage area. Information security must be implemented through hardware AES-256 encryption and strict node authentication (Anti-Spoofing). The implementation of equipment with these characteristics will allow for the creation of an EW-resistant “unified information field” at the airfield, guaranteeing continuity of command and control over aviation units and subunits even under conditions of destroyed stationary communication lines.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO IMPROVE THE SECRECY OF THE 21ST EMERGENCY CHANNEL

*O. Chekunova, Candidate of Technical Sciences, Professor; O. Ratych; V. Datsiuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Enhancing the stealth of the information channel of ground-based aerodrome radio stations is achieved through the use of pseudorandom signals, which enables effective operation under the influence of the enemy’s electronic warfare and radio-technical reconnaissance assets.

Based on an analysis of existing methods for improving signal stealth under conditions of enemy radio intelligence and electronic warfare, a method for signal masking and recovery of a binary message in the 21 emergency channel has been developed. The main requirements for a pseudorandom signal receiver have been substantiated.

The application of methods and algorithms of nonlinear dynamics to solving the problem of enhancing signal stealth – specifically, reducing the probability of detecting the fact of its transmission by generating signals with characteristics close to those of white noise. An approach based on the formation of analytical chaotic sequences is used to construct such signals.

The analysis of their properties is based on the study of the constructed chaotic signals using methods and algorithms developed in nonlinear dynamics. The use of signals formed by analytical chaotic processes makes it impossible both to detect the fact of their transmission and to reveal their structure. As a result of these properties of the proposed signals, high stealth of the 21 emergency channel is ensured.

Therefore, improving the stealth of the PAR-ARK system is achieved through the use of chaotic signals and algorithms for their processing, which is confirmed by the results of modeling the binary message recovery algorithm and the pseudorandom signal generation algorithm.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORKS IN MODERN WARFARE

*O. Shcherbak; D. Voronov, Candidate of Technical Sciences; A. Lopatin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A distinctive feature of modern warfare is the comprehensive use of automated military systems (complexes) that utilize the latest advances in artificial intelligence (AI) and neural network technology for rapid and effective real-time control of weapons and military equipment.

Even before the full-scale invasion, measures were taken to ensure the effective use of AI. In 2020, an Expert Committee on Artificial Intelligence Development was established, which a year later published a strategy for the implementation and integration of artificial intelligence into the military-industrial complex. The creation of software products based on artificial intelligence and neural networks used in warfare, such as Kropiva (a command and situational awareness system that integrates artificial intelligence (AI) for specific battlefield command tasks), GIS Arta (an innovative situational awareness system used for effective artillery operations), Clarity (a system that automatically detects military equipment and signs of enemy presence in photographs and videos), Avengers (processes video streams or recordings, extracting individual frames for analysis by a neural network, and is based on computer vision and deep learning models) has improved reconnaissance and object identification, automated the processing of large data sets, coordinated the actions of drones and units, and improved the quality of target engagement.

The ability of AI and neural networks to effectively optimize decision-making, automate the analysis of complex intelligence data, and enhance autonomous systems makes it suitable for comprehensive use in the military sphere and directly in modern warfare.

PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE TACAN MM-7000 TACTICAL AIR NAVIGATION SYSTEM

*V. Zakharchenko; V. Liebiediev, Candidate of Technical Sciences; O. Ratych
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Radio navigation support of NATO air forces is based on the use of TACAN (Tactical Air Navigation) systems as ground-based facilities for measuring range and azimuth.

The TACAN MM-7000 is an azimuth-range, phase-pulse radio navigation system for NATO military aviation that provides onboard determination of azimuth and distance. This system represents a further development of the TACAN AN/TRN-48 and is capable of performing the same functional tasks, while being implemented in a portable configuration.

The portable configuration of the TACAN MM-7000 enables significantly faster deployment, setup, maintenance, and repair of the system. Another advantage of this radio navigation system lies in its weight and dimensional characteristics, which enhance mobility and operational flexibility, while reducing the manpower and engineering resources required for site preparation and deployment.

TACAN MM-7000, despite its small overall dimensions, is a sufficiently accurate and reliable radio navigation system, and in terms of tactical and technical

characteristics it is not inferior to TACAN AN/TRN-48 and similar systems. It is compatible with the on-board equipment of all military aircraft of the US and NATO countries.

Therefore, the TACAN MM-7000 is a promising radio navigation system for the improvement and development of the radio-technical flight support system of state aviation. The implementation of this radio navigation system within the radio-technical flight support framework of state aviation will significantly enhance the unified radio navigation field during the execution of combat missions by aircraft that comply with NATO standards.

ENHANCEMENT OF TACTICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF PRECISION APPROACH RADARS THROUGH THE APPLICATION OF PHASED ARRAY ANTENNA SYSTEMS

*O. Kramar; V. Liebiediev, Candidate of Technical Sciences; V. Klimov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A precision approach radar is designed to accurately determine the position of an aircraft relative to the runway centerline (azimuth/course) and glide path during the landing approach. The accuracy of azimuth, elevation angle, and slant range measurements directly affects the safety of aircraft landing operations.

Most existing precision approach radars are based on mechanically scanned antenna systems operating in both azimuth and elevation (glide path) channels. This operating principle limits the information update rate and leads to mechanical wear of antenna drive components.

One of the primary approaches to enhancing the tactical performance characteristics of precision approach radars is the implementation of phased array antenna (PAA) technology. A phased array enables electronic beamforming and beam steering without mechanical antenna movement. This significantly increases sector scan speed, improves angular resolution, and reduces coordinate measurement errors of the aircraft.

The application of phased array antennas provides high antenna gain, low sidelobe levels, adaptive beamforming capability, and improved resistance to both active and passive interference. It also enhances angular resolution performance. The modular architecture of the array increases system reliability and survivability.

Thus, the integration of phased array antennas into precision approach radars enhances their tactical characteristics through improved measurement accuracy, higher information update rates, and increased operational reliability.

INTELLIGENT CONTROL METHODS IN THE AVIATION RADIO COMMUNICATION SYSTEM TO INCREASE ITS IMMUNITY

*O. Chechui, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; I. Bilichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of conducting combat operations by Air Force units of the Armed Forces of Ukraine indicates the active use of electronic warfare (EW) means by the enemy, and their constant improvement necessitates increasing the noise immunity of information exchange channels in aviation radio communication systems.

One of the modern approaches to building radio communication systems is to define them as systems capable of real-time intelligent frequency analysis. Such a system can be implemented through the use of reinforcement learning methods and recurrent neural networks. Such a radio communication system will allow us to independently detect patterns in the enemy's actions and dynamically form countermeasure strategies.

A mathematical model based on the Markov Decision Process and game theory (zero-sum game) is proposed, where the use of the Proximal Policy Optimization algorithm is utilized to optimize the choice of frequency-time resource, taking into account the parameters of the radio channel.

Such a model can be implemented using a hybrid neural network architecture, which consists of three main components: a neural network for analyzing and identifying the type of interference, a subsystem for memorizing and predicting the impact of enemy electronic warfare equipment, and a subsystem for making decisions regarding changes to the radio channel parameters.

This approach will increase the noise immunity of the aviation radio communication system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine under the influence of enemy EW means through the use of intelligent control methods.

ENHANCING THE ANTI-JAMMING CAPABILITY OF VHF RADIO CHANNELS THROUGH ADAPTIVE SYNCHRONIZATION RECOVERY

A. Lytvyn; Y. Kryvenko; K. Koval

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of the large-scale armed aggression against Ukraine has confirmed the critical importance of stable tactical command and control (C2) systems under conditions of intense electronic countermeasures (ECM). The primary means of ensuring the low probability of intercept and jamming resistance for modern VHF radio stations is the Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) mode. However, operational analysis reveals that the most vulnerable element of such systems is the initial synchronization and link establishment procedure.

Modern electronic warfare (EW) threats have evolved toward "Smart Jamming" tactics. By utilizing Digital Radio Frequency Memory (DRFM) technology, adversaries can promptly detect synchronization preambles and disrupt the "Handshake" process. Furthermore, the widespread use of GNSS spoofing renders precise Time-of-Day (ToD) synchronization impossible. Under these conditions, traditional sequential search methods lead to unacceptable latencies (Late Entry) or complete loss of C2.

To address this challenge, this paper proposes an adaptive "blind" synchronization method based on Compressive Sensing (CS) theory and the Deep Unfolding neural network architecture (specifically, the Learned Iterative Soft-Thresholding Algorithm, or LAMP network). This approach enables instantaneous panoramic spectrum sensing and active channel detection without the need for unmasking preambles. Simulation results indicate that the proposed method can reduce synchronization recovery time by a factor of 10–50 compared to conventional correlation-based techniques. It also significantly enhances stealth (LPI/LPD) and ensures robust radio link operation despite navigation signal denial and reactive jamming.

PROVISION OF AERONAUTICAL RADIO COMMUNICATIONS AT LOW AND EXTREMELY LOW ALTITUDES USING AN UNMANNED AERIAL SYSTEM AS A RELAY PLATFORM

*D. Nepokrytov; M. Terpelyuk; D. Mamchur
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of combat operations during the Russian-Ukrainian war confirms that the intensive employment of fire engagement systems, air defense systems, and enemy electronic warfare capabilities forces aviation to perform tasks at low and extremely low altitudes aviation units to conduct missions at low and extremely low altitudes. However, flights at such altitudes critically limit the line-of-sight range between ground control points and aircraft due to the influence of the Earth's curvature and terrain obstacles. This creates a risk of loss of control and reduces the effectiveness of mission execution.

To ensure stable command and control under conditions of complex terrain and active electronic countermeasures, it is proposed to employ unmanned aerial systems (UAS) as an airborne relay node. A UAS relay platform makes it possible to expand radio coverage and provide voice and digital information exchange at low and extremely low altitudes.

The conducted analysis and preliminary calculations demonstrate that the use of a UAS relay platform enables an increase in the radio horizon and operational communication range with crews operating at altitudes up to 100 meters by 2.5–4 times compared to ground-based radio stations. Channel capacity of up to 350 kbps and a probability of error-free command transmission up to 0.7 are ensured. It also enables to implement active counter-measures against enemy EW systems, ensuring resilient data exchange and voice messaging in challenging conditions, which is a decisive factor in ensuring effective control of aircraft under current circumstances.

PROBLEMS OF TRAINING MILITARY SPECIALISTS FOR TACAN OPERATION

*I. Malankevych; D. Klimov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The effectiveness of radio navigation support in military aviation directly depends on the level of training of personnel responsible for system operation. The TACAN system is used to determine aircraft distance and azimuth relative to a ground station and provides navigation support under complex operational conditions.

The reliability of system application depends not only on technical characteristics but also on the professional competence of military specialists and flight crews. Insufficient practical training may lead to configuration errors and inaccurate interpretation of navigation data.

One of the significant challenges is the limited amount of practical exercises devoted to operating procedures in different modes. Training programs are often focused on theoretical principles without sufficient consolidation of skills in simulated environments.

Another important aspect is coordinated preparation of ground personnel and flight crews. A unified methodological approach to knowledge and skill development improves interaction during mission execution.

Improvement of the training system should combine theoretical instruction with practical exercises on simulators and digital modeling tools. This approach enables the formation of stable professional competencies and ensures reliable system operation.

Therefore addressing the problems of training military specialists for TACAN operation is essential for maintaining reliable navigation support and high operational readiness of aviation units.

SITE SELECTION AND DEPLOYMENT PROCEDURE OF THE TACTICAL AIR NAVIGATION SYSTEM (TACAN)

I. Malankevych; D. Polynko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The effectiveness of TACAN system employment is determined by the correctness of site selection and strict adherence to the established deployment sequence. The main criteria for selecting a location include ensuring unobstructed line-of-sight radio visibility, absence of natural and artificial obstacles, electromagnetic compatibility with other radio-technical systems, and suitable conditions for camouflage, physical security, and logistical accessibility. The selected position must guarantee stable signal transmission within the calculated operational range, minimize multipath interference, and allow rapid dismantling and relocation when operational conditions change.

An additional factor influencing site selection is terrain elevation relative to surrounding relief, since optimal antenna placement significantly improves signal coverage and azimuth accuracy. Climatic and environmental conditions must also be considered, including wind load, precipitation, soil stability, and temperature effects on electronic equipment. Proper grounding and lightning protection are essential to ensure system safety and uninterrupted operation.

The deployment procedure involves sequential execution of several stages: terrain reconnaissance, engineering assessment of the site, topogeodetic positioning, installation and alignment of the antenna system, connection of primary and backup power sources, calibration of frequency channels, and system functional testing. Final acceptance includes signal quality verification, range and bearing accuracy checks, and confirmation of compliance with technical and regulatory standards.

FEATURES OF THE APPLICATION OF PHASED ANTENNA ARRAYS IN PRMG-5 AND PRMG-76U

I. Malankevych; A. Khoroz

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the PRMG-5 and PRMG-76U precision approach radar beacon groups, the course (localizer) radio beacon employs a linear phased antenna array with fixed phase shifts of the elements. The PRMG-5 system uses an array consisting of 8–12 horizontally arranged radiators, while the PRMG-76U system features 14–20 elements, which provides an improved radiation pattern and a lower level of sidelobes. The operating frequency range is 772 to 967 MHz, with horizontal polarization.

Phasing is accomplished through a passive feed network with fixed phase shifts and an amplitude distribution of the signal. As a result, it forms a carrier signal with

sidebands and sidebands-only signals, whose interaction creates a narrow equal-signal course zone 3 degrees wide, ensuring the required accuracy for guiding an aircraft during the approach and landing.

The advantages of such an antenna system include high accuracy and stability of the course plane, the absence of moving parts and increased reliability, as well as sufficient resistance to reflections from the underlying surface. In the PRMG-76U system, suppression of parasitic lobes and parameter stability are additionally improved.

The main disadvantages of the system are the lack of electronic scanning capability due to the passive phasing principle, the significant size of the antenna system, and the potential for interference in the decimeter frequency band.

IMPROVING THE RESILIENCE OF HF RADIO CHANNELS UNDER INTENSE ELECTRONIC COUNTERMEASURES

*A. Lytvyn; V. Rybalchenko; A. Kolesnikova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the full-scale armed aggression against Ukraine has reaffirmed the critical importance of high-frequency (HF) radio communications as the only reliable means of data transmission beyond line-of-sight (BLOS) in environments where the enemy establishes anti-access/area-denial (A2/AD) zones. While the modern fleet of software-defined radio (SDR) equipment offers significant flexibility, the analysis of combat operations has revealed substantial vulnerabilities at the data link protocol level.

Under the conditions of massive electronic warfare (EW) employment, energetic suppression reduces the signal-to-noise ratio to levels that cause a spike in the bit error rate ($BER > 10^{-2}$). The application of traditional Automatic Repeat Request (ARQ) protocols in such environments leads to infinite retransmission cycles. This, in turn, increases the radio's time-on-air. Excessive session duration enables enemy electronic intelligence (ELINT) systems to accumulate the necessary radiation statistics for precise direction finding and subsequent kinetic strikes. Conventional algorithms prove ineffective as they discard corrupted packets, ignoring their inherent information potential.

This report proposes an approach based on enhancing ARQ protocols through the implementation of hybrid methods (Hybrid ARQ). This enables the realization of soft-decision decoding and energy accumulation from corrupted packets (Soft Combining/Incremental Redundancy) without the need for their complete retransmission. The result is a minimized time-on-air, preserved stealth of units, and increased survivability of communication nodes under active electronic warfare.

STRATEGIC TRANSFORMATION OF NATO MILITARY SATCOM IN RESPONSE TO CONTEMPORARY CHALLENGES

*A. Lytvyn; S. Yeroshenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Russo-Ukrainian War has served as a primary catalyst for the transformation of NATO's SATCOM architecture, demonstrating the technical superiority of decentralized, multi-layered frameworks over the deployment of a limited number of high-cost, monolithic platforms. The vulnerability of legacy

systems and the operational efficacy of commercial Low Earth Orbit (LEO) networks have underscored the critical necessity for systemic redundancy to ensure command-and-control (C2) and situational awareness. The NATO SATCOM Services 6th Generation (NSS6G) program (2020 – 2034) consolidates resources from the United States, United Kingdom, France, and Italy to ensure communication survivability within the contested space domain.

The United States utilizes a three-tiered MILSATCOM structure. The protected Advanced Extremely High Frequency (AEHF) segment provides strategic command through adaptive phased arrays for electronic warfare (EW) mitigation and inter-satellite crosslinks, ensuring autonomy from ground gateways. The Wideband Global SATCOM (WGS) and narrowband Mobile User Objective System (MUOS) are augmented by the DARPA Blackjack program – a proliferated LEO constellation featuring the “Pit Boss” autonomous mission processor for on-orbit data processing. The United Kingdom integrates its Skynet system into this framework; the upcoming Skynet 6A satellite will feature digital signal processing and expanded Mil-Ka bands for flexible, dynamic spectrum allocation.

The central conclusion of this modernization effort is the strategic transition toward hybrid multi-orbital models (LEO+MEO+GEO). The deployment of proliferated LEO constellations creates technological redundancy that is virtually impossible to neutralize through localized kinetic strikes or electronic countermeasures. This architecture ensures NATO’s information superiority and the continuity of C4ISR operations, even within the context of high-intensity global conflict.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS ON IMPROVING OPERATIONAL EFFICIENCY OF SATELLITE COMMUNICATION TERMINALS BASED ON MILITARY COMBAT EXPERIENCE

*Yu. Matiukh; D. Masliy; M. Herasimova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The satellite communication system of the Armed Forces of Ukraine is a critically important component of the integrated digital communication system that ensures command and control of troops at all levels. It is considered as an interconnected network characterized by a set of key factors: jamming resistance, survivability, and reliability.

The jamming resistance indicator of the network under conditions of electronic warfare is formed based on the analysis of the probability of interference being imposed on the satellite communication network for various types of jamming. The most significant threats to satellite communication networks are two main methods: GNSS jamming and GNSS spoofing. At the same time, spoofing attacks, especially those of high complexity, are practically undetectable by traditional detection systems, which makes them particularly dangerous for systems that rely on precise synchronization.

The study examines the impact of electronic warfare assets and other destabilizing factors on the effectiveness of satellite communication networks of different manufacturers. The calculation results showed that the satellite communication network of SpaceX demonstrates the highest capability in ensuring jamming resistance against electronic warfare systems.

Based on the calculations, proposals were developed to improve the operational efficiency of satellite communication terminals used by the Defense Forces of Ukraine to defend against armed aggression of the Russian Federation.

ANALYSIS OF SPECTRAL MONITORING METHODS AND FREQUENCY RESOURCE MANAGEMENT FEATURES IN UAV COMBAT APPLICATION SYSTEMS

S. Kaduk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern wireless technology environments, efficient use of the radio-frequency spectrum is critically important for maintaining reliable C2 connectivity of UAVs. The foundation of such systems lies in the synergy between civilian technological standards and strict military regulations.

Analysis of IEEE 802.22 and IEEE 1900 standards defines the architectural basis of cognitive radio with mechanisms for spectrum sensing and detection of “white spaces.” For combat systems, they must be combined with MIL-STD-461G and STANAG 3516, ensuring flexible frequency selection and resilience to strong electromagnetic fields and enemy electronic warfare (EW).

Since UAVs are limited in power consumption and computational capacity, optimization of monitoring methods is essential. The choice of signal detection method depends on the balance between speed, accuracy, and prior knowledge about the signal. Energy detection is the simplest and fastest, as it measures only power, but it is vulnerable to interference. Matched filtering provides maximum accuracy by comparing with an ideal template, but requires significant resources and detailed signal structure data. Cyclostationary detection and correlation methods occupy a middle ground, effectively separating communication signals from noise, though they demand complex mathematical processing.

Due to the limitations of traditional methods in combat conditions, hybrid adaptive algorithms are required to enhance UAV survivability. These systems should combine the speed of energy scanning with the reliability of cyclostationary analysis to operate effectively in complex electromagnetic environments.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR ENHANCING THE JAMMING RESISTANCE OF TROPOSCATTER COMMUNICATION SYSTEMS

Yu. Matiukh; I. Savranska; M. Herasimova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At present, the integration of communications nodes of command posts of the Defense Forces of Ukraine operating in combat areas into the Armed Forces of Ukraine infocommunication network is predominantly carried out through the use of satellite communication assets. In order to enhance the survivability of the communications system, the employment of troposcatter communications as an alternative (backup) data transmission system is considered appropriate.

Following the onset of the full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, Comtech Systems (USA) transferred COMET troposcatter systems to the Defense Forces of Ukraine.

When planning the employment of troposcatter communication links, primary consideration must be given to their distance from the line of contact. In the event of

deployment within active combat zones, the probability of detection and electronic suppression by enemy electronic warfare assets must be assessed.

The results of conducted calculations indicate that the COMET troposcatter system is an effective means of communication and may be employed in combat areas. Taking into account the physical characteristics of tropospheric propagation, the detection and jamming range of the COMET system by enemy EW assets – under conditions of direct antenna alignment toward the EW source – amounts to approximately 18 km in line-of-sight conditions and up to 100 km due to tropospheric scattering effects. When the antenna axis deviates from the direction of the EW system, the detection and effective jamming range is significantly reduced. Further calculations are planned with consideration of enemy airborne EW platforms.

PRINCIPLE OF OPERATION OF VOR AND DVOR AZIMUTAL RADIO BEACONS

O. Petrenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The VOR system is a basic element of modern ground navigation and operates in the meter wave range, providing stable communication within line of sight. The main task of this beacon is to provide the aircraft crew with an accurate magnetic azimuth relative to the station's location. The system works by measuring the phase difference between two low-frequency signals. The first signal is the reference signal and is emitted by the antenna uniformly in all directions, while the second signal is variable and its phase directly depends on the angle of the aircraft relative to the beacon. This phase change is achieved by continuously rotating the antenna's directional pattern at a speed of thirty revolutions per second.

The main problem with the classic VOR beacon is its sensitivity to environmental objects, such as mountains or airfield structures, which reflect radio waves and create errors in determining the azimuth. To overcome this drawback, an improved modification was developed – the DVOR Doppler beacon. Instead of mechanical antenna rotation, it uses a large ring of several dozen stationary emitters, between which the signal is quickly switched by electronics. This creates a Doppler effect, thanks to which azimuth information is transferred to frequency modulation, which is much more resistant to interference and reflections from obstacles.

Today, VOR and DVOR beacons remain the most important backup navigation aid in the world, ensuring flight safety even when GPS satellite signals are unavailable.

IMPROVEMENT OF THE STRUCTURE OF CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR THE TECHNICAL CONDITION OF AIRFIELD GROUND LIGHTING EQUIPMENT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE UNDER CONDITIONS OF THE WAR

M. Tulenko; V. Zilnyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improving the structure of control and diagnostics systems for airfield ground lighting equipment of the Armed Forces of Ukraine during the Russo-Ukrainian war should prioritize survivability, autonomy, and rapid post-damage recovery. A multi-

level controupport, target coordinate determination and control of combat assets. Active electronic counteraction significantly complicates their functioning and requires improvement of these systems and increase of their interference resistance.

Embedded self-diagnostics provides continuous monitoring of luminaires, cable lines, and power sources, automatically detects component degradation, generates early warnings, and supports failure prediction algorithms. Secure wireless monitoring is recommy resources of mobile complexes. These factors lead to decrease in range measurement accuracy, reduction of detection range and instability of equipment operation.

Additional measures include standardized interfaces, hot-swappable modules, power redundancy, mobile test kits, and unified field recovery procedures. These methods improve operational reliability, reduce maintenance costs, and ensure continuity of airfieeband and complex signals with increased resistance to suppression is also prospective as they are more difficult to neutralize by electronic warfare means.

Modularity, automated diagnostics, redundancy, and secure remote monitoring constitute an effective framework for enhancing survivability and operational safety of airfield lighting systems of the Armed Forces of Ukraine under wartime conditions.

THE USE OF BROADBAND AND NOISE-LIKE SIGNALS TO INCREASE THE STEALTH OF RADIO EQUIPMENT FOR STATE AVIATION FLIGHTS

*M. Tulenko; V. Fedorchak; A. Shcherban
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The conditions of modern radio-electronic warfare put forward increased requirements for the secrecy of the functioning of the means of radio technical support of state aviation flights, since their radio radiation can be detected, analyzed and used by means of radio technical intelligence to determine the parameters of signals and the location of radiation sources.

An effective direction of increasing the stealth of such means is the use of broadband and noise-like signals, which occupy a frequency band that significantly exceeds the band of the transmitted message, and are implemented through the expansion of the signal spectrum.

Expansion of the spectrum leads to a decrease in the spectral density of radiation power, which makes it difficult to detect signals of navigation, landing and inspection radio engineering systems in the radio airwaves.

In addition to increasing stealth, the use of broadband signals ensures an increase in the immunity of radio equipment for flights, which is especially important in conditions of active interference and countermeasures. This is achieved due to a large signal base and energy distribution over a wide frequency band, which reduces the impact of interference and increases the reliability of reception.

Thus, the use of broadband and noise-like signals in the means of radio technical support of state aviation flights allows to simultaneously increase the secrecy of their work, reduce the probability of detection and ensure stable functioning in the conditions of radio-electronic countermeasures, which corresponds to the main tasks of radio-electronic information protection and radio-electronic warfare.

INCREASING THE RESOLUTION OF RADAR SYSTEMS BY USING MODERN SIGNAL PROCESSING METHODS

A. Scherban; V. Fedorchak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Resolution is one of the main characteristics of radar systems, which determines their ability to distinguish between two or more aircraft. Increasing the resolution allows to increase the accuracy of determining the coordinates of air objects, reduce the impact of interference and improve the efficiency of the functioning of radar systems.

One effective way to increase resolution is to use complex signals with intra-pulse modulation, in particular linear-frequency modulated (LFM) signals. The use of such signals allows to simultaneously ensure high energy efficiency and short duration of the compressed pulse after processing, which leads to an increase in resolution (resolution).

An important role in increasing resolution is played by the use of digital signal processing, in particular methods of coordinated filtering, correlation processing and digital pulse compression. These methods make it possible to increase the signal-to-noise ratio and improve the accuracy of determining the parameters of reflected signals.

Thus, the use of complex signals, modern methods of digital processing and adaptive algorithms allows to significantly increase, which contributes to increasing the efficiency of detection and identification of aircraft.

FUNCTIONAL CAPABILITIES TACAN

M. Kyslenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The implementation of the TACAN AN/TRN-48 ground-based radio navigation system at Ukrainian state aviation airfields is a strategically important step toward integration into the unified aviation space of NATO member states. Since the existing domestic RSBN system is not compatible with the tactical TACAN radio navigation system, there is an objective need to modernize radio-technical flight support in order to ensure full interoperability with aircraft of NATO members and partner nations.

The TACAN system provides high-precision determination of aircraft azimuth and slant range through the use of a phase-pulse measurement method and a dual-channel (coarse and fine) azimuth determination technique. Operating within the standardized DME frequency band (962–1213 MHz) in accordance with ICAO requirements, TACAN ensures partial compatibility with civil aviation systems. In addition, the use of combined VORTAC stations enables the provision of navigation information to both military and civilian aircraft operating within the same airspace.

Therefore, the systematic introduction of TACAN will enhance navigation accuracy, expand the operational capabilities of state aviation, ensure interoperability with NATO forces, and contribute to the creation of a modern, integrated radio navigation environment across Ukraine.

DIRECTIONS FOR MODERNIZATION OF THE TRANSMITTER UNIT OF A PRECISION APPROACH RADAR IN ACCORDANCE WITH ICAO REQUIREMENTS

*O. Kramar; O. Tiutiunnyk; O. Zhylenkov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ensuring flight safety under conditions of intensive air traffic and a modern electronic warfare environment requires enhanced performance characteristics of landing radar systems. A critical subsystem of the Precision Approach Radar (PAR) is the transmitter unit, whose signal parameters directly determine aircraft detection range, coordinate measurement accuracy, angular resolution, operational stability, and compliance with international standards.

Technical analysis of existing PAR transmitter units indicates that they are based on pulsed signal generation architectures employing magnetron oscillators. However, the recommendations of the International Civil Aviation Organization (ICAO) stipulate high carrier frequency stability, electromagnetic compatibility, continuous operation capability, and the availability of automated monitoring and control systems for radiation parameters.

Insufficient frequency stability, the presence of spurious emissions, and limited transmitter health monitoring capabilities may result in degradation of radar tactical performance and increased mutual electromagnetic interference.

Promising modernization measures include the implementation of solid-state power amplifiers, the use of digital waveform generation techniques, enhancement of frequency stability through advanced synchronization and phase-locking systems, and improved filtering to suppress out-of-band emissions. A key component of modernization is the deployment of automated transmitter condition monitoring in accordance with ICAO requirements for system reliability and uninterrupted operational readiness.

Therefore, modernization of the Precision Approach Radar transmitter unit in compliance with ICAO requirements will improve operational stability, increase accuracy of aircraft position determination, ensure electromagnetic compatibility, and contribute to strengthening flight safety of state aviation forces.

TECHNICAL ANALYSIS OF THE TACAN SYSTEM FOR MILITARY AVIATION NAVIGATION

*O. Ratysh; M. Lugovoi; O. Tiutiunnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The TACAN system (Tactical Air Navigation System) is a ground-based navigation system widely used in military aviation to provide precise three-dimensional positioning information to aircraft. Unlike civilian VOR/DME, TACAN operates in the UHF frequency band from 960 to 1215 MHz, which reduces atmospheric diffraction and increases reliability. The system transmits azimuth, distance, and station identification data from a single ground facility. Azimuth is determined using dual-frequency modulation (15 and 135 Hz) combined with phase comparison of amplitude- and frequency-modulated signals, while slant-range distance is calculated from the time delay of reply signals sent by the ground station in response to interrogation signals generated onboard the aircraft.

Initially, TACAN employed a rotating antenna producing a cardioid radiation pattern at 30 revolutions per second, but with the advent of reliable solid-state electronics, these were replaced by 60 fixed narrow-beam antennas with amplitude modulation and phased signal delays at 60 Hz (or 15 and 135 Hz for TACAN, three signals for VORTAC). Each station continuously transmits an omnidirectional signal modulated with Morse code identification at 7 words per minute and a 9960 Hz subcarrier with 480 Hz deviation. The system can simultaneously serve approximately 100 aircraft.

Theoretical accuracy of TACAN is nine times greater than VOR/DME, though practical improvement is approximately threefold, yielding azimuth precision of $1/3^\circ$ and range accuracy of ± 0.5 nm or 3 % of slant distance. Operational range can reach up to 390 nautical miles at altitudes up to 30 km, with a guaranteed 200 nm coverage. Overall, TACAN remains a key element of military navigation, ensuring accurate positioning and operational effectiveness in tactical environments, particularly for Air Force operations.

ADVANTAGES OF DIGITAL DATA TRANSMISSION METHODS IN CONTROL SYSTEMS FOR GROUND-BASED RADIO TECHNICAL SUPPORT EQUIPMENT

V. Tulenko; B. Konstantinov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern development of radio technical support (RTS) for state aviation flights requires a transition from analog systems to digital control complexes. This is обусловлено the need to increase reliability and accuracy in monitoring ground-based radio technical support equipment, such as radio beacons and precision landing systems including PRMG, ILS, and TTLS.

The main advantages of digital methods are reliability, high performance, and strong immunity to interference. The use of error correction algorithms makes it possible to recover data even in the presence of significant distortions in the radio channel. Unlike analog signals, digital modulation methods ensure efficient use of the frequency spectrum and enable the transmission of large volumes of telemetry within a narrow bandwidth.

An important aspect is addressability and security. Each digital command contains a unique device identifier, which eliminates unintended activation and allows the implementation of data encryption. In addition, digital channels provide real-time feedback, enabling remote monitoring of the technical condition of system units (voltage, temperature, power, etc.).

RESEARCH OF METHODS FOR INCREASING THE ANGULAR RESOLUTION OF CONTROL RADAR OF LANDING RADAR SYSTEMS

O. Kramar; N. Liubinet

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of using aviation in conditions of modern combat operations and active electronic countermeasures from the enemy side puts forward increased requirements for the timely formation of accurate information about the air situation and its issuance to control points and aircraft crews. One of the tactical characteristics of control radars of radar landing systems is the angular resolution,

which determines the ability to distinguish aircraft by azimuth and the accuracy of their tracking in the airfield area.

Analysis of the technical design of existing control radars shows that the angular resolution is limited by the geometric dimensions of the antenna system and the principle of mechanical space scanning. The use of mirror antennas and traditional methods of forming a radiation pattern does not allow to significantly reduce its width in the horizontal plane without increasing the dimensions of the antenna mirror.

Promising directions for increasing angular resolution are the use of phased antenna arrays with electronic scanning, the use of adaptive beamforming and the introduction of modern digital signal processing methods. The use of phased antenna arrays allows you to form a narrow controllable beam pattern without the use of mechanical drives, to quickly adjust the radiation direction and provides a high antenna gain and a low level of side lobes.

The integrated use of these methods will ensure an increase in angular resolution in the area of operation of control radars. This will contribute to increasing the safety of state aviation flights and the successful completion of combat missions.

IMPROVEMENT OF THE SHORT-RANGE AZIMUTH CHANNEL NAVIGATION RADIO SYSTEM RESPECTIVELY WITH INTERNATIONAL STANDARDS

V. Fedorchak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the conditions of the complication of the military-political situation and the intensive use of aviation, the modernization of radio navigation equipment, in particular short-range systems of the RSBN-4N type, is being updated. The priority direction of improvement is to increase the accuracy of the azimuth channel, which determines the quality of the orientation of aircraft during landing and execution of combat missions.

The work provides a comparative analysis of the principles of building azimuth channels of domestic and foreign systems, in particular TACAN, VOR, DVOR, E-329 and RSBN-4N. The accuracy of TACAN is found to be about five times that of VOR, while DVOR provides an accuracy increase of 10–15 times. The highest indicators are demonstrated by the E-329 and RSBN-4N systems, but the latter does not fully meet the requirements of ICAO, is characterized by an outdated element base and limited compatibility with foreign on-board equipment.

The study of the RSBN area revealed the presence of an inverted conical “dead zone”, the parameters of which are not consistent with international standards. To minimize this drawback, it is proposed to introduce a directional mode of operation, which ensures the improvement of the spatial characteristics of the system. Increasing the accuracy of azimuth determination is achieved by optimizing the scale factor and adjusting the technical parameters of the channel.

The modernized structure provides for the coordinated operation of ground and on-board equipment with the implementation of the phase method of azimuth measurement. The introduction of an updated short-range navigation system will contribute to increasing the accuracy, reliability and safety of flight navigation support and ensure its compliance with international requirements.

IMPROVEMENT OF DISTANCE MEASURING RADIO SYSTEMS IN ELECTRONIC WARFARE CONDITIONS

*O. Ratych; A. Prokopiuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat operations are characterized by the widespread use of electronic warfare, precision guided weapons and unmanned systems. Under these conditions distance measuring radio technical systems play an important role in reconnaissance, navigation support, target coordinate determination and control of combat assets. Active electronic counteraction significantly complicates their functioning and requires improvement of these systems and increase of their interference resistance.

The experience of modern warfare demonstrates that the main challenges in the application of distance measuring radio systems include active and passive interference, complex electromagnetic environment, high mobility of observed objects and limited energy resources of mobile complexes. These factors lead to decrease in range measurement accuracy, reduction of detection range and instability of equipment operation.

One of the key directions of development is implementation of modern digital signal processing methods. Adaptive filtering and signal analysis algorithms allow more effective extraction of useful information in the presence of interference. The use of wideband and complex signals with increased resistance to suppression is also prospective as they are more difficult to neutralize by electronic warfare means.

One of the important directions is combining data from different sensors and observation systems, because this allows for more accurate coordinate determination and makes the system more reliable even in challenging conditions. Using artificial intelligence helps automatically analyze signals, predict interference, and adjust operating models in real time. Therefore, improving distance-measuring radio-technical systems, especially under electronic countermeasure conditions, is very relevant today.

FUNCTIONAL CAPABILITIES OF THE DME RANGEFINDER RADIO BEACON AS PART OF THE VOR/DME SYSTEM

*A. Scherban; V. Fedorchak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The DME (Distance Measuring Equipment) rangefinder radio beacon is a component of the VOR/DME radio navigation system and is designed to determine the distance between the aircraft and the ground navigation station. The principle of operation of the system is based on measuring the time of passage of the pulse radio signal from the on-board interrogator to the ground transponder and back, followed by the conversion of this time into the value of the inclined range.

The DME system provides a continuous determination of the distance between the aircraft and the ground station, which allows determining the current location of the aircraft on the flight route. In addition, the system allows you to determine the travel speed of the aircraft relative to the ground station and calculate the flight time to the navigation point.

The use of DME as part of the VOR/DME system ensures the simultaneous acquisition of information about the direction and distance to the navigation station, which significantly increases the accuracy of aircraft guidance and the efficiency of

flight navigation support. The system is used for navigation on air routes, in the area of the airfield, as well as during the approach and landing of the aircraft.

The DME system provides automatic adjustment to the appropriate channel when selecting the VOR frequency, which simplifies its use by the crew. The ground transponder transmits an identification signal, which allows the crew to control the correct selection of the navigation station.

Thus, the DME system is an important element of radio navigation support for flights, which ensures the determination of range, route speed and flight time, which increases the accuracy of navigation, safety and efficiency of aircraft operation.

ANALYSIS OF EXISTING AUTOMATIC RADIO DIRECTION FINDERS IN UKRAINE AND PARTNER COUNTRIES

M. Tulenko; V. Kryuchkov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In connection with the transition of the Armed Forces of Ukraine to NATO standards, there is a need to modernize automatic radio direction finders (ARPs), which ensure the determination of the azimuth of air objects by their radio radiation in the VHF/UHF bands. Modern requirements provide for the integration of such means into automated air traffic control systems in accordance with the standards of the International Civil Aviation Organization and NATO requirements for equipment compatibility.

Existing domestic automatic radio direction finders used as part of RSP-10MA type complexes are built mainly on an analog or partially digital element base. Their advantages are reliability, relative ease of operation and sufficient immunity. The main disadvantages of – are limited automation, lower accuracy compared to modern models and weak integration into automated control systems. Modern foreign systems manufactured by Rohde & Schwarz, Thales Group and Indra Sistemas are based on fully digital signal processing (DSP) and provide accuracy up to 1–2°. They support automatic target tracking, network interaction and integration with air traffic control systems. Disadvantages are high cost and increased requirements for information security.

Thus, domestic ARPs ensure the fulfillment of basic flight support tasks, but need modernization. The gradual re-equipment of airfields with modern digital radio direction finders using existing means as backup is promising.

THE USE OF THE LATEST SIGNALS TO INCREASE THE INTERFERENCE PROTECTION OF RADAR LANDING SYSTEMS OF AIRCRAFT

M. Tulenko; V. Fedorchak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In a difficult signal-interference situation in the area of the airfield, due to the action of radio-electronic warfare, passive interference and enemy radio reconnaissance means, the effectiveness of the radar landing system is significantly reduced. This is due to insufficient stealth of the signals used, which increases the probability of their detection and suppression.

One of the promising directions for increasing stealth is the use of pseudo-random signals with a complex internal structure. However, the use of broadband

signals with pseudo-random phase manipulation is not always effective from the point of view of masking, since their structured attractors reduce noise similarity and facilitate detection by means of radio reconnaissance. In this regard, chaotic signals characterized by a complex nonlinear structure and a higher level of stealth are considered more promising.

The moving target selection system is a key element in the primary processing of radar information. Its operation is based on the use of Doppler frequency shift, which occurs as a result of the movement of the target relative to the radar station. The main purpose of the system is to suppress artificial and natural passive disturbances (reflections from the earth and water surface, local objects, dipole and angular reflectors, false targets) and to extract signals from moving objects against the background of reflections from stationary objects, which increases the reliability of detection in conditions of intense disturbances.

HYBRID MILITARY RADIO ENGINEERING SYSTEMS WITH DIGITAL AND ACOUSTO-OPTIC FREQUENCY-SELECTIVE PROCESSING

R.S. Guliyev¹; A.G. Huseynov¹; N.B. Mirzazade²; I.I. Suleymanov¹

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan

In modern military radio engineering systems for communications and radar, frequency-selective signal processing is a key tool for improving interference immunity and measurement accuracy. Digital filters are used to shape the required passband, suppress unwanted spectral components, and ensure phase alignment in multichannel and multicarrier systems [1]. In radar applications, range resolution is directly related to the signal bandwidth after processing: increasing the bandwidth enhances the ability to distinguish closely spaced targets [2].

Acousto-optic devices can be considered elements of radiophotonic processing that implement frequency-to-spatial transformation. A change in the control frequency of the acoustic wave results in a variation of the light beam deflection angle, enabling electronic beam steering without mechanical drives. The physical basis of such devices is the photoelastic effect, in which an acoustic wave creates a spatio-temporal modulation of the refractive index within the crystal.

Theoretical modeling of the response of acousto-optic demodulators under pulsed excitation and analysis of their temporal characteristics are presented in [4]. The proposed approximation approach makes it possible to evaluate output signal parameters while accounting for the finite interaction length and the dynamics of the acoustic process. This is particularly important for military systems operating under strong interference and limited dynamic range conditions, where signal distortion and nonlinear effects must be carefully controlled.

Acousto-optic deflectors expand the capabilities of frequency-spatial selection. By controlling the excitation frequency, spectral information is converted into spatial beam displacement, providing high-speed electronic scanning [3].

The proposed hybrid architecture consists of three functional blocks: digital spectral shaping, acousto-optic electronic scanning, and subsequent digital signal processing. At the first stage, digital filters perform signal selection and interference suppression. Next, the acousto-optic deflector provides spatial transformation of the signal. The final stage includes parameter estimation, adaptive correction, and decision-making algorithms.

This approach combines the advantages of digital filtering – flexibility, adaptability, and precise phase control – with the benefits of acousto-optic devices, which offer high scanning speed and physical-level signal selection. In communication systems, digital filtering ensures compliance with spectral requirements and minimizes interference [1], while in radar systems, increased operating bandwidth improves resolution and interference resistance [2].

Thus, the integration of digital frequency-selective processing and acousto-optic electronic scanning forms a promising direction in the development of advanced military radio engineering systems. The hybrid architecture provides enhanced spectral and spatial selectivity while maintaining high operational speed, robustness, and long-term reliability under demanding battlefield conditions. Its implementation supports scalable modernization of existing platforms and facilitates integration with emerging electronic warfare and countermeasure technologies.

Furthermore, the hybrid concept enables flexible system scalability and compatibility with modern electronic warfare architectures. By combining adaptive digital algorithms with fast acousto-optic beam control, it becomes possible to dynamically reconfigure operational modes in response to changing threat conditions. This adaptability enhances survivability, spectrum efficiency, and mission reliability in complex electromagnetic environments.

References

1. Kumar M. (2024). Design and implementation of digital low pass FIR and IIR filters using VHDL for ECG denoising. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 72(1), 252–265.
2. Cho H., et al. (2023). FMCW radar sensors with improved range precision based on bandwidth optimization. *Sensors*.
3. Abdullaeva A.J. et al. Mathematical approximation and physical-technical aspects of the operation of an atmospheric acousto-optic locator with an electronic scanner in military specialized systems. In *Modeling, Control and Information Technologies*. 2025. (pp. 81–82).
4. Гасанов А.Р. et al. Апроксимаційний метод розрахунку параметрів вихідного відгуку акустооптичного демодулятора на імпульсний вхідний вплив. *Вісті вищих учбових закладів. Радіоелектроніка*, 2023. 66(8), 490–496.
5. İbrahimov B.G. et al. Research throughput multiservice telecommunication networks In “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. 2020. Т.1. p. 30.
6. Rustamov A. et al. System technical solution of electromagnetic adaptation. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(1), 86–90.
7. Rustamov, A. et al. Analysis of antenna system modeling with the help of simulation technology of navigation equipments. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(2), 36–43.
8. İbrahimov B. G. Research quality of functioning of the efficiency optical telecommunication systems using spectral technologies. In *Проблеми інформатизації*. Т.1. 2023. – с. 29-30.
9. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages. In *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference*. 2023. 6. – с. 42-45.

ACOUSTO-OPTIC DEMODULATORS AND SCANNING SYSTEMS BASED ON THE PHOTOELASTIC EFFECT IN MILITARY RADAR AND COMMUNICATION SYSTEMS

*H.T. Kishiev; A.G. Huseynov; İ.İ. Suleymanov; R.S. Guliyev
National Defense University, Baku, Azerbaijan*

Acousto-optic signal processing in military radar and communication systems is considered as a physical (pre-digitization) level of signal selection and transformation implemented through the photoelastic effect. In a photoelastic medium, an elastic wave generates a spatio-temporal modulation of the refractive index, thereby forming a controllable diffraction structure. This approach makes it possible to describe demodulation and selection as a result of acousto-optic interaction, where the control parameters include the frequency and amplitude of acoustic excitation, the geometry of the interaction aperture, and the diffraction regime. The choice between the Bragg and Raman–Nath diffraction regimes is of particular importance, as it determines the conversion efficiency, spectral selectivity, and energy characteristics of the output signal.

For pulsed modes typical of radar systems, a key issue is the correct determination of the dynamic response of the acousto-optic channel to finite-duration input signals. In this context, an approximation-based method for calculating the output parameters of an acousto-optic demodulator under pulsed input excitation is applied, taking into account the spatio-temporal characteristics of interaction and the inertia of the photodetector stage as factors shaping the output pulse [1]. Such formalization is essential for engineering synthesis of signal paths where predefined constraints on temporal and spectral parameters must be ensured under interference and overload conditions. Additionally, the influence of crystal length, acoustic wave velocity, and aperture effects is considered, allowing the evaluation of temporal resolution and the ultimate bandwidth of the acousto-optic channel.

Another direction involves the metrological use of the specific features of the photoelastic effect within optoelectronic modules. The photoelastic medium and Bragg diffraction regime enable the correlation of measured optical/electrical output quantities with parameters of laser radiation and photodetectors, including the assessment of photodetector response time (inertia) and spatial distribution characteristics of the laser beam. In military systems, this provides the capability for hardware-level monitoring of optical subsystems (emitters and receivers) without increasing the complexity of the digital processing stage. Moreover, such an approach allows the implementation of self-calibration and real-time stability monitoring of radiation parameters.

The function of spatial control of emission and/or reception is implemented through electronic scanning based on frequency tuning of the acoustic wave. A change in the excitation frequency results in a variation of the diffraction angle and, consequently, a reorientation of the optical beam without mechanical drives. This principle is applied in an atmospheric acousto-optic locator with an electronic scanner, where electronic beam steering is used under noise and atmospheric disturbance conditions [3]. For military applications, this meets the requirements of enhanced reliability and high beam-steering speed in detection and tracking systems.

From an applied perspective, the described physical processing may be considered as part of a hybrid architecture: “acousto-optic selection/demodulation → photodetection conversion → digital processing,” in which the acousto-optic unit

performs preliminary transformation and relieves subsequent stages in terms of dynamic range and interference impact. Such an architecture reduces the performance and resolution requirements of analog-to-digital converters. A closely related research direction is the development of a pulsed-signal demodulator based on the photoelastic effect [3–6], which can be incorporated into the research framework of acousto-optic demodulation of pulsed signals. Collectively, these approaches form a technological basis for the development of interference-resistant optoelectronic signal-processing paths for military applications.

The efficiency of acousto-optic interaction is determined by the acousto-optic figure of merit of the material, the attenuation level of the acoustic wave, and the stability of the crystal's temperature regime. Thermal fluctuations may affect the phase characteristics of the diffracted radiation, which must be taken into account in the design of high-precision military systems. Optimization of the material properties and transducer configuration makes it possible to improve the energy efficiency and interference immunity of the signal path.

References

1. A. R. Hasanov et al. "Approximation method for calculation of output response parameters of acousto-optic demodulator on pulsed input influence," *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 66, no. 8, 2023, doi: 10.3103/S0735272723070051.
2. Huseynov, A. Evaluation of the effectiveness of radio jamming against radio navigation systems on combat vessels. In VII International Scientific Conference "Innovative Trends of Today in the Field of Natural, Humanitarian and Exact Sciences". 2025.
3. Ibrahimov B.G. et al. Research throughput multiservice telecommunication networks. In "Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління". 2020. Т.1. p. 30.
4. Rustamov A. et al. System technical solution of electromagnetic adaptation. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(1), 86–90.
5. Rustamov, A. et al. Analysis of antenna system modeling with the help of simulation technology of navigation equipments. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(2), 36–43.
6. Ibrahimov B. G. Research quality of functioning of the efficiency optical telecommunication systems using spectral technologies. In *Проблеми інформатизації*. Т.1. 2023. – с. 29-30.

METHOD FOR MULTI-CRITERIA OPTIMISATION OF THE DISTRIBUTION OF COMPLEX-STRUCTURED DATA FLOWS IN SELF-ORGANISING TELECOMMUNICATION NETWORKS

O. Lozko¹; V. Lysechko¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; V. Pastushenko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Forces;

²Ukrainian State University of Railway Transport

Self-organising telecommunication networks operate under variable topology and uneven node resources, so the system must reduce delay, decrease load imbalance, and remain resilient to failures and frequent reconfigurations. This work aims to develop a multi-criteria method for distributing complex-structured data flows (CSD-flow) that accounts for heterogeneous QoS requirements and

multidimensional node constraints (CPU, RAM, bandwidth, energy), which are poorly captured by classical aggregated-flow approaches.

The method decomposes each flow into prioritised sub-flows, enforces inter-component dependencies via a dependency matrix, and models node limitations as a multidimensional knapsack problem (MKP). Optimisation combines a global evolutionary search for compromise distribution plans with local reassignment refinement, and triggers adaptive re-optimisation when the network state changes.

Simulation-based evaluation uses time-oriented QoS indicators together with balancing and stability metrics, including overload events, cluster fragmentation, convergence after topology changes, and control overhead during recovery. The results indicate improved performance for critical traffic, more uniform resource usage, and faster restoration after disruptions, at the cost of higher computational effort and more frequent reconfiguration.

In practical terms, the proposed approach supports near-real-time decision-making by continuously maintaining a feasible distribution plan as resources and connectivity fluctuate. This makes it applicable to Fog, Edge, and Cloud environments where service continuity for priority components is required under dynamic conditions.

ENTROPY-BASED EVALUATION METHOD OF SIGNAL ENSEMBLES USING PERMUTATIONS

I. Tulenko¹; S. Indyk¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Lysechko², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Ukrainian State University of Railway Transport;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern wireless telecommunication systems operating under complex interference conditions require advanced methods for the formation and evaluation of complex signal ensembles. Entropy-based criteria provide an effective framework for assessing structural organization and informational complexity of signals generated through permutation-based transformations.

This paper proposes an entropy-based evaluation method for signal ensembles constructed using LPT- τ permutations (Local Permutation Transform with time delay τ) combined with a first-order Markov model describing state transitions. The method analyzes the statistical structure of signals by forming embedding vectors of dimension m with delay τ and determining corresponding ordinal permutation patterns that constitute the state alphabet. Transition probabilities between permutation states are estimated statistically and represented as a Markov transition matrix.

The ensemble characteristics are evaluated using Shannon entropy of permutation distributions, Markov chain entropy, and relative entropy (Kullback-Leibler divergence). These measures enable quantitative assessment of structural complexity, dynamic ordering, and differences between signal ensembles.

Simulation results show that ensembles formed with optimally selected τ demonstrate increased robustness to interference and improved separability of states in the Markov representation. The proposed method enhances sensitivity of analytical procedures and contributes to improved interference immunity in wireless intelligent telecommunication systems.

METHOD OF MULTISCALE TIME-INTERVAL DECOMPOSITION FOR FORMING COMPLEX SIGNAL ENSEMBLES AT DIFFERENT LEVELS OF TIME RESOLUTION

G. Cherneva¹, DSc, Prof.;

V. Lysechko², Doctor of Technical Sciences, Professor

*¹Department Electrical Engineering, Todor Kableshkov University of Transport,
Sofia, Bulgaria;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Cognitive wireless telecommunication systems operate under limited spectral resources and complex interference conditions, which requires effective methods for forming ensembles of complex signals. Increasing the size of such ensembles makes it possible to improve the accuracy of spectral analysis, interference robustness, and reliability of information transmission.

This paper proposes a method for forming ensembles of complex signals based on multiscale time-interval decomposition, which enables the construction of signal ensembles at different levels of time resolution. The method is based on decomposing the signal into components with different durations, allowing the analysis of both long-term and short-term signal components and the formation of signal ensembles with various temporal characteristics.

The use of multiscale decomposition makes it possible to account for variations in signal parameters across different time scales, thereby improving the efficiency of forming and processing complex signal ensembles. This approach enhances signal reconstruction performance and increases the accuracy of signal analysis under interference conditions.

The effectiveness of the proposed method is confirmed by evaluating key performance indicators such as mean square error, signal-to-noise ratio, energy efficiency, and correlation characteristics. Simulation results demonstrated improvements in key performance indicators, confirming the feasibility of applying the proposed approach to the formation and processing of complex signal ensembles in telecommunication systems.

TIME-DOMAIN SEGMENTATION AS A TOOL FOR ANALYSIS AND FORMATION OF COMPLEX SIGNAL ENSEMBLES

L. Holeyчук¹;

K. Trubchaninova¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Mohylnyi²

¹Ukrainian State University of Railway Transport;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern complex signal processing, time-domain segmentation is not only a tool for localizing nonstationarity and constructing time-frequency representations but also a key mechanism for forming signal ensembles with predefined structural

and correlation properties. The segmentation scale significantly influences ensemble consistency, interference robustness, and overall processing efficiency.

This study analyzes contemporary segmentation approaches with regard to their suitability for ensemble formation. Fixed-scale methods (e.g., STFT), adaptive windowing, wavelet and multiscale techniques, entropy- and fractal-based methods, and change-point detection algorithms are considered. It is shown that segmentation is typically treated as an auxiliary processing stage, while the segmentation scale is rarely defined as a controlled parameter of ensemble formation.

Fixed-length segmentation ensures structural stability but is limited in detecting short-term degradations. Adaptive and multiscale approaches improve sensitivity to structural variations but may lead to unstable segment lengths and over-segmentation, complicating ensemble control. Experimental evaluation under stationary, locally degraded, gradually varying, and impulsive interference conditions confirms the trade-off between localization accuracy and stability of ensemble representation.

Time-domain segmentation should therefore be treated as an optimization-controlled parameter in complex signal ensemble formation. Further research should focus on controlled segmentation-scale selection methods for coordinated ensemble design under complex interference conditions.

DEVELOPING PROPOSALS TO ENHANCE THE RESILIENCE OF AIRFIELD COMMUNICATION SYSTEMS THROUGH MESH NETWORK DEPLOYMENT, ACCOUNTING FOR EXPERIENCE FROM THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

I. Bilichenko¹; A. Nikonchuk¹; M. Yashchuk¹; S. Pyskun²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Military Institute of Armored Forces of the National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"*

Experience from the Russian-Ukrainian War demonstrates that military airfields remain under constant enemy surveillance. To neutralize aviation assets and airfield infrastructure, the enemy conducts planned and systematic strikes using missiles and strike UAVs. Conventional airfield communication architectures are primarily based on wired networks. However, during fire missions against an airfield, these wired systems frequently suffer catastrophic failures.

To ensure the resilience and survivability of airfield communication systems, it is advisable to implement mesh networks. Their primary advantage lies in the absence of centralized points of failure, rendering the network resistant to attacks or the destruction of individual nodes.

The deployment speed of a Wi-Fi-based mesh network is significantly higher than that of laying cable infrastructure. This allows for the rapid restoration of communication systems following missile strikes, enabling airfield infrastructure assets to be promptly reconnected to the network.

Beyond resilience and survivability, an airfield mesh network provides high mobility for electronic communication services. This ensures that personnel maintain uninterrupted access to information resources while moving throughout the airfield territory.

ADAPTIVE FORECAST-ORIENTED TIME-SEGMENT PERMUTATION IN COMPLEX SIGNAL ENSEMBLES

O. Shevchenko¹; V. Lysechko², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Ukrainian State University of Railway Transport;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern cognitive telecommunication systems operating in dynamic spectral environments face key challenges related to instability of signal correlation characteristics, reduced channel-state prediction accuracy, and degradation of interference immunity during adaptation to changing external conditions. One promising direction for addressing these issues is the controlled formation of complex signal ensembles with consideration of the temporal dynamics of their correlation structure.

This study proposes an adaptive time-segment permutation method for complex signal ensembles based on the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) model. The method combines signal differencing with short-term forecasting of correlation characteristics, enabling the transition from accumulated trend analysis to the evaluation of decorrelated signal increments. For each candidate permutation of time segments, the expected correlation, energy variation, and stability of the signal-to-noise ratio (SNR) are forecasted. The optimal ensemble configuration is determined through minimization of an integral optimization criterion.

Experimental modeling performed for SNR values in the range of 10–25 dB demonstrated a reduction of the mean absolute scaled error (MASE) by approximately 20 % and the mean scaled interval score (MSIS) by 15 % compared with the Markov-based model, as well as an increase in residual stability of up to 47 % under fading conditions. The obtained results confirm that integrating ARIMA-based forecasting with an adaptive permutation mechanism enhances prediction accuracy, structural stability, and interference immunity of signal ensembles under complex stochastic conditions.

TACTICAL COMMUNICATION SYSTEM: HIMERA AS A TOOL FOR ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF MILITARY OPERATIONS

S. Poplavets¹, Doctor of Philosophy, Associate Professor;

O. Haldobin²; I. Mashchenko²; B. Strelianyi²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Military Institute of Tank Troops of the National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”*

One of the most promising Ukrainian developments in tactical communications is the HIMERA system, which provides secure voice and digital data exchange, along with integration into situational awareness systems such as Combat Vision 4.0 and Kropyva. The HIMERA G1 Pro portable radio station is specifically engineered to operate in the challenging environments of the modern battlefield.

The system integrates voice, text, and GPS coordinate transmission with the capability to display markers on digital maps. By utilizing low-power repeaters (B1, E1), the complex forms a decentralized Mesh/MANET network, which remains resilient to Electronic Warfare (EW) and provides communication at ranges of up to 55 km. Data security is implemented through AES-256 encryption and Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) technology. The system's flexibility is

demonstrated by its compatibility with Starlink and the ability to mount repeaters on UAVs to overcome terrain obstacles. A key advantage is the ease of configuration via Bluetooth from a smartphone, enabling rapid network deployment without the need for specialized technical personnel.

The implementation of the HIMERA system enables the realization of the network-centric warfare concept at the tactical level. This has a critical impact on personnel survivability in the conditions of 'trench Electronic Warfare (EW)', preventing the isolation of units and accelerating the decision-making process. Currently, the system is being supplied en masse to the Security and Defense Forces of Ukraine, with production rates reaching up to 1,000 units per month.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS TO INCREASE THE MOBILITY OF COMMUNICATIONS ORGANIZATION DURING DEPLOYMENT AT AN OPERATIONAL AIRFIELD THROUGH THE IMPLEMENTATION OF A MESH NETWORK, TAKING INTO ACCOUNT THE EXPERIENCE OF THE RUSSO-UKRAINIAN WAR

O. Bilichenko¹; Y. Petrakova¹; M. Yashchuk¹; S. Piskun²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

*²Military Institute of Tank Troops of the National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"*

The experience of the russo-Ukrainian War has demonstrated the high efficiency of aviation in combat operations. Constant shifts in tactical employment and the variety of high-precision weapons used by the enemy have necessitated robust measures to preserve aircraft, often resulting in the need to station them deep within the country. However, the maximum effectiveness of aviation is achieved when it operates in close proximity to the front lines. The optimal solution to this challenge is the use of forward operating airfields (operational airfields). A critical factor in their effective utilization is mobility. To ensure such mobility in the organization and maintenance of communications at these airfields, the use of Wi-Fi Mesh networks has been proposed.

Mesh-based systems provide high-speed digital data transmission, video and voice communications, and real-time object positioning.

A Mesh network is a multi-hop network where devices (Mesh Points, MP) function as routers, capable of utilizing various paths to forward data packets. This technology is particularly essential for ensuring mobile communication setups at operational airfields. Ultimately, the architecture of the Wi-Fi Mesh network defines its mobility and operational reliability under the complex conditions of active combat.

АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ FANET ДЛЯ КОМУНІКАЦІЙ МІЖ ПОВІТРЯНИМИ СУДНАМИ

О.В. Якобінчук, к.військ.н., доц.; В.П. Ясинецький, к.військ.н., доц.;

В.К. Медведєв, к.військ.н., проф.; Ю.М. Клябан

Національний університет оборони України

FANET (Flying Ad-hoc Network) це спеціалізований підклас mesh-мереж, гнучких систем зв'язку без прив'язки до наземної інфраструктури, де вузлами виступають повітряні судна. Побудова FANET дозволяє створити динамічну

мережу, яка поєднує пілотовану авіацію, БпЛА та наземні сили в єдину інформаційну мережу.

Ключовими особливостями FANET є висока мобільність, гнучкість та 3D-топологія; мінімізація затримок; багаторівнева архітектура, оскільки мережу будують за ієрархічним принципом: малі БпЛА утворюють рої для локального покриття та розвідки, середні/великі БпЛА виконують роль магістральних вузлів (backbone), ретранслюючи дані на великі відстані, пілотовані судна підключаються до цієї мережі як високомобільні термінали або пункти управління; застосування адаптивних алгоритмів для мінімізації втрат пакетів даних.

FANET дозволяє розподіляти сигнал між багатьма малопотужними передавачами, що робить всю систему менш вразливою до точкового подавлення.

Використання БпЛА як ретрансляторів дозволяє підтримувати зв'язок із наземними пунктами управління навіть за межами прямої видимості, збільшуючи тактичний радіус. Адаптивність FANET полягає у її здатності до самоконфігурації.

Управління повітряними суднами повинно забезпечити синхронізацію польотів великих груп суден для виконання спільних місій, а швидка зміна топології мережі через високу швидкість суден потребує надшвидких протоколів маршрутизації.

Відкритість ad-hoc мереж робить їх вразливими до кібернетичних та електронних впливів.

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА АЕРОДРОМНІЙ ДІЛЯНЦІ ДОРОГИ

*В.М. Єлін¹; В.В. Ткачов¹, к.військ.н., проф.;
Б.А. Білявський¹, к.військ.н.; В.В. Помогайбо²*

¹Національний університет оборони України;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Досвід російсько-української війни демонструє, що противник не полишає спроб знищити авіаційну компоненту та мережу аеродромів (аеропортів) сил оборони, а саме стоянки (сховища) де зосереджені літаки різних типів та засоби радіотехнічного забезпечення наносячи з високою періодичністю ракетно-бомбові удари по місцям базування та зосередження.

В умовах сучасної війни для підвищення гнучкості, мобільності та живучості авіації Повітряних Сил є доцільним використання аеродромних ділянок доріг (АДД), що в свою чергу дозволить реалізувати концепцію розосередженого базування.

На АДД для забезпечення зльоту-посадки необхідний мінімальний склад сил та засобів зв'язку та РТЗ (стартовий командний пункт, привідний радіомаяк, прожектори Сяйво-Н (Д) та ліхтарі для позначення меж АДД), також в якості радіонавігаційної системи ближньої навігації пропонується використовувати портативну систему TACAN, так як дана система повністю відповідає стандартам НАТО, STANAG та всім іншим відповідним міжнародним стандартам і є однією із самих мобільних на сьогодні.

Вагомою перевагою таких ділянок доріг над ґрунтовими аеродромами є саме покриття (бетонне, асфальтне), яке в свою чергу не суттєво залежить від

погодних умов і може бути використане для “підскоку” та нанесення удару по противнику чи транспортуванні своїх військ (сил).

Однак на законодавчому рівні розгортання, організація та обладнання АДД урегульовано слабо, система оповіщення населення місцевими органами військової адміністрації (ОВА) налагоджена здебільшого через соціальні мережі та месенджери, що в свою чергу призводить до витoku інформації про місця базування, злету-посадки військових літаків. Окремим питанням стоїть проблематика обладнання в інженерному відношенні позицій для засобів зв'язку та РТЗ, яке потребує вирішення вже сьогодні.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ В НАДЗВИЧАЙНИХ УМОВАХ

І.О. Сушин¹, д.філос.; О.І. Лисенко², д.т.н., проф.

¹Державний науково-дослідний інститут авіації;

²Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Розвиток безпроводових сенсорних мереж (БСМ) супроводжується постійним зростанням кількості вузлів різноманітних типів, а також складними умовами застосування, відсутністю базової телекомунікаційної інфраструктури, спричинених військовими діями, надзвичайними ситуаціями, техногенними катастрофами тощо. Сьогодні на практиці для підтримки зв'язності мережі використовуються БпЛА різних типів (літакового, гелікоптерного типів), а також НРК, підводні та надводні безпілотні апарати. Їх ефективна взаємодія є перспективною і актуальною задачею для досягнення цільових показників ключових параметрів.

Результати сучасних досліджень показують, що важливим є напрямок розвитку багаторівневої структури мережі. Перший (тактичний) рівень мережі забезпечує локальну зв'язність між технічними засобами військових або рятувальників (що знаходяться на нульовому рівні). Висота розташування від пів кілометра до декількох кілометрів. Але щоб передати інформацію на далекі відстані до місць, де приймаються оперативно-стратегічні рішення, необхідний другий рівень, який забезпечить загальну зв'язність. Він повинен взаємодіяти як із іншими БпЛА так і з телекомунікаційними системами загального користування для того, щоб з їх допомогою швидко передавати інформацію до головного центру прийняття рішень. Також рівні визначаються не тільки просторовим розташуванням, а й оснащенням і можливістю перебування у робочому стані, тобто виконувати інформаційний обмін з іншими рівнями мережі.

DETERMINED SLOT-ORIENTED ROTATION OF GROUP PSK IN A PRIVATE IOT RADIO NETWORK

Y. Afanasiev

Kharkiv National University of Radio Electronics

Private IoT radio networks are designed for autonomous data exchange in conditions of partial or complete infrastructure degradation, while supporting field teams and providing backup communication channels. Given the limited computing and energy resources of network nodes, as well as the requirements for rapid

deployment, symmetric cryptographic mechanisms based on a pre-shared key (PSK) are often chosen in practice. A long-term shared PSK forms a critical “single point of compromise”. Manual key rotation in field conditions is difficult to scale, causes time intervals of incompatibility between nodes, and increases the likelihood of additional leaks during the distribution of updated keys. As part of the study, a mechanism for managing the PSK of a private mesh-IoT radio channel was developed and implemented, aimed at minimizing the consequences of compromising a single node and temporary information leaks. The proposed approach does not require reissuing or distributing a new PSK manually. The proposed solution is based on replacing long-term shared PSK with short-term ones, which are formed deterministically in time slots and reproduced synchronously by all participants according to the reference time. A slot-oriented session PSK generator has been implemented, which performs local generation of its content at each node based on one-time agreed initialization parameters and the current time value. Set of generation parameters: dynamic model parameters, iteration step and iteration count, frequency limits and discretization, initial grains/offsets are set during group initialization and are not subsequently transmitted with messages, which allows the packet format to remain unchanged and eliminates additional service fields. A one-time exchange of initialization parameters is organized in offline mode (in particular, via QR submission) with subsequent local protection of parameters on the device.

ІНТЕГРАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ДОСТУПНОСТІ ТА ЗВ'ЯЗНОСТІ В МЕТОДИКУ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ MESH-МЕРЕЖ

О.В. Білоус¹; Ю.А. Хажанець¹, Ph.D.; М.Ю. Гусак², к.т.н.; Р.Д. Барвінок²

¹Національний університет оборони України;

*²Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах бойового застосування система зв'язку військового призначення з використанням технології mesh-мереж повинна зберігати працездатність за динамічних змін топології, втрат вузлів (ліній) та впливу завад. За таких умов оцінювання ефективності лише за мережевими показниками якості обслуговування QoS є методично недостатнім, оскільки не відображає первинні передумови існування зв'язку та управління.

Запропоновано підхід, у межах якого оцінювання ефективності формалізується як узгоджене агрегування трьох нормованих інтегральних складових: доступності, зв'язності та QoS (останню доцільно визначати окремо за відомою методикою). Принциповим є причинно-ієрархічний зв'язок між складовими: за відсутності доступності неможливо забезпечити радіодоступ у районі проведення операції (місії); за наявної доступності стає можливою мережева зв'язність у mesh-мережі, тобто існування (зокрема багатохопових) маршрутів між вузлами та пунктом управління; лише після виконання цих умов показники QoS є коректними та інтерпретованими як міра ефективності обміну інформацією.

Запропонована інтеграція забезпечує методично коректний поділ рівнів опису системи (доступність – радіодоступ/покриття, зв'язність – наявність

маршрутів, якість сервісів зв'язку – ефективність обміну за виконання передумов) і дозволяє отримувати узагальнену оцінку ефективності без логічних суперечностей.

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМ З ЦИФРОВИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

В.В. Салогор; В.Л. Кравченко; О.Ю. Крикуненко; Ю.О. Пятова
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки

Поширені прикладні задачі теорії автоматичного керування, зокрема завдання слідування заданої траєкторії мобільними роботами та підтримання температурних параметрів у технічних і технологічних системах, потребують забезпечення стабільного утримання контрольованого параметра на визначеному, часо-залежному рівні попри змінні зовнішні збурення, нелінійні ефекти та інерційність виконавчих механізмів. Ефективність таких систем значною мірою визначається здатністю регулятора адаптивно реагувати на структурні зміни динаміки об'єкта, зміну навантаження, параметричні та стохастичні збурення, а також похибки вимірювання.

Пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори залишаються базовим інструментом промислової автоматизації завдяки простоті, універсальності та високій надійності. Однак у випадку об'єктів з варіативними параметрами або слабо формалізованими моделями застосування статично налаштованих регуляторів призводить до зниження якості керування. Це актуалізує необхідність використання алгоритмів автоматичного та адаптивного налаштування ПІД-параметрів, що базуються на методах ідентифікації та чисельної оптимізації.

Методика адаптивного підбору ПІД-параметрів, що поєднує онлайн-ідентифікацію з чисельною оптимізацією, забезпечує підвищення якості керування мобільними роботами під час реалізації задач слідування траєкторії та орієнтації у просторі. Подальші дослідження доцільно спрямувати на підвищення швидкодії адаптивних алгоритмів, розроблення моделей на основі нечіткої логіки, застосування прогнозного управління та створення гібридних регуляторів, які поєднують ПІД-контроль з МРС, фузі-контролем та методами машинного навчання.

СЕКЦІЯ 9

ІНФОРМАЦІЙНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКОВИМИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Керівники секції: полковник Пучков Є.І.;
к.т.н. доц. полковник Осієвський С.В.
Секретар секції: к.т.н. ст.д. Балакірева С.М.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATION ALGORITHM TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE FAILURE RESILIENCE OF INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

Ye. Puchkov¹; D. Kalinovskiy², Ph.D.; D. Vyshevskiy²

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of performing tasks as intended, special attention is paid to ensuring the continuous and stable functioning of information and communication networks, which are part of automated control systems. Failure of network infrastructure elements leads to disruption of management processes, a decrease in the efficiency of decision-making and negatively affects the overall effectiveness of the tasks. Existing approaches to redundancy, as a rule, do not provide a full restoration of the functional state of the network and largely depend on the actions of service personnel.

In order to reduce the recovery time and minimize the impact of the human factor, it is advisable to develop an algorithm for automated actions to respond to failures of network elements and their subsequent recovery.

The specified approach to increasing the fault tolerance of information and communication networks became possible due to the development of technologies for automating management processes, the introduction of centralized mechanisms for monitoring the state of network elements and the use of virtualization environments. The combination of these factors creates conditions for formalizing actions to respond to failures, which allows reducing dependence on the human factor and ensuring more predictable functioning of communication systems in the process of performing combat missions.

SYNTHESIS OF THE CANONICAL STRUCTURE OF A MULTIMODAL DATABASE FOR UAV OPERATOR TRAINING SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE PSYCHOPHYSIOLOGICAL STATE

*K. Vasiuta, Doctor of Technical Sciences, Professor;
S. Osiievskiy, Candidate of Technical Science, Associate Professor;
Y. Lysenko; Y. Turinskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The effectiveness of unmanned aerial vehicle (UAV) control critically depends on the cognitive load and emotional stability of the operator. Existing training systems usually focus on mission performance issues (logistical errors, time), ignoring the causes of their occurrence, which lie in the psychophysiology of the trainee. The proposed approach to developing a canonical structure for a multimodal

database (MBD) will make it possible to objectify the process of evaluating training results and adapt training scenarios.

The proposed solutions are based on a multidimensional operator profile model that synthesizes four data vectors: telemetric, biometric, cognitive-visual, and static.

The algorithm for synthesizing the MBD structure is based on a modified Bernstein synthesis method, supplemented with time synchronization mechanisms. This process includes the following steps:

normalization of connections through the use of a single synchronization to establish correlations between stress spikes (psychophysiological parameters (PFP)) and trajectory deviations;

vectorization: Conversion of behavior patterns into vector embeddings for further analysis using machine learning methods.

Thus, the proposed solution consists in developing the architecture of an operator's "digital twin", where psychophysiological parameters act not as auxiliary metadata, but as determining factors in the hierarchy of functional dependencies. This makes it possible to detect hidden conditions before an error occurs, automate the formation of individual educational trajectories in a short time frame, and create predictive models of operator reliability in extreme conditions.

ADVANCED ALGORITHM FOR DYNAMIC FLIGHT PATH RECONFIGURATION OF STRIKE UAVs IN RESPONSE TO CHANGES IN THE TARGET ENVIRONMENT FOR CORRELATION-EXTREME NAVIGATION SYSTEMS

*V. Tarshyn¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; K. Drozd¹;
O. Chernykh², Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Strike unmanned aerial vehicle (UAV) routes are generated from a priori intelligence prior to launch, which does not guarantee consistency with the actual fire environment during flight. Detection of enemy countermeasures by onboard or external sensors triggers replanning. The updated route must ensure avoidance of engagement zones, preservation of correlation-extreme navigation system (CENS) correction areas, and minimization of resource expenditure.

Under degradation of global navigation satellite systems (GNSS), the inertial navigation system (INS) accumulates positioning errors of up to 1 % of the traveled distance, preventing guaranteed entry into a CENS correction zone. The loss or masking of reference objects due to environmental effects, combat damage, or enemy actions requires multimodal INS correction based on a hierarchical backup scheme: GNSS → radar or electro-optical CENS → multimodal correction means.

The proposed algorithm extends D* Lite by incorporating a navigation admissibility criterion – predicted accumulated INS error – into the graph edge cost function. This ensures selection of a navigation-feasible avoidance path or, if unavailable, enforced routing through a multimodal correction node.

The scientific novelty lies in integrating a navigation admissibility criterion into the D* Lite cost function, increasing mission success probability under electronic countermeasures and dynamically changing target conditions.

ALGORITHM FOR SYNTHESIZING THE CANONICAL STRUCTURE OF A DATABASE TAKING INTO ACCOUNT DATA MULTIMODALITY

*S. Osiievskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
Y. Lysenko; Y. Turinskyi; A. Taratun
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report presents an algorithm for forming a canonical database structure focused on the integration and processing of multimodal data in complex information systems. The proposed algorithm ensures the consistency, stability, and scalability of the database (DB) when combining telemetric, video, audio, text, and sensor data streams.

The formalized algorithm for synthesizing the canonical structure of a database can be represented by the following steps: initialization of the multimodal data model, semantic analysis of the subject area, identification of functional dependencies, formation of a basic universal model, normalization of the database structure, synchronization of modalities.

For some stages of the algorithm, there are quite a few developed methods and techniques for their calculation. At the same time, there is an urgent need to develop mathematical methods and models for finding solutions for such stages as initialization of multimodal data models, synchronization of modalities, optimization, and validation.

The initialization stage of the multimodal data model, in addition to defining the list of modalities, involves the formation of descriptive metadata for each modality and the execution of the data type notation normalization procedure with the unification of access interfaces.

The modality synchronization stage involves defining synchronization mechanisms and including service synchronization tables in the database model.

The optimization and validation stage involves checking the structure for compliance with the initial functional dependencies and conducting stress testing of asynchrony scenarios between modalities.

Thus, the proposed solutions will allow forming a canonical, formally justified database structure that ensures effective integration of multimodal flows and can be used in intelligent systems, autonomous complexes, and real-time systems.

MANAGEMENT OF SECURITY PROFILES OF SPECIAL PURPOSE INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

*S. Osiievskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Nesmiian, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
I. Borozenets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Zemlianskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern special-purpose information and communication systems (SPICS) are critically important elements in supporting the command and control of troops and weapon systems. Under conditions of dynamically changing operational environments and active adversarial interference, the problem of ensuring their resilience to cyber impacts and internal configuration violations becomes particularly relevant.

Operational practice of SPICS indicates that a significant portion of security incidents is associated not only with targeted attacks, but also with incorrect

configuration of security parameters, inconsistency of configurations with established security profiles, and the lack of real-time monitoring of their state. Static approaches to forming security configurations do not provide the required level of system adaptability in conditions of a constantly evolving threat landscape.

An approach to security profile management is proposed, based on:

intelligent configuration of the security system;

automated monitoring of the security system state;

assessment of the time the system remains in an unsafe state;

detection of configuration deviations based on boundary condition analysis and parameter change dynamics;

implementation of a method for adaptive adjustment of security parameters based on SPICS monitoring results.

PROPOSALS FOR SOLVING TECHNICAL PROBLEMS OF MULTIMODAL LEARNING USING DATA ALIGNMENT AND FUSION METHODS

S. Osiievskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Y. Lysenko; Y. Turinskyi; A. Isaieva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid growth in the volume of multimodal data (text, audio, video, and sensor streams) necessitates the development of effective methods for their formation, coordination, integration, and transmission. Unlike unimodal systems, multimodal approaches provide a deeper understanding of complex scenarios through the use of complementary information of different nature.

The key technical challenges of multimodal learning are semantic alignment and data fusion. Alignment aims to form a common, coordinated space for representing different modalities. Fusion involves integrating the obtained representations to improve prediction accuracy and model robustness to noise and data incompleteness.

The use of large language models (LLMs) as a universal mechanism for transferring knowledge between modalities is becoming particularly relevant, as it allows compensating for the lack of labeled data and improving learning efficiency in resource-limited tasks.

Thus, research into methods for aligning and merging multimodal flows is critically important for each stage of the design, development, and maintenance of DSSs in special-purpose automated control systems.

FEATURES OF ALIGNMENT AND MERGING OF MULTIMODAL DATA IN MODERN MACHINE LEARNING SYSTEMS

S. Osiievskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Y. Lysenko; Y. Turinskyi; L. Nemchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid development of technology has led to exponential growth in the volume of multimodal data, including images, text, audio, and video. This excess accumulation of data opens up new opportunities and poses new challenges for researchers and practitioners in various fields, such as computer vision and natural

language processing. Integrating information from different modalities can significantly improve the performance of machine learning models by enhancing their ability to understand complex real-world scenarios. Multimodal learning is based on two interrelated problems: alignment and fusion. Alignment aims to establish semantic correspondence between modalities so that their representations occupy a common space, while fusion combines these aligned features into unified predictions or embeddings. The combination of modalities typically has two main goals:

1. Different data modalities can complement each other, thereby improving the accuracy and efficiency of models for specific tasks.
2. Some modalities may have limited data availability or be difficult to collect in large quantities; therefore, training in an LLM-based model may use knowledge transfer to achieve satisfactory performance in sparse data tasks.

In social media analysis, combining text content with relevant images or videos provides a more comprehensive understanding of user sentiments and behaviors. Outside of social networks, multimodal methods have shown promising results in applications such as automatic document captioning, video summarization, and image recognition.

CONFIGURATION OF MONITORING FOR INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS

S. Osiievskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Nesmian, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

*I. Borozenets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Zemliansky
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Currently, there exists a large number of methods and approaches for detecting network threats, monitoring network traffic, and identifying specific types of threats in the operation of information and communication systems (ICS), generally related to information security. Such approaches are relevant because the emergence of threats in network traffic disrupts the proper functioning of ICS. The effectiveness of any threat detection model mainly depends on the selection of appropriate features and algorithms. However, due to the diversity of malicious impacts, many existing solutions are not suitable for other cases and require adaptation or combination with additional system monitoring methods.

It should be noted that conducting additional monitoring may take a considerable amount of time. To reduce the time required for additional analysis and to increase the response speed to events occurring in ICS operation, artificial neural networks can be applied.

An ICS monitoring system should collect, process, and store data gathered from observed network nodes and, in the event of danger, initiate additional monitoring with the direct application of neural network-based scenarios to unidentified anomalies or after preliminary identification.

As a result, one of the objectives of this research is to justify the selection of the neural network architecture and to define the input data required for training and operation of the neural network.

UAV INTERCEPTORS AS OBJECTS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

*I. Kovzalo; S. Balakireva, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Petrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Russian army has changed the dynamics of air warfare. Its strategy uses cost asymmetry through adaptive, time- and target-synchronised combined attacks that combine missiles, glide bombs, Shahed-type kamikaze strike drones, and decoy drones to overwhelm air defences with inexpensive, high-intensity munitions.

In response, in February 2025, JATEC (Joint Analysis, Training and Education Centre) NATO-Ukraine's initiated PROJECT No. 1, which concluded and demonstrated the need for a low-spending, advanced, cost-effective artificial intelligence-based solution for integrated air defence. This rapid progress reflects a strategic combination of operational urgency and innovation, compressing the traditional multi-year development cycle into a matter of months.

One of the proposed solutions is an interceptor drone with an automatic target detection and tracking system, capable of operating automatically without operator intervention. UAV interceptors are a more cost-effective solution for countering mass air threats due to their significantly lower cost compared to modern air defence systems.

Integration into the Ukrainian automated tactical-level defence system is carried out using the 9S905 product and ensures its use as a fully-fledged integrated air defence system.

METHODS FOR GENERATING CRYPTOGRAPHICALLY SECURE CONTROL SEQUENCES IN DATABASE PROTECTION SYSTEMS

*Yu. Stasiev, Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Sych; N. Karamushka
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In contemporary information systems that process substantial volumes of data in real time, ensuring the cryptographic security of databases has become a particularly salient issue. The efficacy of protection is predominantly contingent upon the characteristics of pseudorandom control sequences employed in stream cipher schemes and access control mechanisms. Insufficient statistical characteristics or low linear complexity of such sequences can significantly reduce the overall level of information security of the system.

The utilization of linear feedback shift registers in lieu of binary field mechanisms is accompanied by inherent constraints with respect to performance and cryptographic strength, that are available for cryptanalysis. The transition to recurrent structures over the extended field $GF(2^q)$ has been demonstrated to facilitate the generation of multibit output blocks, augment the period of pseudorandom sequences, and refine generation performance without substantial hardware or software implementation complexity. The incorporation of nonlinear transformations into the generator structure has been shown to increase linear complexity and complicate the application cryptanalytic methods, while maintaining acceptable statistical properties of the output sequences.

The enhancement of the protection level of information resources can be achieved through the integration of cryptographic methods with intelligent system behavior analysis. The integration of intelligent information technologies facilitates continuous monitoring of database access, the identification of anomalous user actions, and the prediction of potential security threats. This approach provides an additional layer of protection increasing the system's adaptability to new types of attacks. The integration of cryptographically secure control sequence generators with behavioral analysis constitutes a comprehensive solution that is aligned with contemporary requirements for information system security.

AUTOMATION OF THE PROCESS OF BUILDING THE ROUTE OF A GROUP OF RECONNAISSANCE UNMANNED AERIAL VEHICLES

*Yu. Stasiev, Doctor of Technical Sciences, Professor; Y. Chopenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When performing aerial reconnaissance tasks, the group use of unmanned aerial vehicles (UAVs) increases the reliability and efficiency of task completion and is a relevant area of application. The use of a group of UAVs significantly reduces the time required to complete tasks when deployed over a large area, due to the limited capabilities of the sensors installed on each individual aircraft.

A distinctive feature of the combat use of a group of UAVs during reconnaissance of enemy targets is that their actions must be adapted to changing operating conditions. For example, changing weather conditions may limit the mobility of ground transport (in terms of its passability), which will reduce the areas where targets may be located. UAVs must make decisions independently and plan their actions based on an analysis of the current situation. Therefore, for autonomous UAVs, the capabilities of existing technical vision systems are insufficient for reconnaissance, detection and recognition of individual objects, and it is necessary to have knowledge about route planning in real time depending on the current situation. A situation analysis technology is proposed, which is implemented based on the use of a database, knowledge base, and reconnaissance task descriptions.

Thus, a formalised representation of the procedure for reconnaissance of enemy objects by a group of UAVs creates the basis for automating the process of route planning for a group of reconnaissance UAVs.

THE METHOD OF INCREASING THE IMITATION RESISTANCE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLES CONTROL CHANNEL

*Yu. Stasiev, Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Nepokrytov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The analysis of the different directions in the developing of the armed forces of the leading countries, current armed conflicts shows that one of the decisive factors of affecting success in military operations is the creation of a secured communication system and transmission an information in real time. The growing role of the using of unmanned aerial vehicles (UAV) is related with the need to solve many tasks, including control and exchanging information with UAVs with defined

reliability, security and speed of data transmission. The implementation of these problems can be solved under the condition of reliable protection of the control channel and data transmission consequence of the use of complex broadband signals and appropriate imitation resistance algorithms. Existing methods of protection with the help of broadband signals is not always provide the necessary level of reliability of the transmitted information. Therefore, it is relevant to use the method of increasing the imitation resistance of the UAV control system in conditions of cyber countermeasures.

One of the directions for achieving this purpose is the use of imitation resistance algorithms at a discrete level. It was determined that when implementing the dynamic mode of functioning, we achieved a gain of (4–5) orders in comparing with the characteristic sequences and (5–6) orders in comparing with linear recurrent sequences of the maximum period. This method is based on the formation of complex signals, in which achieves the required level of probability of imposing a false control command. The proposed effective algorithms for the use of complex signals make it possible to increase the imitation resistance and jamming immunity of the UAV control system and data exchange at the physical level.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF BUILDING PROSPECTIVE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS

B. Demidov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Tkachenko, Doctor of Millitary Sciences, Professor;

M. Borysenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

D. Komarivskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improvements in the forms, means, and methods of armed combat have led to a significant complication of the conditions for managing operations and combat actions. The volume of information that needs to be transformed into management decisions, taking into account the real situation and existing goals, has increased.

This has given rise to a sharp contradiction between the desire to use as much up-to-date information, calculated information, and model tasks as possible to improve the soundness of management decisions and plans for the use of forces and means, and the need to improve the efficiency of management in accordance with the requirements of modern dynamic combat operations. This contradiction requires a systematic professional approach to finding ways to resolve it at the current stage of development of armed combat technologies and to make an informed choice of promising technologies that could objectively lead to the maximum positive effect.

Based on experience, the most effective way to solve such problems is a systematic approach that involves studying the activities of armed forces and military formations as controlled dynamic defense systems, which are presented in the form of combat systems of one organizational level or another.

From the point of view of fulfilling its purpose, the effective implementation of such properties of a combat system as organization and controllability is of great importance. The study of these properties is a pressing task from the point of view of the informatization of management processes, which are information-intellectual processes.

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN COMMAND AND CONTROL

*S. Khmelevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Khmelevska, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The development of information management technologies based on command and control information systems and exploiting the capabilities of computer systems leads to the emergence of expert and analytical systems, the advancement of hardware and software for organizing distributed and remote access to data within computer networks, and the acceleration of the decision maker's response to changes in the operational environment during real command and control processes. Let us identify three key aspects of the professional knowledge and skills required of a decision maker under conditions of employing information management technologies for managerial decision-making:

1. Knowledge of the fundamentals of using automated workstations and internal architectural solutions, namely: data storage organization and data utilization; organization of the use of specialized application software; organization of information flows.

2. Information technologies of the automated workstation: core information-processing operations; modes and variants of applying information technologies to achieve optimal command and control; information technologies for interaction with adjacent levels of the command and control system hierarchy.

3. Ability to operate across various classes of command and control information systems (databases, expert systems, decision support systems, hypertext systems, geographic information systems, local and global networks) and knowledge of: the structure and functions of automated command and control systems for various objects; the technological information environment; information technologies that ensure the formation of information resources through the integration of information components to resolve problem situations by means of real-world, model-based, and expert research methods; as well as the specifics of managing highly informed personnel, in which the chief acts as the principal expert.

AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEM – THE FOUNDATION OF INTEGRATION

*S. Khmelevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
I. Bolshakova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When creating integrated control systems, it is important to coordinate the reliability requirements of different control system components through optimization calculations and by determining the conditions under which the specified value of the control objective function, taken as the extremum, exists. For a system to be considered integrated with respect to a given objective function, the constraints must correspond to the actual control capabilities of integrated control systems. The characteristics of the feasibility of integrated control systems can be served by

information technology reliability indicators, whose interrelated values act as constraints on the objective function and form the basis for integration. A set of optimization calculations of the reliability of information technologies for achieving control objectives plays the role of an integration base control system, which is periodically updated. The integration base contains sections reflecting optimization calculations of agreed indicators of the reliability of information technologies for managing military formations and information technologies for managing technological processes in military systems, in which the distribution of resources for the development of these components during design and operation ensures the achievement of the desired management effect.

One of the areas of comprehensive management automation is the development of organizational and technological information technologies for managing military equipment and weapons, which form a functional part of an integrated management information system. The further development of such systems is a prerequisite for improving the efficiency, reliability and effectiveness of military management.

COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURES FOR AI COMPUTING

M. Lytvynenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Lenets; K. Dumanska

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid evolution of AI technologies, including deep learning (DL), big data processing, and high-performance computing, is creating fundamentally new requirements for the architecture of computer systems. The development trends of large language models (LLM) and generative AI are leading to an exponential increase in data, which is overloading traditional systems. According to forecasts, the AI chip market will reach \$73 billion in 2026, with an emphasis on the transition from scaling to resource optimization. This is driving the active development of specialized computing system architectures that can effectively work with parallel computing and large data sets.

Modern architectures for AI computing are based on the principles of heterogeneity, where central processors work together with specialized accelerators - GPU, TPU, NPU or FPGA. Such solutions are optimized for matrix and tensor operations typical of neural networks. New approaches to memory organization, high-speed data exchange interfaces and software-hardware co-optimization of algorithms and computing platforms play a significant role.

AI computing architectures are widely used in data centers, computer vision systems, autonomous transportation, medical diagnostics, and financial analytics. At the same time, the problems of power consumption, heat dissipation, hardware cost, and efficient memory use remain relevant. Another important direction is the development of edge architectures that allow AI computing to be performed directly on peripheral devices.

In summary, AI computing architectures in 2026 aim to balance power, efficiency, and resilience, paving the way for the mass adoption of AI into everyday life. Moving to optimized, hybrid, and edge-oriented solutions will not only address current constraints like energy costs, but will also drive innovation across industries.

TECHNOLOGY FOR MONITORING THE FLIGHT TRAJECTORY OF AIR ATTACK VEHICLES BASED ON ANALYSIS OF MESSAGES IN SOCIAL NETWORKS

*S. Sidchenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Revin;
S. Zalkin, Candidate of Military Sciences, Senior Researcher;
K. Khudarkovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern information technologies have significantly changed the tools of information operations. Recently, information influence has been most actively carried out through social communities. There has also been a potential threat of using social networks, and primarily Telegram channels, to monitor the number and flight trajectory of air attack vehicles (AAVs) during massive air and missile attacks.

A technology for monitoring the flight path of air attack vehicles based on the analysis of messages in social networks, in particular Telegram channels, is proposed, which, unlike existing methods, allows for reverse tracking of the route of air attack vehicles in real or near real time.

The technology implements multi-level information processing – from automated collection of text messages to analytical comparison of their content with calculated route data.

The key advantages of this technology for monitoring the flight path of AAVs based on the analysis of messages in social networks, in particular Telegram channels, are indicativeness and accessibility, automation of collection and analysis, geospatial analysis, route verification, assessment of radar coverage and location of air defense assets of the opposing side.

The proposed monitoring technology opens up new opportunities for operational analytics in hybrid warfare and can be adapted for integration into situational awareness and strategic planning systems.

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO MODERN SECURITY AND DEFENSE SYSTEMS

*V. Bielimov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
K. Khudarkovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher;
M. Belous; V. Chekunov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Artificial intelligence (AI) has a significant impact on all areas (land, sea, air, space and information) and at all levels (political, strategic, operational and tactical) of warfare. In the future, weapons and various military equipment based on the use of AI technologies will be used in most military conflicts in the world and provide an advantage due to greater operational efficiency, efficiency of information analysis and low cost.

In the conditions of limited resources of Ukraine, the need to counter an aggressor country that has greater capabilities in the defense sector and taking into account the peculiarities of a full-scale war, it is advisable to identify key areas of use of AI technologies in the defense sector and concentrate efforts on them. The report highlights the key areas of use of AI technologies in the defense sector and proposals for their practical implementation in the conditions of modern security challenges.

The presence of a huge amount of data in the information battlespace allows decision-makers, using information systems using AI technologies, to draw conclusions and forecasts, while improving the speed and quality of consideration of problem situations, make optimal decisions in accordance with information received from sensors in real time, and carry out planning based on targeted collection of information from all sources and combining data in a single information system.

METHODS AND TECHNIQUES FOR DETECTING FAKE INFORMATION IN SOCIAL NETWORKS

S. Zalkin, Candidate of Military Sciences, Senior Researcher;

D. Zapara, Candidate of Military Sciences;

K. Khudarkovsky, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher;

V. Zhuykov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Long before the Russian Federation's full-scale armed aggression against Ukraine, fake news, disinformation, and manipulation of the public consciousness of certain target audiences in the course of informational (psychological) operations on social networks became commonplace.

Informational (psychological) influence in social networks is characterized by targeted systemic pressure on a specific target audience or on public opinion in society in general. Messages in social networks are usually so skillfully executed that it is very difficult to recognize fake information. The characteristic features inherent in fake content are the presentation of information in an abbreviated form, objectively incomplete and with a strong emotional coloring, which interferes with its systematic analysis and comprehension. Fake messages, as a rule, are directed at a specific object and are irrelevant.

To detect fake information on social networks, it is advisable to combine a number of methods and techniques, in particular, such as syntactic analysis, semantic analysis, the presence of metadata, manual or automatic verification of facts, the presence of signs of neurolinguistic programming, and the use of deep learning models.

Over time, technologies and methods of using social networks to exert informational (psychological) influence acquire new features, but will continue to remain an effective and sought-after tool of informational and psychological warfare in the world.

FEATURES OF PLANNING THE FLIGHT ROUTE OF A GROUP OF UNMANNED AERIAL VEHICLES, TAKING INTO ACCOUNT COMBAT EXPERIENCE

N. Koroliuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

B. Rud; A. Romanyuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) play a key role in modern military strategy, especially in the context of the Russian-Ukrainian War. To date, the role of air reconnaissance systems is steadily increasing in the planning and direct conduct of military operations, as well as in the monitoring of military-industrial facilities

outside national territories to detect threats, particularly in the context of ongoing aggression by the Russian Federation.

Modern methods and algorithms for planning the routes of UAV groups are focused on ensuring maximum coverage of the observation area with minimal time and fuel costs. Various algorithms allow for the efficient solution of routing tasks, taking into account constraints and criteria. However, an important direction for further development is the improvement of algorithms for working with large numbers of UAVs and complex real-time operating conditions.

The use of UAVs for reconnaissance missions is accompanied by a number of unresolved problems related to the need to take into account many factors: the nature of the fighting, the terrain, meteorological conditions, the presence of electronic warfare. In view of this, it is critical to increase the level of automation of the route planning process, which allows taking into account both uncertainty factors and changes in the tactical situation. Thus, the successful execution of reconnaissance tasks by a UAV group largely depends on the proper organization of route planning, taking into account safety, efficiency, and resource optimization. Considering key factors such as flight safety and the optimization of time and fuel allows for improved operational effectiveness and the minimization of risks during the execution of complex missions in real-world conditions.

FEATURES OF KNOWLEDGE FORMALIZATION IN THE CONSTRUCTION OF DECISION SUPPORT SYSTEMS BASED ON FIRST-ORDER PREDICATES

N. Koroliuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

B. Rud; V. Baizan; A. Romanyuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The need to expand and develop automation complexes with a system for collecting, formalizing, summarizing, and processing input information is quite relevant today. The complexity of formalizing input data lies in the mathematical description of a large number of factors and characteristics that must be interrelated and describe the situation in real time. Therefore, formalizing knowledge in the process of assessing the air situation is a complex task when recognizing a set of options for the actions of an air adversary (AA).

Recognizing the intent of a decision-maker's actions in conditions of uncertainty is a complex formalized task, the solution of which requires the knowledge, intuition, and experience of combat control officers. Achieving rapid and informed recognition of AA actions is possible through advance planning and forecasting of possible courses of action. It has been determined that the use of conventional mathematical algorithms to automate this process is complicated at the stage of formalization and data description. The use of deterministic methods can lead to errors in the decision-making process and make it impossible to describe the objective function. It is proposed to implement the task of recognizing AA actions using intelligent information systems based on first-order predicate logic.

The use of mathematical tools based on fuzzy logic facilitates the formalization of the necessary amount of input information to ensure the validity of the predicted options for action by the AA and countermeasures for its units.

JUSTIFICATION FOR THE USE OF DECLARATIVE AUTOMATION METHODS IN FIRE CONTROL SYSTEMS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE UNITS

N. Koroliuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

B. Rud; V. Baizan

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern air attacks are characterised by the massive use of missiles and unmanned aerial vehicles, which places a critical burden on air defence. With up to eighty targets in the brigade's area of responsibility, the decision-maker has only ten to twelve seconds for each one. Existing automation systems mainly perform calculations, leaving logical analysis and prioritisation of targets to the operator.

To improve management efficiency, declarative automation methods based on independent facts and rules are proposed. Unlike procedural approaches with hard-coded rules, these methods ensure system flexibility and easy modification of the knowledge base without reprogramming. This allows for the automation of enemy intent disclosure and the integration of real combat experience into target allocation processes.

The technological basis of the research was a relational database in the PostgreSQL environment, which combines the characteristics of anti-aircraft missile systems and current air threats. The model integrates the parameters of modern Patriot, IRIS-T and NASAMS systems with missile and drone profiles. The structure of the cover groups allows for the formation of optimal fire pairs in real time, taking into account multi-layered defence.

Modelling of four thousand scenarios confirmed that the use of declarative methods increases the security of objects by ten to sixteen percent. Integrating such solutions into the automated control system of the Ukrainian Air Force is advisable for countering massive strikes. This transforms the system into an intelligent support tool that significantly enhances the resilience of critical infrastructure.

PROPOSALS FOR THE INTEGRATION OF VECTOR DATABASES INTO THE ARCHITECTURE OF AVIATION AND AIR DEFENSE AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEMS

I. Zakharchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Honcharenko; I. Oleshchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Supporting track formation and tracking processes is a key component of the functioning of the aviation and air defense automated command and control system. During radar data processing, several challenges arise, including track duplication, identification conflicts, and loss of target tracking. These issues complicate the development of a consistent tactical picture and reduce the effectiveness of the decision-making process.

The integration of vector databases into the architecture of automated aviation and air defense control systems is proposed as an intelligent enhancement to conventional track management algorithms. This approach enables semantic search

and track comparison based on behavioral profiles. In this context, a track is considered not merely as a set of coordinates at a given time, but as a behavioral object characterized by motion dynamics, temporal parameters, and operational context.

The proposed process comprises the following stages: formation of a behavioral track profile based on available parameters; semantic correlation with other tracks, considering not only spatial proximity but also behavioral similarity and temporal dynamics; intelligent decision support in the form of recommendations regarding track merging, continuation, or delayed confirmation; identification of potential duplication or association with known target groups; and support of the track life cycle.

Thus, the application of vector databases provides contextual matching and analytical support without violating the requirements for determinism, reliability, and safety in combat systems. The integration of such a mechanism enhances the consistency of track formation and tracking processes and improves the integrity of the tactical picture within automated aviation and air defense control systems.

DETERMINATION OF ENERGY EFFICIENCY THRESHOLDS FOR LDPC AND CONVOLUTIONAL CODES FOR ADAPTIVE UAV COMMUNICATION SYSTEMS UNDER EW CONDITIONS

*M. Lytvinenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Liutov; K. Drozd*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The operational effectiveness of unmanned aerial vehicle (UAV) systems in modern conflicts directly depends on the stability of control channels (C2) and data links (C1) under intensive electronic warfare (EW). The primary challenge is a significant decrease in the signal-to-noise ratio (E_b/N_0), leading to loss of control or the inability to transmit reconnaissance data.

The proposed approach is based on a differentiated selection of Forward Error Correction (FEC) methods depending on the conflicting requirements of UAV channels: maximum reliability with minimal latency for C2 and maximum throughput for C1.

As a result of Monte Carlo simulation in a Python environment, quantitative boundary conditions for code efficiency were established:

for the Control Channel (C2): the convolutional code ($R = 1/2$) is optimal, ensuring the target reliability ($BER \leq 10^{-6}$) at $E_b/N_0 \geq 6.0$ dB. Its advantage is the critically low decoding latency required for real-time control;

for the Data Link (C1): the LDPC code ($R = 1/2$) is most effective, providing similar reliability at $E_b/N_0 \geq 4.0$ dB. This provides a 2.0 dB coding gain compared to the convolutional code, allowing the channel to function under higher jamming levels.

Thus, the established threshold conditions (4.0 dB for LDPC and 6.0 dB for the convolutional code) form the scientific basis for developing adaptive communication parameter control algorithms. This will enable the automation of switching between coding types in real-time depending on the current interference environment, ensuring the comprehensive stability of the UAV communication system.

INTEGRATION OF MODERN DIGITAL COMMUNICATION NETWORKS INTO AUTOMATED AVIATION AND AIR DEFENSE MANAGEMENT SYSTEMS

*M. Lytvynenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Lenets; M. Chechelnytskyi*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Integrated intelligent aviation and air defense control systems operate in conditions of high intensity of information flows, dynamic changes in the operational situation and increased requirements for speed of decision-making. The effectiveness of such systems largely depends on the quality of the telecommunications infrastructure. This is relevant for the Defense Forces of Ukraine, where the air defense integrates digital networks to enhance situational awareness and coordination.

The integration of digital communication networks involves the use of converged IP-oriented architectures, software-defined networks (SDN), network function virtualization and secure data channels. Such approaches provide centralized resource management, rapid infrastructure scaling and effective information exchange between elements of automated control systems.

The implementation of integrated telecommunications solutions requires the modernization of existing communication nodes, ensuring the compatibility of new technologies with existing systems, and the implementation of real-time network monitoring tools. Channel reservation, the use of adaptive routing protocols, and cyber protection measures play a special role, ensuring stable operation of systems even under conditions of external influences or technical failures.

The combination of the considered aspects confirms that the integration of modern digital communication networks increases the efficiency, reliability and flexibility of intelligent aviation and air defense control systems.

EDGE AI AND TINYML: AI INFERENCE DIRECTLY ON DEVICES

*M. Lytvynenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Lenets; V. Tashtymyrova*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The massive expansion of the number of autonomous sensor systems, IoT devices and mobile platforms creates the need for fast and autonomous data processing without constant transmission to cloud processing centers. The use of artificial intelligence directly on peripheral devices allows to reduce delays, increase the reliability of systems and ensure better protection of confidential information. In this context, Edge AI and TinyML technologies become particularly relevant, as they provide inference of machine learning models on devices with limited resources.

Edge AI involves moving AI computations closer to the data source – to sensors, embedded systems or local computing nodes. TinyML is a specialized direction of this approach and is focused on running compact optimized models on microcontrollers and energy-efficient devices. The implementation of such systems requires the use of methods for model quantization, memory optimization, reducing power consumption and the use of specialized hardware accelerators.

Edge AI and TinyML technologies are already actively used in video surveillance systems, industrial monitoring, medical devices, autonomous vehicles

and wearable electronics. Local inference provides real-time operation, reduces the load on the network infrastructure and increases the resilience of systems to communication interruptions.

The analysis conducted allows us to conclude that the integration of AI algorithms directly into peripheral devices is a strategic direction for the development of computer engineering. Further progress is associated with the improvement of energy-efficient processor architectures, model optimization tools and standards for secure data work. Edge AI and TinyML are expected to become the foundation for new generations of autonomous intelligent systems.

IMPLEMENTATION AND TESTING OF DATA HASHING FUNCTION BASED ON TWO-DIMENSIONAL ISING MODEL

S. Shylo, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Rudenko; O. Pershyn

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Most modern algorithms used for encryption and hashing are based on a limited set of operations – substitutions, permutations, and modulo 2 adding, meanwhile, virtually all block ciphers use the Feistel structure. The development of cryptographic methods is extensive: increasing the key length and data block size leads to an exponential increase in the load on the hardware. Therefore, it is important to find fundamentally new approaches, in particular using finite automata, which ensure uniform distribution of output data and convert ordered plaintext into a random sequence of ciphertext, i.e., increase entropy.

One of the most common models in statistical physics is the Ising model, designed to study ferromagnets, but recently it has found application in cryptography. In particular, the Metropolis algorithm is sensitive to the quality of pseudorandom sequences: if the sequence is far from truly random, the critical indices of the system deviate from theoretical and experimental values, making the Ising model an effective test for pseudorandom generators. In addition, the model is used to generate pseudorandom sequences and stream ciphers based on them – the implemented scheme with key initialization showed positive results in terms of distribution and speed, especially with a close lattice gas model.

In block ciphering, analogies were drawn between the stages of evolution of a physical system and rounds of ciphering, differential cryptanalysis was performed, and optimal stability parameters were determined. The Ising model is also used to form random matrices in Galager codes with error correction, which are integrated into public key cryptosystems.

APPROACH TO CONCEPTUAL ANALYSIS OF KNOWLEDGE IN AUTOMATED SPECIAL-PURPOSE CONTROL SYSTEMS

S. Shylo, Candidate of Technical Science, Associate Professor; A. Storchaieva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

To implement human-operator interaction with an intelligent system in specialized automated control systems, the most appropriate classification option is one that takes into account general approaches to structuring knowledge about phenomena and processes in the subject area.

This approach involves the following sequence of stages in conducting a conceptual analysis of knowledge.

1. Determination of the list of input and output data. At this stage, the composition of the data may be rather vague, so it will need to be refined later.

2. Identification of objects, concepts, processes, phenomena, and characteristics that are significant for decision-making and important for compiling a dictionary. At this stage, a basic set of terms is created that characterize the subject area in various aspects.

3. Identification of relationships between concepts. At this stage, a hierarchical “pyramid” of knowledge is constructed, which allows you to define concepts of a higher level of generalization (metaconcept) with the possibility of detailing them at a lower level.

4. Defining relationships. Relationships between concepts are identified both within each level of the “pyramid” and between levels. At this stage, names are given to the connections identified in the previous stage, and temporal, spatial, causal, linguistic, and other types of relationships are identified.

5. Defining decision-making strategies, i.e., identifying chains of reasoning that link all previously formed concepts and relationships into a dynamic knowledge system.

This approach allows obtaining structures for describing objects of the subject area based on a categorical knowledge model and taking into account the specifics of the management tasks being solved.

RECOGNITION OF AIR OBJECTS IN SPECIAL-PURPOSE ACS USING A MULTI-LEVEL CLASSIFICATION SYSTEM

*S. Shylo, Candidate of Technical Science, Associate Professor; D. Yatsun
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Experience in countering Russian air attacks indicates the need to optimize the joint processing of heterogeneous coordinate and attribute information about airborne adversaries received from various sources. At the same time, the nature of a priori uncertainty and the episodic nature of the air target observation process should be taken into account.

Differences in the functional capabilities of different types of sources for observing, collecting, and releasing information for further trajectory processing and target recognition complicate the implementation of tertiary processing of radar information and target identification. This requires a comprehensive approach to radar data processing.

For target classification, using an approach based on a multi-level system of alphabet classes is proposed, which allows for the joint processing of signal, trajectory, and operational-tactical features, increasing the reliability of identification results. Preliminary and final data processing using a multi-level system of alphabet classes is envisaged.

At the preliminary processing stage, the sources form measures of the plausibility of target classes based on signal, trajectory, and operational-tactical features from the sources. The obtained estimates are transferred to the trajectory processing system, where uncertainties and measurement errors are compensated for by applying rules constructed using fuzzy sets.

At the final processing stage, the data is converted into a single representation in a multi-level system of class alphabets, where higher-level classes combine lower-level classes. Weight coefficients are used to recalculate the probabilities of an object belonging to a specific class.

**ROLE AND PLACE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE
EDUCATIONAL PROCESS OF HIGHER MILITARY EDUCATIONAL
INSTITUTIONS (HMEI) AND HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS
(HEI) OF UKRAINE DURING THE PERIOD OF THE LEGAL REGIME
OF MARTIAL STATE AND AFTER VICTORY**

*V. Kalachova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor;
O. Babenko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
O. Misiura, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Z. Zakirov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Four years have passed since the start of the full-scale invasion of russian occupation forces into Ukraine and twelve years since the start of the russian-Ukrainian war. By the end of September 2024, 3,798 educational institutions in Ukraine had already been affected by bombing, 70 of which were institutions of higher education. During the full-scale invasion alone, the number of hours of airstrikes per individual child in Ukraine amounted to 4,000 hours. Therefore, taking into account the main principle of providing education, namely – ensuring safety for all its applicants, the state has used all existing mechanisms to implement this, and full-time, blended and distance forms of its provision have been used, depending on the degree of danger of a particular region of the country. In turn, the role of information technology (IT) in education has significantly increased, and artificial intelligence (AI) technology, in general, was recognized as having enormous potential, both during the period of the legal regime of martial law and after Ukraine's VICTORY in the war against the russian-fascist invaders. Thus, according to the plans of the Ukrainian government, by 2030 Ukraine should be among the top three countries in terms of the level of development and implementation of solutions based on AI. Useful AI tools for education include: ChatGPT, Gemini (for creating texts, explanations, adaptation); Canva, Magic Studio (for creating visual materials, infographics); Curipod, ClassPoint AI (for creating interactive lessons and assessments).

TOGETHER TO VICTORY! GLORY TO UKRAINE!

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF METHODS FOR IN-DEPTH
ANALYSIS OF NETWORK TRAFFIC TO IMPROVE THE SECURITY
AND RELIABILITY OF INFORMATION AND COMMUNICATION
NETWORKS**

*O. Nesmiian, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
D. Yakymovskiy; O. Snitsarenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern information and communication networks operate under conditions of significant loads, instability of communication channels, and the influence of various destabilizing factors. Ensuring their uninterrupted operation and timely

detection of problems is an important task for maintaining effective management of departments.

A promising direction for solving this problem is the use of methods for in-depth analysis of network traffic. Such methods allow obtaining detailed information about the state of the network, identifying deviations in its operation, and predicting possible deterioration in data transmission quality.

The research involves studying the behavior of traffic in real operating conditions, analyzing key indicators of communication channel quality, such as packet loss, delays, delay variation, and load distribution patterns. Particular attention is paid to the development of approaches for the early detection of signs of network degradation and the creation of methods for short-term forecasting of its status. This makes it possible to take measures in advance to maintain the required level of communication reliability – traffic redistribution, activation of backup channels.

The results of the work can be used to improve the security and stability of information and communication networks. The proposed approaches will help ensure the stability of information exchange in complex operational conditions and contribute to an overall increase in the reliability of troop command and control systems.

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO DECISION SUPPORT SYSTEMS IN THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*M. Parkhomenko, Candidate of Technical Sciences; D. Chernyak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The integration of artificial intelligence into decision support systems is becoming one of the key components in the modernization of automated command and control systems of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, as modern conflicts require rapid analysis of large volumes of data and adaptive responses to dynamic combat conditions. According to research findings, artificial intelligence in the military domain enables the analysis of large datasets from satellites, unmanned aerial vehicles, and radar information sources, supports the forecasting of combat scenarios, and enhances decision-making at both tactical and strategic levels, which is particularly important for air defense in the context of the Russian-Ukrainian war. Contemporary studies also emphasize that the use of intelligent decision support systems can significantly improve the accuracy of situational assessment, increase response speed, and optimize resource allocation during complex operations. However, there are significant challenges, including the lack of algorithm transparency, which complicates evaluation and trust in system outputs; technical difficulties in ensuring sufficient computational resources for real-time data processing; risks of cyberattacks on critical components; and the absence of standardized frameworks for the application of such technologies in the military context, all of which create additional risks.

To address these issues, further research is required in the development of explainable and reliable artificial intelligence models, the advancement of human-machine interaction with a focus on supporting commanders' decision-making processes, and the standardization of cybersecurity measures, ensuring the effective use of intelligent technologies within the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

REAL-TIME OBJECT DETECTION IN AERIAL RECONNAISSANCE USING DEEP LEARNING

*M. Parkhomenko, Candidate of Technical Sciences; T. Isaieva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Automated real-time object detection is a critical capability for modern airborne reconnaissance systems. Rapid processing of data obtained from unmanned aerial vehicles (UAVs) enables timely decision-making in combat conditions. Conventional image processing methods do not provide sufficient speed and accuracy, especially when dealing with large volumes of video data.

The aim of this study is to evaluate the use of deep learning methods and the Supervisely platform for real-time object recognition in aerial images and video streams.

The airborne reconnaissance object recognition system is based on the Supervisely platform, which provides a complete data processing pipeline, including image annotation, dataset creation, and model training and testing. Annotation is performed using bounding boxes and pixel-level object extraction, allowing the creation of datasets for detection and classification tasks. The platform supports data storage, change tracking, and dataset management, which helps organize the data preparation process, reduce annotation errors, and speed up the transition to model development.

The use of modern deep learning models within the Supervisely environment ensures high detection accuracy and enables real-time video processing with hardware acceleration. Special attention is given to model optimization methods aimed at improving efficiency without reducing accuracy.

In conclusion, the combination of the Supervisely platform and deep learning methods is an effective approach for developing real-time airborne reconnaissance systems. It improves data processing efficiency, ensures high detection accuracy, and enhances decision-making speed.

RESOURCE-EFFICIENT APPROACHES TO THE SYNTHESIS OF SUBSTITUTION OPERATIONS IN BLOCK CIPHERS FOR SPECIAL-PURPOSE MOBILE NETWORKS

*D. Parkhomenko, Candidate of Technical Sciences; A. Hordiienko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern special-purpose mobile communication networks operate under conditions of limited computational resources, reduced channel bandwidth, unstable topology, and active adversarial interference. In such systems, cryptographic protection must ensure not only a high level of resistance to contemporary cryptanalytic methods, but also minimal memory consumption, energy usage, and processing time. In this context, a particularly critical component of block ciphers is the substitution operation (S-box), which provides nonlinearity and determines resistance to linear and differential cryptanalysis.

An analysis of existing approaches to S-box construction shows that traditional static substitution tables, implemented as pre-generated lookup arrays, although

providing sufficient cryptographic strength, require additional memory storage and may be vulnerable to implementation attacks. For low-resource platforms of special-purpose mobile nodes, this creates additional pressure on memory capacity and the system's energy budget.

The conducted analysis indicates that the use of pseudo-dynamic substitution boxes with controlled spectral characteristics enhances cryptographic strength while maintaining acceptable execution time and memory requirements. Reducing the size of static tables and transitioning to a computational S-box model improves resistance to implementation-level attacks and increases solution scalability.

Thus, resource-efficient synthesis of substitution operations represents a key direction in the improvement of block ciphers for special-purpose mobile networks. The combination of parameterized nonlinear transformations with algorithmic S-box generation enables a balance between cryptographic strength and hardware-software constraints, which is a determining factor for modern secure communication systems.

IMPROVEMENT OF THE INFORMATION MODEL OF THE OPERATOR'S WORKSTATION FOR ADMINISTERING INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

A. Samokish, Ph.D.; I. Tarasov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern information and communication networks are characterized by a high level of complexity, scalability, and dynamic data exchange processes. The increasing number of network services, devices, and users significantly increases the workload of network administration operators, complicating monitoring, network status analysis, and operational decision-making processes. Limited time and excessive information flows may lead to reduced management efficiency and an increased risk of errors.

A promising direction for improving operator performance is the enhancement of the information model of the workstation, which defines the structure, presentation format, and interrelationships of the data used in the administration process. Rational organization of the information space ensures the integration of performance, security, reliability, and quality of service indicators into a unified decision support system. The improved information model involves the use of adaptive interfaces, intelligent visualization tools, contextual filtering of notifications, and automated event analysis.

An important component of workstation modernization is the integration of forecasting, diagnostic, and recommendation systems based on data analysis and artificial intelligence methods. Such tools facilitate early detection of potential problems, optimization of maintenance processes, and enhancement of network infrastructure reliability. Thus, improving the information model of the workstation for administering information and communication networks is an important direction in the development of modern network management systems, ensuring increased staff efficiency, reduced risk of erroneous decisions, and improved quality of information and communication system operations.

AN IMPROVED METHODOLOGY FOR CALCULATING THE THROUGHPUT OF COMMUNICATION CHANNELS IN SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION SYSTEMS

*D. Komin, Candidate of Technical Sciences; D. Kyrychenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Experience gained from the Russian-Ukrainian war demonstrates that the success of combat operations is critically dependent on stable, continuous, and secure command and control (C2) of troops. Such C2 is ensured through the functioning of the electronic communication networks (ECNs) of the Armed Forces of Ukraine. A key prerequisite for ECN efficiency is the availability of sufficient channel throughput, which must be determined at the system planning stage.

An analysis of existing methodologies for calculating required throughput indicates that they do not fully account for the specifics of digital networks. In particular, they often neglect inbound traffic, the volume of protocol overhead, and the probability of packet loss. Furthermore, existing approaches tend to treat throughput as a static parameter determined solely by hardware specifications, while disregarding dynamic transmission environment parameters, such as packet transmission delay (latency).

This paper proposes an improved methodology for calculating the throughput of communication channels in special-purpose communication systems. Within the proposed approach, the load calculation incorporates both outbound and inbound traffic and applies a correction factor accounting for service traffic overhead. The key distinction of the proposed methodology consists in introducing a functional dependency between channel latency and effective throughput. Based on the obtained experimental data, a graph illustrating the dependence of effective throughput on channel delay was constructed. On the basis of this graph, a new indicator – the throughput reduction coefficient due to latency – has been introduced into the methodology. Accounting for the latency factor by means of this coefficient increases the accuracy of planning, deployment, and operational employment of special-purpose ECNs.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF APPLYING QUANTUM COMPUTING FOR THE OPTIMIZATION OF INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

*A. Samokish, Ph.D.; V. Savchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern information and communication networks are characterized by a high level of complexity, scalability, and dynamic data exchange processes. The increasing number of users, services, and network devices leads to greater complexity in routing, resource allocation, load balancing, and quality of service assurance. Traditional optimization algorithms are not always able to provide effective solutions to these problems in real time, especially in the presence of a large number of variables and constraints.

A promising direction for improving computational performance is the application of quantum computing, which is based on the use of qubits, quantum superposition, and entanglement. Due to these properties, quantum algorithms

potentially enable parallel processing of a large number of solution variants, opening new opportunities for optimizing complex network systems.

The integration of quantum computing with classical network management systems contributes to the formation of hybrid architectures, in which complex optimization tasks are delegated to quantum processors, while control and implementation of decisions are carried out by classical means. This approach enhances the scalability, adaptability, and resilience of information and communication networks to changing operating conditions.

Thus, the application of quantum computing for the optimization of information and communication networks is a promising scientific and technological direction that contributes to improving resource utilization efficiency, enhancing quality of service, and ensuring the sustainable development of modern network infrastructures.

RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION ASSISTANT FOR THE AUTOMATED FLIGHT SAFETY INFORMATION SYSTEM FOR UKRAINIAN STATE AVIATION

*A. Voronin; M. Gudkov, Candidate of Technical Sciences;
V. Pomohaibo; P. Dzhebzheniak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Automated Flight Safety Information System of the State Aviation of Ukraine contains an extensive regulatory and reference document base on flight safety (instructions, orders, manuals, methodological materials, etc.) comprising over 3,000 pages of text. Traditional keyword-based search is ineffective due to the large number of synonyms and abbreviations in aviation terminology and the need to understand query context (definitions, procedures, requirements).

The relevant objective is to conduct research into developing an assistant capable of answering questions in natural language with references to primary information sources. The assistant implements a hybrid RAG (Retrieval-Augmented Generation) architecture combining a document indexing stage (uploading and parsing PDF and DOCX documents, splitting documents into semantic chunks, classifying chunks by content, vectorizing chunks, and saving the index) and a query processing stage (query type determination, key term detection, query expansion, semantic search, filtering, and response post-processing).

The RAG assistant is integrated with the incident record database to enable natural language search across incident cards.

Deployment of the assistant within the “Promin-AM” AFSIS provides reduced time for retrieving regulatory information, improved answer retrieval accuracy, a lower entry threshold for new system users, and response traceability through references to specific documents and page numbers.

PREDICTING WARFARE OUTCOMES BASED ON A FUZZY MODEL

*A. Samokish, Ph.D.; L. Vasylenko; O. Dziuba
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern military conflicts are characterized by a high level of complexity, dynamism, and uncertainty caused by the influence of political, economic, informational, and military factors. Incomplete and contradictory intelligence

information, rapid changes in the operational environment, and the presence of subjective assessments complicate the process of predicting warfare outcomes and making well-grounded managerial decisions.

A promising direction for improving the effectiveness of military analytical activities is the application of fuzzy models based on fuzzy logic, which enable the formalization of uncertainty and imprecision in input data. Such models provide the integration of quantitative indicators and qualitative expert assessments into a unified decision support system. Fuzzy models make it possible to describe the relationships between key parameters of the combat environment, including troop readiness, resource availability, command and control effectiveness, information superiority, morale, and logistics efficiency. Warfare outcomes are formed as aggregated fuzzy indicators that reflect the probability of achieving defined objectives under different scenario developments.

The use of fuzzy models ensures interpretability of the obtained results, enables analysis of the influence of individual factors on the overall course of operations, and supports adaptation of forecasts to changing conditions. In addition, such models can be integrated with multi-criteria optimization methods, Bayesian networks, and intelligent data analysis systems to enhance prediction accuracy.

Thus, predicting warfare outcomes based on fuzzy models is a promising direction for the development of modern military command and analytical support systems, contributing to improved decision-making quality, reduced risk levels, and enhanced management adaptability under conditions of uncertainty.

MODERNIZED AUTOMATED FLIGHT SAFETY INFORMATION SYSTEM FOR UKRAINIAN STATE AVIATION

A. Voronin; M. Gudkov, Candidate of Technical Sciences;

V. Pomohaibo; S. Ivashchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Ensuring flight safety is a priority task for the Armed Forces of Ukraine aviation, particularly under conditions of intensive combat employment of aircraft. In accordance with ICAO recommendations, member states shall establish national systems for collecting and processing flight safety data and maintain databases of aviation accidents and incidents.

To collect, analyze, and process information on aviation incidents (AI), and to provide users with filtered, summarized, and detailed data on recorded incidents in both graphical and textual form, the automated flight safety information system (AFSIS) “Promin-A” is employed. The technological solutions and system software of the AFSIS are obsolete, which significantly limits its operation; therefore, conducting research into the modernization of AFSIS “Promin-A” constituted a relevant scientific objective.

During this research, a viable configuration option for the AFSIS of the State Aviation of Ukraine was proposed. The existing AFSIS software code was modernized, thereby achieving the defined performance and scalability indicators. System response time is 200 ms, incident record processing is 2 seconds, and clustering of 3,000 records is 30 seconds. The system scales to 50 concurrent users, supports up to one million database records and documents for RAG. Guaranteed uptime is 99.9%. A new incident record form has been proposed, and

methodological guidelines for the use of AFSIS “Promin-AM” system software have been developed. Further research is planned to continue exploring improvements in NLP, reporting automation, and integration with other systems.

AUTOMATION OF THE ASSESSMENT PROCESS OF MOTIVATIONAL FACTORS USING APPROACHES BASED ON THE MARKETING MIX MODEL

*O. Sychov, Candidate of Technical Sciences;
O. Nesmiiian, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
P. Malko; M. Korotkov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Motivation of a higher education student (HES) is a very important factor in the educational process. But, unfortunately, in most cases, motivational measures are evaluated on the basis of expert opinion, which is not always objective. In addition, the assessment is often qualitative, not quantitative. This approach does not allow building an optimal strategy for motivating HES. In our opinion, the use of approaches based on the marketing mix model (MMM) allows building a mathematical model on the basis of which quantitative indicators can be obtained. MMM-based approaches have proven themselves well in business, where they are used to calculate the impact of various motivations on consumers of goods and services. It is with their help that large companies build strategies that allow for optimal motivation of consumers.

The extended MMM model involves taking into account 4 factors: “Product”, “Price”, “Place”, “Promotion”. “People”, “Process”, “Physical evidence”. To calculate the impact of each factor, its own mathematical apparatus has been developed and tested. In our opinion, each of these factors can be found to correspond to factors influencing the motivation of HES.

Thus, when conducting regular surveys, for example, using surveys based on “Customer satisfaction surveys”, adapted to the educational process, it becomes possible to obtain a quantitative assessment of the impact of motivating factors on HES. Which, in turn, will allow optimizing the strategy of motivation of HESs and, accordingly, improving the quality of their mastery of educational components.

AUTOMATION OF INFORMATION ANALYTICAL SUPPORT FOR DECISIONS BY THE ADMINISTRATOR OF THE SPECIAL-PURPOSE ICM ACS

*O. Sychov, Candidate of Technical Sciences; E. Lysenko; A. Pereshyvailo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

If the armed conflicts of the twentieth century were called wars of technology, then modern armed conflicts can be safely called wars of information technology, as confirmed by the experience of combat operations during the Russian Federation's invasion of Ukraine. Ensuring reliable communication is one of the fundamental principles of victory. As the role of information and communication networks (ICN) grows, so do the demands on all personnel who support the operation of ICN, especially ICN administrators.

In the course of their duties, ICM administrators face challenges that require quick and skilled solutions. The correctness and speed of the administrator's work determines the manageability of departments and, consequently, people's lives. During cyberattacks, physical attacks, and in situations where there is limited time to support the administrator's decisions, something more than electronic documentation is needed. In our opinion, DSS can become the basis for such support, which:

- takes into account the specifics of the current ICM, through the prior accumulation of data and the formation of a knowledge base based on it;

- can process administrator requests in natural language;

- has a set of knowledge that allows the administrator to assess the consequences of actions that go beyond the scope of ICM, i.e., to take into account factors that are not directly related to ICM;

- calculates the consequences of several scenarios and allows the ICM administrator to choose the most optimal one, taking into account their experience and capabilities.

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF DSR ROUTE DISCOVERY PARAMETERS ON PACKET END-TO-END DELAY IN MOBILE AD-HOC NETWORKS

*O. Yakovlev; O. Nos, Candidate of Technical Sciences; P. Malko; M. Hladyshch
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In mobile self-configuring networks, one of the key challenges in ensuring performance is the minimization of end-to-end delay under conditions of dynamic topology, limited channel bandwidth, and external RF interference. One of the widely used reactive routing protocols is Dynamic Source Routing (DSR), which employs a route discovery mechanism and initiates Route Discovery only when required.

The operational features and parameters of DSR, including route lifetime in the cache, retransmission intervals of Route Request (RREQ – route discovery packets), TTL limitations, the number of alternative routes, and the transmission error handling algorithm, directly affect the delivery delay of both control and data packets. An excessive number of broadcast requests leads to increased channel overhead, whereas aggressive use of outdated cached routes increases the frequency of route reconfiguration and retransmissions.

The paper proposes an analytical and experimental (modeling) investigation of the dependence of end-to-end delay on the key route discovery parameters of the DSR protocol under conditions of external interference affecting groups of closely located nodes. Based on simulation, it is planned to determine rational ranges of DSR parameter settings that ensure delay minimization while maintaining an acceptable level of control overhead.

The obtained results may be used to develop recommendations for optimizing routing parameters in tactical and autonomous communication networks, where ensuring low data transmission delay is critically important under conditions of adversarial communication suppression.

CAUSES OF FAILURES IN AUTOMATED COMMAND POST CONTROL SYSTEMS AND WAYS TO INCREASE THE RELIABILITY OF COMBAT CONTROL

*O. Kulabukhov; O. Dodurych;
Z. Zakirov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Automated command post control systems (ACS CP) of the Air Force constitute a key component of effective and timely combat control of units. The reliability of these systems directly determines the speed of decision-making and the accuracy of command execution.

However, during operation, ACS CP often experience failures and functional disruptions, which lead to delays in data transmission, loss of control over units, and reduced overall effectiveness of combat control. The primary technical causes of failures include aging of server modules and switching hardware, degradation of backup communication channels, power supply failures, and overheating of processor modules.

To reduce the risk of failures, a set of technical and organizational measures is proposed. These include regular maintenance of server modules, switches, and communication channels; redundancy of critically important subsystems; implementation of real-time monitoring systems for ACS status; verification of software integrity prior to operational deployment; personnel training in system recovery procedures and cyberattack response; and system testing under load and in conditions simulating combat operations.

The implementation of these measures increases the resilience of ACS CP, ensures continuity of combat control, and reduces the probability of critical failures to a level consistent with contemporary Air Force operational standards.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF FUZZY PRODUCTION MODELS FOR IDENTIFYING NETWORK TRAFFIC ANOMALIES IN INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORKS

*A. Samokish, Ph.D.; O. Haraeva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern information and communication networks are characterized by a high level of complexity, dynamic data transmission processes, and significant traffic volumes. The increasing number of users, services, and network devices complicates the timely detection of anomalies caused by cyberattacks, configuration errors, or technical failures.

Fuzzy production rules provide a flexible description of the relationships between traffic parameters such as data transmission rate, number of connections, packet loss rate, delays, and error frequency. Anomalous states caused by DDoS attacks, port scanning, unauthorized access, or network congestion are represented as characteristic combinations of fuzzy features, which can be effectively identified using a production rule base.

The application of fuzzy production models enables interpretable analysis of results, which is an important advantage compared to “black-box” machine learning approaches. In addition, such models can adapt to changes in the network

environment by adjusting membership functions and updating the rule base, ensuring resilience to the emergence of new types of threats.

Thus, the use of fuzzy production models for identifying network traffic anomalies in information and communication networks is a promising direction for the development of intelligent cybersecurity systems, contributing to improved incident detection accuracy, reduced false alarm rates, and enhanced adaptability of monitoring systems under conditions of uncertainty.

GROUND LAUNCH PLATFORM FOR AN UNMANNED AIRCRAFT OF THE INTERCEPTOR TYPE IN CONDITIONS OF COUNTERING AIR TARGET

*Y. Vorobiov, Candidate of Technical Sciences; D. Kyrychenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

On February 24, 2022, the full-scale invasion of the Russian Federation significantly adjusted the number and variety of unmanned aerial systems since the beginning of hostilities. One of the methods of conducting hostilities includes the use of various means of destruction by the enemy, namely, one of them is the use of kamikaze drones of the Geran-2 type and other typical drones.

One of the methods of combating kamikaze drones is interceptor drones. The use of which currently shows very high efficiency compared to other methods of shooting down kamikaze drones. But with the constant increase in the number of kamikaze drones, this entails an increase in mobile groups that use interceptor drones to destroy the above-mentioned drones.

One option for improving the effectiveness of the use of interceptor drones is the development, manufacture and use of separate semi-autonomous remote ground launch platforms that are carriers of interceptor drones. This will increase the number of areas of use of interceptor drones and reduce mobile groups, namely, the drone operator will be able to remotely control the interceptor drone.

RESEARCH ON THE IMPACT OF DIFFERENT BACKUP STRATEGIES ON RECOVERY TIME AND DATA LOSS

*M. Koshkin; V. Telehin; O. Pershyn
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ensuring data integrity and continuous operation of information systems is a key task in database administration. In PostgreSQL, backup efficiency is evaluated using RTO (Recovery Time Objective), which defines the maximum acceptable recovery time after a failure, and RPO (Recovery Point Objective), which determines the maximum acceptable amount of data loss.

The relevance of analyzing different backup strategies is driven by the continuous growth of data volumes and increasing service availability requirements, which necessitate the improvement of backup approaches in modern information systems.

The purpose of this work is to analyze the impact of different PostgreSQL backup strategies on RTO and RPO indicators from the perspective of ensuring system fault tolerance.

PostgreSQL supports both logical and physical backup methods. Logical backup creates a copy of the database structure and data in the form of SQL commands.

The advantage of this approach lies in its flexibility and convenience for migration; however, the recovery process requires re-execution of commands, which may increase RTO for large data volumes.

Physical backup involves copying database cluster files, providing a more predictable and reduced recovery time. To minimize RPO, PostgreSQL implements the Write-Ahead Logging (WAL) mechanism with support for Point-in-Time Recovery (PITR), enabling restoration of the database to a specific moment in time.

The analysis demonstrates that the logical approach is appropriate for small databases or migration tasks, whereas physical backup ensures better RTO performance. From the perspective of minimizing data loss, the most effective solution is a combined strategy integrating regular physical backups with WAL archiving.

Therefore, the selection of a backup strategy should be determined by service continuity requirements, data volume, and transaction intensity.

PROSPECTS FOR THE USE OF UAVS IN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF AVIATION AND AIR DEFENSE

V. Novichkov; D. Mukosii

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Commanding In modern combat conditions, UAVs can play a key role in aviation and air defense control systems. Their integration with the Automated Control System significantly increases efficiency, management and real-time decision-making.

One of the key opportunities for the use of UAVs in automated control systems of aviation is the ability to receive operational information about the air situation, monitor the movement of air targets, as well as identify potential threats. The received data is automatically transmitted to control centers, where it is processed and used to form management decisions.

In air defense systems, UAVs can perform the functions of additional radar and optical-electronic surveillance sensors, expanding the detection zone of air targets, in particular low-altitude and stealthy ones. The integration of the UAV with the automated control system of air defense allows you to increase the accuracy of determining the coordinates of targets, reduce response time and increase the effectiveness of the use of weapons.

In addition, UAVs can be used to support the decision-making process by analyzing and clarifying data, predicting the development of the air situation, and simulating possible scenarios of enemy actions. The use of elements of artificial intelligence and machine learning in automated control systems with integrated UAVs helps to significantly increase the survivability of such system and reduce response time.

Thus, the use of UAVs in automated aviation and air defense control systems is a promising direction in the development of modern military control systems. Their integration provides an increase in situational awareness, control efficiency and stability of automated control systems in the face of modern threats, which makes UAVs an integral element of future automated aviation and air defense control systems.

A SYSTEMATIC APPROACH TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR RECONNAISSANCE INFORMATION EXCHANGE BY OPTIMIZING DATA CONVERSION

V. Novichkov; I. Nikora

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aerial reconnaissance systems based on unmanned aerial vehicles (UAVs) face the problem of a rapid increase in the amount of information that needs to be transmitted, which creates a significant load on data processing systems and communication channels. An especially critical challenge is the transmission of loss-sensitive video data in environments characterized by instability and heavy enemy interference.

At the same time, a significant part of such data has a high level of redundancy. Most existing approaches focus on data compression and do not consider the specifics of dynamic parameters from a UAV. It is proposed to increase the efficiency of information exchange by developing a systematic approach to optimizing data transformation based on spatial-correlation models. System analysis is applied, within which information exchange is considered as a single architecture that combines sensory, telemetry and communication components. Within the framework of this approach, a model is proposed that classifies information flows into incoming primary data from sensors, historical data accumulated in the database of previous observations and serving as context, and incremental data that reflects current changes and has the highest priority of transmission.

An algorithm of system optimization has been developed, which provides for the evaluation of spatial-correlation characteristics with the involvement of telemetry, the formation of a reference information layer using stored historical data, the determination and transmission through communication channels of the incremental component as the difference between the current data and the reference layer. Experimental modeling has proven that the implementation of this approach allows you to significantly reduce the volume of transmitted traffic without losing the information content and quality compared to traditional schemes.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF AN AI-BASED VOICE ASSISTANT FOR AUTOMATING NETWORK ADMINISTRATION PROCESSES

V. Telehin; V. Shulha; M. Koshkin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern information and communication networks are becoming increasingly complex, necessitating the adoption of new tools for efficient management and administration. An AI-based voice assistant for network administration is intended to automate device configuration, monitor network status, and enable rapid incident response through natural-language interaction.

To achieve these objectives, the proposed system employs natural language processing techniques, machine learning methods, and a local knowledge base to interpret administrator commands, analyze network parameters, and generate recommendations or automatically apply configuration changes to network devices.

This study examines contemporary approaches to voice control in technical systems, methods for integrating heterogeneous network equipment from multiple

vendors, and mechanisms for secure access control and logging of executed operations.

The configuration and maintenance of network infrastructure are complex and time-consuming processes. The use of a voice assistant can significantly reduce the time required for routine operations, minimize human error, and improve the efficiency of decision-making.

The application of such a system is particularly relevant for the Armed Forces of Ukraine, where ensuring the continuity, security, and rapid restoration of communications is critical. Further advances in artificial intelligence are expected to enhance the automation of military network management, increase resilience to cyber threats, and improve the overall effectiveness of communication systems.

AUTOMATION OF UNMANNED SYSTEM CONTROL PROCESSES IN MODERN MILITARY OPERATIONS

I. Nikora; I. Liakh; D. Mukosii

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid development and widespread use of unmanned systems in modern military operations necessitate the improvement of approaches to their control and coordination. Automation of unmanned system control processes increases the efficiency of decision-making in complex combat conditions and reduces the workload on combat personnel.

Automation of control processes is implemented through the use of route planning and autonomous navigation algorithms, as well as decision-support systems. Modern unmanned systems are capable of mission planning, automatic target detection, real-time data transmission, and coordinated group operations. The implementation of automated control systems for unmanned platforms ensures continuous information exchange between reconnaissance, strike, and command elements of the system.

The main requirements for automated control systems include reliability, scalability, interoperability, and resistance to cyberattacks and electronic warfare measures. The use of secure data transmission channels ensures stable communication and information protection, which are critically important for maintaining combat readiness of military units.

DETERMINING THE OPTIMAL LEVEL OF DATA AGGREGATION IN A DATA WAREHOUSE FOR PREDICTING THE ACTIONS OF AN AIR ENEMY

V. Samsonov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the Russian-Ukrainian war, the need to obtain complete and reliable information about the air situation is becoming increasingly urgent. Situational awareness systems are used to comprehensively assess the air situation. Such systems receive significant amounts of data from diverse sources. Each type of source generates data in its own format, with different timing (time interval between messages) and jitter (instability of message arrival over time). To correctly assess and predict the actions of the air enemy, data from diverse sources must be

combined (consolidated), cleaned and stored in a data warehouse. Conducting historical analytics requires storing the most complete amount of data from all available locators. Accumulating large amounts of data in a data warehouse will allow you to identify hidden patterns and form forecasts. At the same time, problems arise associated with the accumulation of large amounts of data: rapid filling of server memory, a significant reduction in system response time to requests. One of the effective approaches to solving the problem is data aggregation. Aggregating data in a data warehouse requires the creation of a multidimensional cube. The key task is to determine the optimal level of aggregation. The level of data aggregation should be determined by a multi-criteria objective function that minimizes the amount of data and ensures the execution of analytical queries at a level of not less than 95 %.

The criteria for the adequacy of aggregation are: a reduction in the amount of data from 10 % to 50 % of the initial one, ensuring the preservation of the level of detail of all measurements necessary for analytical processing, the query execution time is no more than 5 seconds (limited by the requirements for real-time systems).

The optimal level of data aggregation in multidimensional cubes of data warehouses guarantees the correct operation of the decision support system, ensures the effectiveness of air situation analysis, and can be used for operational forecasting of the actions of the air enemy.

PROPOSALS FOR IMPROVING AUTHORISATION MONITORING SERVICES FOR THE INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK OF THE AIR FORCE OF UKRAINE

*V. Baizan; M. Hladyshev; I. Dziuba; B. Rud
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In today's environment of rapidly developing information and communication systems, the rapid growth in network traffic, the increasing complexity of network topology, and the transition to cloud and microservice architectures are driving increased demands for network infrastructure reliability, performance, and manageability. Traditional monitoring approaches based on the use of separate control tools do not provide a comprehensive view of the network status, which complicates the timely detection of incidents and the making of informed management decisions.

A promising direction for improving monitoring systems is the implementation of an integrated approach based on the joint use of the SNMP protocol and NetFlow network flow analysis technology. SNMP provides control over the technical parameters of network equipment, while NetFlow provides detailed information about the structure and intensity of network traffic. The combination of these technologies allows you to correlate the technical condition of the equipment with the actual traffic behavior and quickly determine the root causes of overloads, failures, or abnormal activity.

To implement integrated monitoring, it is advisable to use a centralized data collection and visualization system, in particular the Zabbix platform in combination with specialized NetFlow collectors.

The implementation of an integrated monitoring system improves network management efficiency, reduces the time required to identify and resolve issues, and ensures the stability of network infrastructure in an environment of increasingly complex and dynamic network threats.

MODELS AND PRINCIPLES OF INFORMATION TECHNOLOGY INTEGRATION INTO AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEMS OF MILITARY UNITS

*O. Kulabukhov; O. Dodurych
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The integration of information technologies (IT) into automated command and control systems (ACCS) of military units increases decision-making speed, data exchange accuracy, and management effectiveness. Modern combat conditions and operational digitalization require systematic processing of large data volumes.

IT integration is implemented through hierarchical, network-centric, and hybrid models. Hierarchical control provides centralization but limits responsiveness, while network-centric approaches enable real-time information exchange across command levels. Hybrid models balance centralized control and unit autonomy.

Integration principles include modularity, scalability, interoperability with existing and allied platforms, data reliability and security, information timeliness, and traffic prioritization. Cybersecurity is essential, as vulnerabilities reduce combat readiness.

The experience of the Armed Forces of Ukraine confirms the need for rapid IT integration into command processes. The use of data from unmanned aerial, reconnaissance, and artillery systems within a unified network improves decision accuracy, despite challenges such as system compatibility, limited resources, and personnel training.

Thus, IT integration into ACCS enhances management efficiency and combat readiness. Further development involves improving data exchange models, applying artificial intelligence, and strengthening cyber resilience to address modern threats.

RESEARCH ON THE PECULIARITIES OF AD-HOC NETWORK FUNCTIONING UNDER ENEMY ELECTRONIC WARFARE CONDITIONS

*M. Hladyshev; P. Malko; I. Dziuba; V. Baizan
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The study is devoted to the investigation of the functioning of mobile self-organizing Ad-hoc networks for special purposes within the tactical control link of the Armed Forces of Ukraine, particularly in conditions close to the Line of Contact (LoC) and under the influence of enemy electronic warfare (EW) assets. The relevance of this work is justified by the urgent need to ensure the mobility and resilience of information and communication networks in the context of a full-scale invasion, as centralized communication systems remain highly vulnerable. The purpose of this scientific work is to study the operation of Ad-hoc networks in LoC areas under enemy counteraction and to identify ways to improve their performance. Classical routing protocols, such as DSR (Dynamic Source Routing), while effective for dynamic topologies, do not account for the signal-to-noise ratio (SNR), which critically reduces their efficiency in EW environments.

To confirm the hypothesis regarding the possibility of improving network performance, a software model was developed to simulate Ad-hoc network functioning under conditions typical for the LoC, including the spatial arrangement

of nodes (the formation of “ribbons”) and the impact of EW. Modeling demonstrated that under EW conditions (when SNR decreases to 4–12 dB), the routes selected by the classical DSR protocol are not optimal because the protocol prioritizes the shortest paths (by hop count) rather than the fastest (by delivery time). The results indicate that alternative routes exist which, despite having more intermediate nodes, provide a reduction in packet delivery time by up to 25 % by bypassing overly “noisy” channels. This proves the potential for developing modifications to the DSR protocol that incorporate link quality metrics to enhance communication efficiency in combat environments.

ANALYSIS OF THE FEATURES OF VIRTUALIZATION AND CONTAINERIZATION FOR LEGACY SYSTEMS IN THE PROCESSES OF THEIR MODERNIZATION AND VERSION CONTROL

N. Harmash; O. Chub

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modernizing outdated systems remains one of the most pressing challenges for operators seeking to balance technological innovation with the stability of existing infrastructure. As organizations seek to extend the lifecycle of mission-critical applications, the choice between virtualization and containerization becomes strategically important, especially in terms of system isolation, resource efficiency, and version control for both code and runtime environments.

Despite its advantages, containerization faces compatibility issues with legacy software due to shared kernel dependencies and the need to refactor applications. To overcome these limitations, a hybrid approach combining virtual machines and container orchestration platforms (e.g., Kubernetes with KubeVirt) is proposed. This model enables unified management of both traditional and containerized workloads, supporting the gradual decomposition of monolithic architectures without service interruption. In addition, the integration of version control mechanisms at the infrastructure level ensures that each stage of modernization remains traceable and reversible.

Effective modernization of legacy systems requires a differentiated strategy: virtualization for deep isolation of static components and containerization for dynamic environments with version control. The synergy of these technologies, managed through a single control plane, provides a sustainable path for the evolution of legacy systems while maintaining operational continuity and increasing overall infrastructure flexibility.

A PROFILE-BASED APPROACH TO THE FORMATION AND EVALUATION OF INFORMATION PROTECTION SYSTEMS IN INFORMATION AND INFORMATION-COMMUNICATION SYSTEMS

I. Ursol; A. Sypok

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Ensuring information security in information and information-communication systems requires the systematic application of regulatory requirements and protection measures. Within this framework, security profiles provide a formalized basis for structuring and harmonizing security controls.

A security profile is defined as an implementation-independent set of protection measures determined by the system's purpose, the criticality of processed information, and relevant security risks. The baseline profile establishes the minimum necessary requirements and serves as the methodological foundation for derived profiles.

The target security profile is developed by adapting baseline requirements to a specific system. This adaptation considers architectural characteristics, operational conditions, and risk assessment results, while ensuring compliance with mandatory baseline controls and regulatory provisions.

The definition of the target profile is the responsibility of the system owner or operator, who selects applicable standards and protection mechanisms in accordance with legal requirements, ensuring consistency and adaptability.

Protection measures are implemented in accordance with ND TZI 3.6-006-24, which defines the controls catalogue structure, classification principles, and mechanisms for enhancement and compensation, promoting methodological uniformity.

An essential lifecycle stage is assessing the adequacy of protection measures to verify compliance with baseline and target profiles through documentation analysis and control evaluation.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR DOS ATTACK DETECTION

*N. Harmash; O. Konstantinova; O. Dziuba
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Denial-of-Service (DoS/DDoS) attacks are among the most common cybersecurity threats, targeting servers and network resources to disrupt service availability. Traditional signature- or rule-based intrusion detection systems (IDS) are often insufficient for detecting new or modified attack types, which makes artificial intelligence (AI) methods a promising solution.

This study provides a comparative analysis of machine learning (ML) and deep learning (DL) algorithms for detecting DoS attacks. Classical ML methods, such as Logistic Regression, Support Vector Machines (SVM), and Decision Trees, are widely used for network traffic classification. Logistic Regression is simple and fast but struggles with complex nonlinear patterns. SVM provides high accuracy but requires significant computational resources. Ensemble methods, such as Random Forest, offer strong performance by balancing accuracy, stability, and efficiency in processing large datasets.

Deep learning models, including Multilayer Perceptrons (MLP) and Long Short-Term Memory (LSTM) networks, automatically extract complex features from raw data and capture temporal dependencies in traffic patterns. LSTM models are particularly effective in detecting slow, multi-vector, or sophisticated attacks. Studies show DL models can achieve accuracy above 95 %, making them suitable for critical infrastructure protection, though they require more resources and optimization for real-time use. The analysis shows that the choice of algorithm depends on system requirements. Ensemble methods are suitable for real-time systems with limited resources due to their balance of speed and accuracy, while DL models provide the highest detection quality for complex scenarios.

APPLICATION OF THE AGENT APPROACH TO DETECTING CORRUPTION

*V. Hliebova; L. Nemchenko; H. Sypok; M. Chechelnytskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The problem of corruption in our country is very acute, even among the structures that should fight corruption. As experience shows, you can bribe 10 or 1000 people, but you can't bribe millions. Therefore, to identify and publicize the facts of corruption, we propose to involve caring people, for example, volunteers. But to organize their joint work, a system is needed. So the system should be created without attracting funding, both from the state and from private structures, otherwise it will also be vulnerable to corruption attacks. Therefore, such a system should be created on the basis of a volunteer movement. Therefore, such a system, which should include knowledge bases, modules for searching and analyzing information, should be created by a set of independent specialists without strong centralized management.

In our opinion, this is possible if we use an agent approach. Instead of one module with a knowledge base, give volunteers the opportunity to create a set of independent agents, each of which will have only part of the necessary rules. In this case, the central module will perform aggregation of knowledge from agents, their verification and coordination of conflicts.

The data search and analysis modules will work on the same principle. They will search and analyze data not directly, but using a set of agents that are available at the current time. The basic version of such a system will be simple, but it can be quickly scaled.

Such a system will be as decentralized as possible and resistant to external influences. The agent approach will allow the use of qualified volunteers for programming and developing rules. Accordingly, this approach will allow the most efficient use of volunteer resources, relying not on individual people, but on volunteers as a community.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES IN SYSTEM MODELING TASKS IN THE PRESENCE OF UNCERTAINTY CONDITIONS

*O. Velychko¹; B. Demidov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Tkachenko², Doctor of Military Sciences, Professor;
M. Borysenko², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
¹National Security and Defense Council of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The philosophical basis for modeling is reflection theory. In scientific research, the property of reflection takes the form of interaction with reality, i.e., it carries information about reality as perceived by the subject. Therefore, any model (regardless of how it is expressed) in conducting systematic modeling research is considered as the main method of scientific cognition of reality, associated with the improvement of methods for obtaining and recording information about the objects under study, as well as with the acquisition of new knowledge based on model experiments.

Currently, another concept of modeling has been adopted, called homeostatic. In practice, it is implemented in various ways, but essentially in one way: step-by-step

bringing the model to a state similar to the original object by including adaptation and interpretation mechanisms in the model, as well as organizing a mode of interactive dialogue, “model-researcher”. The idea of building a homeostatic model is simple, but its practical implementation requires the use of new technology.

Creating an adequate model is only possible when the properties and interrelationships of the object being modeled are known and sufficiently studied. But if the object has been studied, the question arises as to why it should be modeled, and conversely, if the object has not been studied, the question arises as to how an adequate model of it can be constructed. This is a paradox that occurs not only in systems research, but also in any other type of research.

ANALYSIS OF INTELLIGENT METHODS FOR DETECTING NETWORK ATTACKS

O. Pershyn; Y. Osadchuk; I. Klaban

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the digital environment, network attacks pose a serious threat to information security, requiring the improvement of intrusion detection systems (IDS). IDS systems face the problem of high false positive rates and the complexity of detecting previously unknown attacks. Therefore, intelligent approaches based on machine learning (ML) methods are being actively developed. The most dangerous network attacks include zero-day attacks, which exploit previously unknown software vulnerabilities and cannot be detected by traditional signature-based methods. Modern datasets such as UNSW-NB15 and CICIDS2017 are used to train and test machine learning models. These datasets contain realistic network traffic and modern attack types, allowing deviations from normal network behaviour to be identified and various attack scenarios to be simulated.

A promising direction is the application of machine learning methods to create self-learning intrusion detection systems that are capable of analysing network traffic in real time, automatically adapting to changes in network behaviour, and responding promptly to new, previously unknown threats. Modern approaches to IDS training include machine learning algorithms such as decision trees (DT), support vector machines (SVM), and deep learning methods (CNN, RNN). The use of such systems improves detection accuracy, reduces false positives, and ensures continuous protection.

APPLICATION OF RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION IN AUTOMATED SYSTEMS

V. Tkachuk; V. Shulha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Retrieval-Augmented Generation (RAG) aims to mitigate the limitations of outdated model knowledge and reduce hallucinations through the integration of relevant information retrieval mechanisms into the response generation process.

The RAG methodology is based on four fundamental approaches that define the interaction between the retrieval and generation stages. These include query-based approaches, which extend the input prompt with additional contextual information;

latent representation-based approaches, where retrieved results are integrated into the hidden layers of the model; and logit-based approaches, which adjust token probabilities during the decoding process.

Traditional large language models store knowledge within their parameters, the number of which may exceed hundreds of billions. However, once the training phase is completed, this knowledge remains static, limiting the model's ability to operate with up-to-date information. Empirical studies indicate that in the absence of external context, such models exhibit an increased tendency toward hallucinations, particularly when handling domain-specific or regulatory data. In contrast, RAG-based systems integrate information retrieval mechanisms that enable the real-time incorporation of relevant fragments from knowledge bases, significantly reducing the frequency of erroneous responses and improving the reproducibility of results.

The conducted study demonstrated that the use of RAG provides improved reliability and relevance of data processing outcomes compared to conventional generative approaches, which is especially critical for systems operating with dynamically updated information.

MATHEMATICAL MODEL OF DECENTRALIZED DECISION-MAKING IN THE TARGET ALLOCATION PROBLEM FOR A MULTI-COMPONENT UAV GROUP

D. Parkhomenko¹, Candidate of Technical Sciences;

S. Smelyakov¹, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor;

O. Kolomiitsev², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Modern conditions of unmanned aerial vehicle (UAV) deployment are characterized by high environmental dynamics, the presence of active adversarial countermeasures, and limitations in information exchange. Under such conditions, centralized control schemes for UAV groups lose their effectiveness due to the vulnerability of the command node, data transmission delays, and the risk of communication loss. This necessitates the transition to decentralized decision-making models in which each element of the group is capable of autonomously generating and coordinating decisions regarding target allocation.

A UAV group is considered as a multi-agent system in which each vehicle operates as an autonomous agent with its own functional capabilities, technical condition, and resource constraints. Detected targets are characterized by their level of importance, spatial coordinates, and properties that influence the probability of their successful engagement or servicing. Each agent forms a local assessment of the feasibility of performing an action with respect to a specific target, taking into account its own characteristics and the current state of the environment.

The target allocation problem is interpreted as an optimization task aimed at maximizing an integral performance indicator of group actions, which reflects both target importance and the predicted effectiveness of their engagement. A distinctive feature of the proposed approach is that computations are performed in a distributed manner.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF DECISION-MAKERS IN THE MANAGEMENT OF AIRCRAFT

*O. Permiakov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
N. Koroliuk², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
B. Rud²; O. Kulabukhov²*

*¹Central National Defence University of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern aviation weapons and navigation systems enable combat missions to be carried out with high precision and reliability under any conditions. However, flight safety remains a critical requirement, which is regulated by the relevant regulatory documents of aviation units. To improve the operational performance of decision-makers, it is necessary to improve the information support of simulators. The use of intelligent systems in simulator complexes provides significantly more adequate results compared to traditional analytical models and control algorithms. In order to improve the effectiveness of combat control officer training, it is proposed to develop an assessment method based on operator activity modeling. Among the existing approaches (physical, logical, and mathematical), mathematical modeling on a computer is the most effective. Its advantages include the ability to take into account a large number of random events, reduce the time and economic costs of conducting experiments, and study scenarios where changing real equipment is technically impossible.

Analysis of the developed models shows that the most practically significant results in assessing the operator's performance are achieved using the mathematical apparatus of queueing theory. The use of this method allows not only to optimize simulator training, but also to reasonably estimate the costs of developing and modifying special software. Thus, formalizing the activities of a decision-maker through queueing theory is a key tool for improving the efficiency of aircraft management.

APPROACH TO FUSION OF RADAR INFORMATION IN AUTOMATED SPECIAL-PURPOSE CONTROL SYSTEMS

S. Shylo¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Pakhomova²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Military unit A3730

An approach for combining coordinate and attribute information when solving the problem of detecting and measuring the parameters of generalized trajectories of air objects based on information from a set of different types of radar sources is proposed. It involves the sequential implementation of the following steps.

1. Sequential formulation of hypotheses about the number of airborne objects detected and tracked in the radar field of the source system.

2. Formation of a likelihood function for each hypothesis about the number of airborne objects.

3. Formation of measures of plausibility of hypotheses about the number of airborne objects by finding the sum of the volumes for the peaks of the plausibility functions for each of the hypotheses about the number of airborne objects.

4. Obtaining an estimate of the number of airborne objects based on the criterion of the maximum plausibility function.

5. For the obtained estimate of the number of air objects, the most plausible hypothesis of joint identification of a set of measurements from a set of sources and corresponding estimates of the parameters of air object trajectories and values of generalized feature vectors is selected.

As a result, the proposed approach allows for improving the completeness, reliability, and accuracy of information about air objects provided to consumers.

IMPLEMENTING OF DYNAMIC SITUATIONAL AWARENESS TO IMPROVE PERSONNEL SAFETY

O. Dziuba¹; I. Dziuba¹; V. Novak²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²State Scientific Research Institute of Armament and
Military Equipment Testing and Certification*

In the conditions of high-tech combat operations in the realities of the Russian-Ukrainian war, massive losses are being suffered among personnel due to inaccurate awareness of their location on the battlefield. When using artillery and mortar fire, FPV drones, as well as strike robotic systems on designated enemy targets, it is possible to defeat one's own forces from "friendly fire", since information about their location may not correspond to reality. The wrong location of the wounded or ignorance of the capture of a serviceman will lead to unjustified losses among search and evacuation teams.

One of the solutions to prevent such situations is the introduction of the American-developed "Blue Force Tracker" (BFT) force tracking system into the fire control system, which allows you to see the location of your forces on a digital map in real time. Thanks to the use of GPS navigation, the unit commander monitors the complete picture of the battlefield, is able to effectively coordinate actions, direct resources and ensure the safety of personnel.

The system is integrated into almost all ground and air platforms of the US Army. To improve situational awareness and interaction with allies, BFT is officially used by the armed forces of Great Britain, Canada and Germany.

Conclusions are drawn on the advantages and features of BFT compatibility with national models of combat control systems: "Kropiva", "FireFly", "Delta", "Terminal", aimed at increasing personnel safety by ensuring dynamic situational awareness of unit commanders.

CASCADED NEURAL NETWORK ARCHITECTURES FOR COMPUTER VISION

Y. Tolkachenko¹, Ph.D.; Jiang He²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²CNOOC Financial Shared Service Center PRD Branch

Cascaded neural network architectures represent an effective approach to solving complex computer vision tasks that require both high accuracy and high processing speed. The growing volume of visual data and the need for real-time processing determine the demand for multi-level structures capable of analyzing information step by step and refining results at each stage.

The essence of the cascaded approach lies in the sequential combination of several neural network modules, each performing a specific function, such as

preliminary filtering, object detection, segmentation, or classification. At the initial stages, simple or irrelevant samples are filtered out, which reduces the computational load on subsequent, more complex models. This organization ensures rational use of computational resources and improves data processing efficiency.

Cascaded architectures demonstrate high adaptability to varying imaging conditions, noise, and changes in illumination. They are widely applied in video surveillance systems, autonomous transportation, medical diagnostics, and industrial quality control. The combination of the cascaded principle with modern deep learning methods enhances recognition reliability and reduces the number of false detections. Therefore, the development of cascaded neural network architectures is a promising direction for improving intelligent computer vision systems.

USE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR TRAFFIC ANOMALY DETECTION BASED ON HEATMAPS OF AN INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK

Y. Tolkachenko¹, Ph.D.; B. Matiukh¹; Yu Jian²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Zhongke Shuguang

Modern information and communication networks operate under conditions of continuously increasing traffic volumes and growing structural complexity. The high dynamics of network processes and the large number of nodes create significant challenges for the timely detection of anomalies related to cyberattacks, technical failures, or network congestion. Traditional traffic analysis methods based on signatures and static rules often prove insufficient for identifying new or atypical threats.

A promising approach is the representation of network traffic in the form of heatmaps, which transform statistical indicators into two-dimensional images with color-coded activity levels. This format simplifies data interpretation and enables the application of computer vision techniques.

To process such heatmaps, it is advisable to use convolutional neural networks capable of automatically extracting relevant spatial features without manual parameter tuning. Traffic anomalies caused by DDoS attacks, scanning activities, or sudden load changes form specific patterns that CNNs can effectively classify and detect in near real time.

Thus, the application of convolutional neural networks for analyzing network traffic heatmaps represents a promising direction in the development of monitoring and cybersecurity systems, improving detection accuracy and adaptability to emerging threats.

ALGORITHM FOR SELECTING UNMANNED AERIAL VEHICLES DEPENDING ON THE TYPE OF COMBAT MISSION

O. Reznikova¹, Ph.D.; Yu. Musairova², Ph.D.

*¹State Research Institute for Testing and Certification
of Weapons and Military Equipment;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Against the backdrop of trends towards the increase in using unmanned aerial vehicles (UAVs) in combat operations in Ukraine, there has been a significant increase in the number and variety of UAVs used by the Armed Forces of Ukraine

and other defense forces. According to the information from open sources, the Ukrainian military currently use about 70 models of UAVs of various classes. On the one hand, such diversity allows for the implementation of a wide range of defense tasks, but on the other hand, the selection and assignment of UAVs for a specific task requires a thorough analysis of technical and operational requirements, usually under time constraints.

The paper presents an algorithm for selecting UAVs depending on the tasks assigned to the relevant combat unit. The input data for the algorithm are: a list of available UAV characteristics (characteristic vector) and a set of tasks with a description of the requirements for UAVs and a system of constraints. The use of the UAV selection criterion for performing the assigned task based on maximizing the economic efficiency coefficient is justified. The main feature of the developed algorithm is the avoidance of redundancy and excessive reserves of UAV indicators when selecting from available models, while minimizing their cost.

In the future, the developed approach can be integrated into the software for the distribution of unmanned systems, which will significantly reduce the time to prepare for combat missions.

IMPROVING OPERATIONAL COMMAND AND CONTROL THROUGH THE INTEGRATION OF C4ISR CAPABILITIES

A.H. Hasanov¹; A.M. Talibov²; H.H. Hasanov¹

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

*²Training and Education Department of the Azerbaijan
Land Transport Agency, Baku, Azerbaijan*

In contemporary military operations and security activities, management effectiveness from the headquarters level down to tactical units is directly determined by the prompt collection, processing, and dissemination of information flows. This article provides a scientifically grounded analysis of the integration of command, control, communications, computing, intelligence, surveillance, and reconnaissance functions within a unified system logic, and conceptually synthesizes the advantages that such integration offers in both military and civilian security environments. The purpose of the study is to explain the interdependencies among the specified functional blocks, to structure the information circulation chain through the lens of intercomponent linkages, and to systematize the key mechanisms that influence the formation of information superiority during operational planning and execution.

The methodological approach is based on a functional decomposition by components, followed by a description of their interactions through content analysis. The command block is treated as the primary governing center in terms of defining objectives, assigning tasks, and establishing priorities. The control block is interpreted as a mechanism that ensures the stability of the operational trajectory by monitoring decision execution, allocating resources, and organizing feedback channels. The communications block is regarded as the infrastructure that supports continuity of information exchange and real-time synchronization. Computing capabilities are presented as the technological backbone that strengthens decision justification through the processing, storage, analysis, and visualization of collected data. The intelligence, surveillance, and reconnaissance blocks are described as complementary functions within the system, serving as the main input channels for

acquiring and refining information in the context of threat detection, tracking adversary activity, and assessing terrain and conditions.

The findings indicate that optimizing intercomponent linkages reduces information latency, enhances situational awareness, and enables more rational resource allocation. In particular, the rapid transmission of intelligence and surveillance data through communications channels, its processing within the computing environment, and its delivery to the command element serves as a key mechanism ensuring timely decision-making. The article also synthesizes the applicability of this systems approach in civilian security domains, including border security, counterterrorism operations, crime monitoring, and emergency response. In conclusion, the integration of the specified functional blocks increases operational agility, strengthens coordination, and improves the effectiveness of activities in high-risk environments. As a prospective direction, the study substantiates that deeper integration of intelligent analytics tools and modern digital technologies into the system can further enhance the quality of decision-making.

References

1. Maharramov R.R. et al. Application of C4ISR systems in military and security operations. In Інноваційні тенденції сьогодення в сфері природничих, гуманітарних та точних наук. 2025, p. 125-134. DOI: <https://doi.org/10.62731/mcnd-15.08.2025.004>.
2. Krikun, V.L. et al. Accelerating decision making and operational efficiency through C4ISR architecture. In Problems of informatization. 2025, Vol. 2., section 3,7, p. 120-121.
3. Hasanov A.H., Guliyev U.A., Hashimov E.G. Hybrid GIS-UAV framework for revealing concealed objects in mountainous landscapes. In Current directions of development of information and communication technologies and control tools. - 2025, Volume 4: sections 6. - p. 60.
4. Ibrahimov B.G. et al. Research of multi-service communication networks taking into account dynamically emerging security threats. In Problems of informatization. 2025, Vol. 2., section 3,7., p.p. 10-11.
5. Dergachov K. et al. AI based physical and cyber defense for energy grids and transportation systems. In Problems of informatization. 2025, Vol. 1., section 1,2. p. 75-78.
6. Talibov, A. A., et al. Game theory enabled multi-level logistics planning. In Problems of Informatization. 2025. (Vol. 4, sections 5 and 6, pp. 105–107).
7. Islamov, I. et al. Prospects for the use of robotic complexes in eliminating the consequences of environmental accidents at military facilities. In Achievements and advancements of applied and fundamental sciences of the 21st century. 2025. (pp. 301–311). Dnipro, Ukraine. <https://doi.org/10.62731/mcnd-07.11.2025>.

ОСОБЛИВОСТІ ВРАХУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЧУТЛИВОСТІ ТРАФІКУ ДО КОМПРОМЕТАЦІЇ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ КОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

*О.В. Лемешко, д.т.н., проф.; В.О. Куренко
Харківський національний університет радіоелектроніки*

На фоні зростання кількості кібератак на комунікаційну інфраструктуру виникає потреба у розробці системного підходу до її захисту. Наразі в мережах нерідко використовується гетерогенне обладнання з різним рівнем безпеки, і в той же час інформація, яка передається через мережу, має різну чутливість до

компрометації. Забезпечення найвищого рівня захисту для деяких типів інформації в комунікаційних мережах є не виправданим, тому доцільним є диференційоване обслуговування трафіку.

Серед доступних механізмів реалізації такого підходу варто виділити поділ фізичної мережі на віртуальні підмережі. Кожна підмережа матиме визначений рівень безпеки, і буде призначена для обслуговування трафіку з певного джерела (мереж доступу), а розподіл трафіку відбуватиметься з використанням віртуальних таблиць маршрутизації. Тоді при розподілі трафіку по віртуальних підмережах необхідно врахувати показники чутливості інформації до компрометації. Розрахунок цих показників має відбуватись за чіткою методологією, наприклад за стандартом FIPS-199.

Перспективні методи проєктування комунікаційних мереж мають враховувати в тому числі і вимоги щодо рівня інформаційної безпеки. При цьому варто також враховувати і показники чутливості інформації до компрометації для диференційованого обслуговування трафіку, що дасть змогу зменшити навантаження на більш захищене комунікаційне обладнання.

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛІЗУ ВИДИМОСТІ ТА ДОСТУПНОСТІ РЕСУРСІВ ГЕОСТАЦІОНАРНИХ СУПУТНИКІВ З УРАХУВАННЯМ ГЕОГРАФІЧНОГО ПОЛОЖЕННЯ КОРИСТУВАЧА

*Р.Л. Ставісюк, к.т.н., ст.д.; Д.А. Отіоніч
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Сучасна інфраструктура телекомунікацій та систем передачі даних значною мірою базується на експлуатації орбітального сегмента в геостационарній зоні, що дозволяє підтримувати стабільне з'єднання на великих територіях. Продуктивність таких систем обумовлена не лише фізичною наявністю супутника в межах прямої видимості, а й складним поєднанням факторів, серед яких ключову роль відіграє перебування наземного термінала в межах конкретної діаграми спрямованості променя та юстування антени. В умовах реальної експлуатації виникає потреба у засобах швидкої діагностики параметрів наведення та верифікації енергетичного ресурсу супутника, виходячи з локальних координат користувача та технічних обмежень обладнання. Наразі спостерігається дефіцит програмного забезпечення, яке здатне інтегрувати обчислення кутів наведення з аналізом територіального покриття beam-зон, що робить розробку комплексного цифрового рішення пріоритетним завданням.

Запропонований програмний комплекс орієнтований на здійснення багатofакторного аналізу доступності GEO-апаратів, базуючись на вхідних даних про місцезоположення користувача та специфікації антенних систем. В основу розрахункового модуля покладено математичне моделювання просторових зв'язків між космічним апаратом та наземною станцією, що гарантує високу точність при визначенні азимутальних координат та кута піднесення. Прикладна значущість розробки охоплює широке коло завдань, зокрема здійснення миттєвого моніторингу супутникової ємності в умовах динамічної зміни обстановки.

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ FPV-ДРОНОМ ЗА УМОВ СТИБКОВОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ

О.П. Чорний¹, д.т.н., проф.; С.Г. Буряковський², д.т.н., проф.;
Ю.В. Зачепа¹, к.т.н., доц.

¹Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського;

²Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут “Молнія”
Харківського національного університету
“Харківський політехнічний інститут”

Робота присвячена досліджено оптимізацію ПІД-регулятора в системі керування БПЛА за умов стрибкової зміни параметрів при скиданні вантажу. Актуальність зумовлена тим, що різка зміна масо-інерційних характеристик погіршує динаміку, спричиняє перерегулювання та загрожує стійкості.

Мета роботи – розробка методики синтезу регулятора для забезпечення якості перехідного процесу при переході між режимами “до” та “після” скидання вантажу. Використано нормалізовану модель типу “маса–демпфер–пружина”. Запропоновано гібридну методику: аналітичний синтез ПІД для номінальних умов шляхом співставлення характеристичних поліномів та чисельна оптимізація параметрів для режиму після зміни параметрів.

Оптимізація виконана методом Нелдера–Міда з багатокритеріальним функціоналом. Результати моделювання показали: збереження початкових параметрів ПІД після зміни динаміки призводить до перерегулювання 4,85 % та просідання 0,128 %. Аналітична перенастройка покращує динаміку, проте лише чисельна оптимізація з урахуванням початкових умов стану інтегратора забезпечує мінімальне відхилення. Оптимізований регулятор зменшив перерегулювання до 0,005 % та просідання до 0,0026 %.

Даний підхід підвищує безпеку та точність польоту БПЛА. Розроблений метод придатний для реалізації на бортовій електроніці.

РІВНІ (НЕ)ГОТОВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ РОЗРОБОК У ПРОГРАМІ ЗМІЦНЕННЯ ОБОРОНОЗДАТНОСТІ BRAVE1

В.Ю. Тимчук¹, к.т.н., с.н.с.; О.О. Перегуда², к.т.н., с.н.с.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Експертне оцінювання (ЕО) матеріалів заявок в програмі кластеру BRAVE1 на розробку систем, комплексів, зразків (СКЗ) озброєння та військової техніки (ОВТ) є додатковим завданням для посадових осіб уповноважених суб'єктів Збройних Сил України (ЗСУ). В тезах (Богуцький та Тимчук, у цій збірці) названо причини невідповідності заявок вимогам потенційного замовника. Однією з причин є вживання плутаних термінів, серед яких зустрічається “рівень готовності розробки – TRLS”.

Як відомо, Technology Readiness Levels є підходом NASA щодо розробки технологій спеціального (космічного застосування), який містить 9 рівнів – від ідеї TRL1 до підтвердження ефективності в місії TRL9. У проєктуванні радіоелектронних систем цей підхід не є широко поширеним. В Україні не існує системи приведення у відповідності державних стандартів та інших нормативно-правових документів, якими керуються розробники ОВТ, з іноземними підходами R&D на кшталт використаного TRL чи наприклад

System Engineering. Зазначений факт ускладнює експертизу заявок, у яких відповідність розробок відрізняється від чинних ДСТУ та сукупності оперативного-тактичних вимог і загальних вимог до зразків ОБТ.

Постановою Кабінету Міністрів України від 8 березня 2024 р. № 262 (зі змінами) “Деякі питання забезпечення розвитку інновацій та технологій для потреб оборони” визначено такі рівні готовності: у разі розробок для забезпечення розвитку інновацій та технологій для потреб оборони – прототип, дослідний зразок, готовий виріб; у разі забезпечення розвитку інноваційних технологій виробництва продукції розробки для потреб оборони (у т. ч. розробки засобів виробництва та продукції) – прототип, дослідний зразок, лінія виробництва, інший засіб виробництва.

ІНТЕГРАЦІЯ SDD-MОДУЛЯ У АРХІТЕКТУРУ ONBOARD-AI ЯК ЗАСІБ ЦІЛІСНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ

Г.В. Лунькова, к.т.н., доц.; Б.В. Білокопитов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Мета роботи полягає в обґрунтуванні архітектурної схеми інтеграції SDD-модуля у структуру onboard-AI автономної платформи та визначенні його ролі у забезпеченні цілісності процесу прийняття рішень і адаптації до змін навколишнього середовища, як продовження розробки концептуальної моделі onboard-AI модуля прийняття рішень, створеного відповідно до принципів Specification-Driven Development (SDD), з метою підвищення ефективності автономних систем підтримки прийняття рішень у режимі реального часу.

Запропонована структура onboard-AI передбачає ієрархічну організацію з виділенням таких функціональних рівнів та може бути використана при розробці автономних платформ військового та спеціального призначення:

1. Рівень прийняття та оцінки стану, що формує узагальнену модель середовища та власного стану платформи на основі сенсорних даних.

2. SDD-рівень прийняття рішень, який включає:

3. модуль Planner, що генерує кандидати планів дій на основі поточного стану та специфікацій;

4. модуль Validator, що здійснює формальну перевірку планів на відповідність вимогам безпеки та місії.

5. Рівень виконання, відповідальний за трансляцію затвердженого плану у команди низькорівневого керування.

6. Контур зворотного зв'язку, який накопичує результати виконання та використовується для адаптації специфікацій або параметрів планування.

АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

О.В. Білаш, к.е.н., доц.; Л.Д. Величко, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Ефективність переміщення військової техніки стає критичним чинником успіху операції. Невдало обраний маршрут може призвести до втрат особового складу й техніки, затримки виконання бойового завдання або логістичного забезпечення. Водночас оптимально спланований маршрут забезпечує мінімізацію часу руху, зниження ризику ураження та раціональне використання ресурсів.

Задача оптимізації маршруту може бути формалізована як задача пошуку найкращого шляху. У військових умовах до критеріїв оптимальності додаються: рівень вогневого ураження; імовірність виявлення противником; стан дорожнього покриття та рельєф; наявність мінної небезпеки; радіоелектронна обстановка. Окрім того, у цих умовах часто виникає необхідність одночасної оптимізації за кількома параметрами: мінімальний час; мінімальний ризик; мінімальні витрати пального; максимальна скритність. Багатокритеріальна модель дозволяє знаходити компромісні рішення залежно від пріоритетів операції.

У реальних бойових умовах обстановка змінюється постійно. Тому алгоритми повинні підтримувати: оперативну перебудову маршруту; врахування нових розвідувальних даних; зміну погодних умов; появу нових загроз. Для цього застосовуються алгоритми реального часу та системи підтримки прийняття рішень, що інтегруються з автоматизованими системами управління військами.

Отже, алгоритми оптимізації маршрутів військової техніки є важливим інструментом сучасної військової логістики та управління бойовими діями. Їх застосування дозволяє мінімізувати ризики, скоротити час виконання завдань і підвищити ефективність використання ресурсів.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БОЙОВИХ ОПЕРАЦІЙ

О.В. Білаш, к.е.н., доц.; М.І. Войтович, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Командири різних рівнів стикаються з необхідністю швидкого прийняття рішень в умовах невизначеності, інформаційного перевантаження та активної протидії противника. У таких умовах зростає значення математичних і комп'ютерних методів аналізу бойових процесів. Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати складні бойові сценарії у контрольованому середовищі, аналізувати можливі варіанти розвитку подій та оцінювати ефективність управлінських рішень без ризику для особового складу й техніки.

Імітаційне моделювання – це метод дослідження складних систем шляхом створення їх комп'ютерної моделі з подальшим відтворенням процесів функціонування у часі. Бойова операція як об'єкт моделювання характеризується: багатокomпонентністю; стохастичністю; нелінійністю процесів; взаємодією різномірних підсистем. Модель повинна враховувати як фізичні параметри, так і інформаційно-психологічні фактори.

Імітаційні моделі дозволяють: оцінити ефективність різних варіантів бойових дій; визначити оптимальну структуру угруповання сил; прогнозувати втрати та витрати ресурсів; аналізувати ризики; перевіряти стійкість системи управління. У системі військової освіти імітаційне моделювання сприяє: розвитку критичного та системного мислення; формуванню навичок прийняття рішень; відпрацюванню взаємодії підрозділів; підвищенню стійкості до стресових умов. Використання віртуальних тренажерів та симуляційних платформ дозволяє максимально наблизити навчання до реальних бойових умов. Отже, імітаційне моделювання бойових операцій є потужним інструментом сучасної військової науки та освіти, який забезпечує можливість комплексного аналізу бойових процесів.

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАГРОЗ У ГІБРИДНІЙ ВІЙНІ

О.В. Білаш, к.е.н., доц.; М.І. Сорокатиї, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Інформаційні загрози можуть проявлятися у формі дезінформації, маніпуляцій громадською думкою, кібератак, дискредитації військового керівництва, деморалізації особового складу та підризу довіри до інституцій. У таких умовах особливої актуальності набуває моделювання інформаційних загроз як інструмент прогнозування, виявлення та нейтралізації інформаційно-психологічних операцій.

Інформаційна загроза – це сукупність деструктивних інформаційних впливів, спрямованих на зміну поведінки, переконань або рішень об'єкта впливу. Основні характеристики інформаційних загроз: маскувannya під достовірні джерела; швидке поширення через цифрові мережі; використання емоційних тригерів; синхронізація з військовими або політичними подіями; багаторівневий характер впливу.

Моделі інформаційних загроз можуть бути інтегровані в: центри стратегічних комунікацій; системи кіберзахисту; автоматизовані системи управління; програми психологічної підготовки особового складу. Інформаційні операції спрямовані на: деморалізацію військовослужбовців; дискредитацію військово-політичного керівництва; створення панічних настроїв; маніпуляцію міжнародною громадською думкою. Моделювання таких загроз дозволяє підвищити ефективність протидії та забезпечити інформаційну стійкість держави.

Отже, моделювання інформаційних загроз є важливим інструментом забезпечення національної безпеки в умовах гібридної війни. Воно дозволяє прогнозувати динаміку інформаційних впливів, визначати їх джерела та оцінювати можливі наслідки. Розвиток таких систем сприятиме підвищенню інформаційної стійкості держави.

УДОСКОНАЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ АРТИЛЕРІЇ

С.В. Давіденко, к.т.н., доц.; О.Д. Пацетник, к.т.н., ст.д.;

Я.Г. Засць, к.т.н., ст.д.

*Науковий центр Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ
ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Артилерія залишається одним із головних засобів вогневого ураження (ВУ), ефективність якої визначається не лише технічними характеристиками озброєння, але й рівнем організації управління вогнем. У сучасних умовах бойових дій, коли швидкість прийняття рішень та економія ресурсів мають вирішальне значення, особливу увагу слід приділяти розвитку комплексів автоматизованого управління вогнем (КАУВ).

Удосконалення спеціального програмного забезпечення (СПЗ) має бути спрямоване на створення інтерактивних систем, що пропонують кілька обґрунтованих варіантів вирішення задач управління вогнем, що дозволить підвищити ефективність застосування артилерії та оптимізувати витрати

боєприпасів і часу. Критеріями ефективності мають бути не лише нанесене противнику ВУ, але й час виконання задачі та її вартість.

Кожна ціль противника має різний рівень важливості для загальновійськових підрозділів. Найбільш небезпечними є артилерійські батареї, танки, протитанкові комплекси, засоби ядерного нападу, а також спостережні пункти. Диференціація цілей за ступенем важливості дозволяє командирам швидко визначати пріоритети ураження та планувати подальші дії.

Для автоматизації вибору оптимального способу обстрілу пропонується застосування методів статистичного моделювання. Вони дозволяють визначати ймовірність ураження цілі при заданій витраті боєприпасів та забезпечують обґрунтованість прийнятих рішень.

Таким чином, удосконалення СПЗ КАУВ з використанням запропонованих алгоритмів забезпечить командирам можливість приймати більш обґрунтовані рішення, враховуючи як бойову, так і економічну складову ефективності.

ІНТЕГРОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ОСНОВА ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ОПЕРАТИВНИХ РІШЕНЬ

А.Б. Бондарук, к.т.н.; О.О. Барзак

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Взаємозв'язок геоінформаційних систем (ГІС) та імітаційного моделювання (ІМ) у Збройних Силах України (ЗСУ) визначається як інтегрована інформаційно-технологічна основа для підтримки прийняття оперативних рішень. ГІС надає просторову основу (цифрові карти та дані про рельєф), а ІМ використовує ці дані для відтворення сценаріїв бойових дій. Ця синергія дозволяє створювати високоточне цифрове поле бою, де геопросторові дані ГІС виступають фундаментом для створення динамічних сценаріїв ІМ.

Основні аспекти взаємозв'язку ГІС та ІМ – функціональна конвергенція, інформаційна підтримка управління, оптимізація ресурсів та перспективна інтеграція. Такий взаємозв'язок забезпечує можливість моделювання з урахуванням реальних перешкод, прохідності ґрунтів та зон видимості, автоматизацію розрахунків маршрутів для логістики та зон ураження артилерії, використання тренажерів і віртуальних моделей замість реальних пусків та маневрів.

Однією із центральних ланок інтеграції ГІС в ЗСУ є система ІМ “JCATS”. ГІС-інструменти (наприклад, ArcGIS) готують цифрові карти та 3D-моделі рельєфу, які імпортуються в “JCATS”. Це дозволяє системі враховувати вплив мікрорельєфу, рослинності та забудови на видимість і швидкість руху підрозділів, тобто відбувається створення геопросторової основи. “JCATS”, на базі Центрів імітаційного моделювання ЗСУ, використовує ці дані для розрахунку ймовірності ураження цілей, витрати боєприпасів та логістичних потреб (динамічне моделювання). Це дозволяє штабам відпрацьовувати операції без залучення реальних військ на полігонах. Результати моделювання експортуються назад у військові ГІС (наприклад, систему “DELTA”) для візуалізації варіантів рішень командуванню, тим самим забезпечуючи зворотний зв'язок.

ДОСВІД ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАПИТІВ НА ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗАЯВОК У ПРОГРАМАХ BRAVE1

С.М. Богущкий; В.Ю. Тимчук, к.т.н., с.н.с.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

В умовах тривання національного спротиву на посадовців Збройних Сил України (ЗСУ) покладено додаткове завдання щодо експертного оцінювання (ЕО) заявок в кластері BRAVE1 на розробку систем, комплексів, зразків (СКЗ) озброєння та військової техніки (ОВТ) від суб'єктів господарської діяльності (СГД). Під цю програму закладено “спрощені” підходи (в “інноваційних” Постановках КМУ періоду воєнного стану), які відрізняються від законодавчих процедур розробки ОВТ, тож у ЗСУ посадовцям доручено для ЕО користуватися Методикою оцінювання науково-технічного рівня перспективного проєкту зі створення СКЗ ОВТ 2022 року. В розрізі вимог цієї методики велика частка заявок їм, вимогам, не відповідає.

Основні причини: а) нерозуміння (незнання) СГД вимог (загальних, оперативно-тактичних) потенційного замовника СКЗ ОВТ; б) невідповідність СГД вимогам до розробників ОВТ (відсутність ліцензії (дозволу) на заявлену діяльність, конструкторського бюро, кваліфікованого персоналу, виробничих потужностей, режимних рішень, сертифікованих підходів щодо рішень про застосування сторонніх компонентів (елементної бази) і програмного забезпечення тощо); в) відсутність в прототипі авторських концептуальних і проєктних рішень та/або технологій, що робить його унікальним на ринку; г) некоректне порівнювання з конкурентами (завичай СГД вдаються до SWOT-аналізу (рідко застосовується у розробці ОВТ), визначаючи основною перевагою своїх інновацій ціновий показник одиниці, без опису методики як отримано цю “собівартість”); вживання плутаних термінів (альфа-прототип, рівні готовності TRL1–TRL9; проведення напівпольових випробувань у середовищах, максимально наближених до реальних умов застосування).

Такі заявки сприяють хаотизації рішень на стійкість оборони.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРЗАХИСТУ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УМОВАХ ВІЙНИ

С.А. Радзіковський; О.О. Барзак; А.Б. Бондарук, к.т.н.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Процес забезпечення надійного кіберзахисту військових об'єктів інформаційної діяльності (ОІД) передбачає, з одного боку, добування відомостей та інформації, що циркулює в інформаційних системах і комп'ютерних мережах, а з іншого боку, виявлення, вивчення та систематизація небезпечних джерел кіберзагроз, що вимагає використання абсолютно нових технологій і технічних прийомів.

До найбільш важливих ОІД, враховуючи ступінь ефективності управління військами та зброєю завдяки локальним і глобальним інформаційно-комунікаційним системам (ІКС), слід віднести: системи автоматизації, автоматизовані системи управління, комплекси оперативного управління силами та засобами (пункти управління, вузли зв'язку, засоби спостереження та навігації тощо), системи управління зброєю. Крім того, інтенсивно розвиваються, впроваджуються та застосовуються технічні системи (засоби)

розвідки, робототехнічні (безпілотні, безекіпажні) системи (комплекси) так званого “мультидоменного” базування.

В умовах ведення активних бойових дій значна кількість критичних ОІД – сукупність різноманітних за функціями та призначенням середовищ електронних інформаційних ресурсів або базові елементи формування кіберпростору – піддаються ворожим ударам, по-перше, із застосуванням традиційної (конвенційної) зброї, а по-друге, шляхом здійснення кібератак як у цифровій формі, так і шляхом застосування енергії в електромагнітному або звуковому спектрі. Отже, такі ОІД Збройних Сил України повинні мати як захист від руйнівного механічного впливу, так і захист від безпосереднього проникнення до їхніх наявних ІКС через електротехнічні та акустичні канали доступу.

ПЕРЕВАГИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ВІЙСЬКОВИМИ СИСТЕМАМИ

Л.М. Андреева

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Ефективність управління військовими системами залежить від швидкого обміну даними, їхньої обробки та можливості оцінювати оперативну обстановку у режимі реального часу. Автоматизовані системи управління та контролю дозволяють мінімізувати часовий розрив між отриманням даних і прийняттям управлінського рішення.

Практичними прикладами є сучасні автоматизовані системи управління військами в Збройних Силах України, такі як АС Центру оперативного управління “Дзвін-АС”, АС бойового управління “Ореанда ПС” та АС тактичної ланки “Простір”, що сприяють оперативному відображенню положення підрозділів і координації їхніх дій. Іншим прикладом є українська система ситуаційної обізнаності “Delta”, яка інтегрує дані з розвідки, БпЛА, радарних комплексів та інших джерел для формування загальної картини поля бою й оптимізації планування операцій у реальному часі.

Інформаційні технології також включають автоматизовані рішення для логістичного забезпечення, планування ресурсів і моделювання сценаріїв бою, що дозволяють оцінювати ризики та вибирати оптимальні варіанти дій. Впровадження таких систем сприяє узгодженню управлінських рішень на стратегічному, оперативному та тактичному рівнях, а також підвищує готовність і гнучкість військового управління.

Отже, інтеграція інформаційних та автоматизованих технологій управління в Збройні сили створює передумови для підвищення ефективності прийняття рішень, зменшення часу реакції на зміни обстановки та оптимізації використання ресурсів у складних умовах сучасних воєнних операцій.

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

В.Й. Залевський; О.Л. Сидорчук, к.т.н., доц.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Повномасштабна агресія російської федерації проти України стала каталізатором глобальних змін у воєнній доктрині, зокрема в протиповітряній обороні (ППО). Останніми роками відбувається перехід від класичного

протиборства “літак – ракета” до концепції масованих, комбінованих, мережецентричних операцій із застосуванням систем безпілотних літальних апаратів (БпЛА). Протистояння у небі перейшло у війну технологій, алгоритмів та економічних моделей, де вартість засобу ураження має бути співмірною із вартістю цілі.

У доповіді проаналізовано, що Україна почала реалізовувати комплексний підхід, що передбачає побудову ешелонованого захисту та мережецентричності. Такий підхід передбачає: об’єднання всіх сенсорів виявлення БпЛА (від радарів до акустичних датчиків) в єдину цифрову екосистему ситуаційної обізнаності; інтелектуалізацію (впровадження штучного інтелекту) та створення окремих управлінських структур (Командування безпілотних систем ППО).

У доповіді розглядається проблема своєчасного виявлення загроз різних типів ударних БпЛА шляхом комплексування різних систем виявлення (радіолокаційного, радіотехнічного та акустичного метода). Як результат – було проаналізовано можливості інтеграції конкретних протоколів передачі інформації в наявні цифрові платформи. Це дозволить повністю виключити часові затримки, які раніше були неминучими під час опрацювання повітряних цілей в ручному режимі та перетворить звичайний потік сигналів на чіткий алгоритм дій для систем ППО або інших засобів ураження.

Перехід від простої автоматизації до впровадження інтелектуальних систем розвідки та спостереження дозволить не лише ідентифікувати об’єкти, а й прогнозувати поведінку повітряних цілей у реальному часі. Отже буде реалізовано концепцію випередження управління, де цифрові асистенти залишаються повноцінними учасниками процесу прийняття складних тактичних рішень у багатодомених операціях.

НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Л.М. Андрєєва

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасні БпЛА обладнуються сенсорними системами, камерами високої роздільної здатності та каналами зв’язку, що забезпечує збір великого обсягу даних. Інтеграція ШІ дозволяє автоматично обробляти інформацію, розпізнавати об’єкти, оцінювати загрози та приймати рішення без постійного втручання оператора. Це підвищує ефективність виконання завдань у динамічному бойовому середовищі та зменшує навантаження на персонал.

Разом із тим застосування ШІ у БпЛА має ряд суттєвих обмежень:

Надійність алгоритмів – автономні системи можуть помилятися у розпізнаванні об’єктів або оцінці ситуації, особливо в умовах обмеженої або спотвореної інформації.

Кіберризика – підвищується вразливість до хакерських атак, перехоплення даних або навмисного введення дезінформації, що може призвести до неконтрольованих дій апаратів.

Етичні та правові питання – автономні системи приймають рішення щодо ураження цілей без прямої участі людини, що створює ризики неправомірного застосування сили.

Залежність від технологічної інфраструктури – робота ШІ потребує стабільного зв'язку, енергопостачання та сумісності з іншими системами, що обмежує автономність у складних умовах.

Штучний інтелект у БПЛА забезпечує підвищення автономності, точності та оперативності виконання завдань, сприяє оптимізації ресурсів і підвищенню бойової ефективності. Водночас застосування ШІ супроводжується ризиками, пов'язаними з надійністю алгоритмів, кіберзагрозами, етичними проблемами та залежністю від технологічної інфраструктури. Комплексний підхід до розробки, впровадження та контролю автономних систем є необхідною умовою безпечного і ефективного використання БПЛА у військовій сфері.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ В ЗОНІ БОЙОВИХ ДІЙ

С.М. Жук, к.військ.н.; О.С. Євсєєв

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасні бойові дії характеризуються високою інтенсивністю, багатовимірністю операційного простору та стрімкою зміною обстановки.

Мета дослідження – визначити роль інформаційних та автоматизованих технологій у системі управління військами в зоні бойових дій та окреслити основні напрями їх удосконалення з урахуванням сучасного досвіду збройної боротьби.

Інформаційні технології управління військами охоплюють системи збору, обробки, зберігання та передачі даних, що забезпечують формування єдиної картини бойової обстановки. Їх основу становлять автоматизовані системи управління (АСУ), цифрові платформи ситуаційної обізнаності, засоби супутникового та радіотехнічного зв'язку, безпілотні розвідувальні комплекси та інструменти аналітичної обробки інформації.

У зоні бойових дій ключовим завданням є скорочення циклу управління – від виявлення противника до його ураження. Сучасні розвідувальні засоби, зокрема безпілотні літальні апарати та сенсорні системи, забезпечують оперативне отримання даних про переміщення та дії противника. Інтеграція цих даних в автоматизовані системи дозволяє командирам у реальному часі оцінювати ситуацію, коригувати плани та здійснювати цілевказування.

Подальший розвиток цих технологій має здійснюватися комплексно – шляхом модернізації технічної бази, удосконалення систем кіберзахисту та формування нової управлінської культури, орієнтованої на цифрову інтеграцію та адаптивність.

ЩОДО АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ У СУЧАСНІЙ ВІЙНІ

Ю.О. Михайлюк, д.філос.; В.Я. Катран

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Досвід сучасних збройних конфліктів засвідчує, що швидкість обробки інформації та оперативність прийняття рішень стають визначальними чинниками успіху на полі бою.

Мета дослідження полягає у визначенні ролі та основних напрямів розвитку автоматизованих технологій управління військами в умовах сучасної війни, а також обґрунтуванні їх значення для підвищення ефективності бойових дій.

Автоматизовані технології управління військами являють собою сукупність програмно-апаратних комплексів, інформаційних систем та цифрових платформ, що забезпечують збір, обробку, передачу та аналіз даних у реальному часі. Їх впровадження трансформує традиційну ієрархічну модель управління у мережево-центричну, де ключовим ресурсом стає інформація.

Однією з базових складових автоматизації є створення автоматизованих систем управління (АСУ), які інтегрують розвідувальні дані, інформацію про стан підрозділів, логістичне забезпечення та результати вогневого ураження.

Разом з тим втілення автоматизованих технологій породжує нові виклики. Ворог активно застосовує кібератаки, засоби радіоелектронної боротьби та інформаційні диверсії з метою порушення функціонування систем управління. Тому ключовою вимогою до автоматизованих систем є їх стійкість, захищеність та здатність працювати в умовах часткової втрати зв'язку.

Автоматизовані технології управління військами є ключовим елементом сучасної війни, що визначає здатність держави забезпечити оперативну перевагу та мінімізувати втрати.

METHODOLOGICAL RISKS OF IMPLEMENTING AN INFORMATION SYSTEM FOR MANAGING SCIENTIFIC AND SCIENTIFIC-TECHNICAL ACTIVITIES IN THE SECURITY AND DEFENSE SECTOR

*O. Perehuda, Ph.D., Senior Researcher; O. Cherkes
Korolov Zhytomyr Military Institute*

In wartime conditions, the implementation of a unified information system (hereinafter – IS) for managing scientific and scientific-technical activities (hereinafter – STA) occurs in conditions of methodological uncertainty and fragmentation. On the one hand, digitalization is declared as a tool for increasing transparency, operational efficiency, and coordination of defense planning. On the other hand, the absence of criteria for evaluating the impact of scientific and technical products (hereinafter – STP) on the development of capabilities creates a risk of substituting substantive analytics with procedural automation. Without the creation of a unified regulatory framework (methodologies, regulations, instructions), the IS may remain merely a technical tool without real integration of management processes.

The absence of standardized data exchange protocols between the Ministry of Defense of Ukraine, the General Staff, defense-industrial complex enterprises, and private manufacturers creates risks of data format incompatibility, duplication of developments, information chain breaks, and delays in the implementation of STP in the military. However, excessive regulation of procedures may limit the adaptability of the IS in conditions of rapid changes in the operational situation.

The effectiveness of the IS depends on the quality (reliability) of the primary information, which may be duplicated in electronic form, increasing the number of reporting forms and creating additional administrative burdens. In this case, the STA IS may perform a control function rather than just managing the development of capabilities.

FULLY CLOSED CONTROL CHANNELS

*V. Solovey; O. Budzinska
Korolov Zhytomyr Military Institute*

Relevance. In modern conditions of confrontation in the airspace, a key challenge is the protection of control systems from enemy technical intelligence. Traditional cryptographic models based on keys, passwords, and digital fingerprints remain vulnerable to attacks involving the compromise of identifiers and metadata analysis. Reliable encryption of message content does not conceal the fact of transmitting control commands, their volume, or direction – all of which remain observable.

New Paradigm. The proposed technology InvisComm implements coordinate cryptography – a model in which authentication, integrity, and confidentiality are inherent properties of the cipher code itself. The system does not use keys or passwords, does not generate digital fingerprints, and does not produce metadata that could be exploited for traffic analysis. This enables the formation of metadata-neutral closed communication channels in which the transmission of control commands cannot be interpreted as an informative signal.

Practical Significance.

For military organizational and technical systems in the airspace, InvisComm provides: concealment of control – the adversary cannot determine the fact or direction of command transmission; ontological impossibility of key and password attacks – there is no object of compromise; resilience against technical intelligence – channels contain no features that allow identification of participants or the structure of control; non-Markovian state evolution – the system does not reproduce communication history, making retrospective analysis impossible.

Conclusion.

The InvisComm control system opens the way to fundamentally new models of managing military organizational and technical complexes, where security is not a consequence of computational hardness but arises from the structure of the model itself.

МОДЕЛЬ ЗАХИЩЕНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВПРОВАДЖЕННЯМ БОЙОВОГО ДОСВІДУ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ МЕРЕЖ

*Р.І. Гладич
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Ефективність функціонування сучасних систем управління військами безпосередньо пов'язана зі здатністю швидко опрацьовувати та впроваджувати актуальний бойовий досвід. Водночас значна частина таких даних має гриф обмеження доступу (ДСК), що суттєво стримує їх використання у цифровому середовищі та ускладнює інтеграцію з іншими ресурсами. Ізоляція інформаційних потоків уповільнює обмін знаннями, а робота у відкритих мережах без відповідних архітектурних рішень створює загрози безпеці.

Для вирішення цього протиріччя доцільно розглянути архітектуру, що базується на розподілі інформаційних контурів із різними режимами обробки

даних. У межах захищеного сегмента здійснюється накопичення та глибокий аналіз повних матеріалів, тоді як для відкритого доступу готуються узагальнені та деперсоналізовані продукти. Взаємодія між цими середовищами реалізується через систему контрольованих шлюзів, які забезпечують фільтрацію змісту, перевірку цілісності та криптографічний захист.

Реалізація політики доступу при цьому спирається на гнучке поєднання рольової та атрибутної моделей із застосуванням багаторівневої автентифікації та повного журналювання операцій. Чітка формалізація того, як первинні дані трансформуються у стандартизовані звіти, відкриває шлях до їх безпечного поширення мережею Інтернет.

Такий підхід дозволяє досягти балансу між суворими вимогами безпеки та потребою у максимально оперативному доведенні бойового досвіду до кінцевих споживачів.

ADVANTAGES AND CHALLENGES OF IMPLEMENTING THE LINUX OPERATING SYSTEM WITHIN THE UKRAINIAN DEFENSE FORCES UNITS

*D. Zubelevych; M. Olshanskyi
Korolov Zhytomyr Military Institute*

The cyber domain has become a full-fledged sphere of confrontation in modern warfare, that's why the selection of the operating system to be used by the Defense Forces of Ukraine directly affects the overall resilience of the defense infrastructure.

Scaling up of implementation and usage of the open-source Linux operating system (hereinafter – Linux OS) has numerous advantages but also creates numerous organizational challenges at the same time.

The Linux OS has characteristic features that make its usage in the defense sector highly advisable. Open-source code provides the ability to perform deep security audit and even to create your own distribution to make the system suitable for military use by creating a minimalistic distribution with enhanced security policies. Advanced access delimitation mechanisms of the Linux OS increase cyber resilience.

The flexibility of the Linux OS allows the creation and deployment of various configurations like server platforms, end-user workstations etc.. Cost optimization is also a significant benefit due to the freedom from licensing constraints and the ability to utilize existing hardware.

At the same time, considering the potential challenges, the organization of the Linux OS implementation process requires systematic approach. The appropriate personnel training (both administration and end users), creation and maintenance of controlled software repositories and ensuring compatibility with existing technical assets are also the necessary conditions.

As a result, the integration of Linux OS into the digital infrastructure of the Defense Forces of Ukraine can be considered as one of the ways to enhance the cyber resilience of the defense sector, in case the full and adequate needed organizational, personnel, and regulatory support is provided.

ПРОБЛЕМИ МУЛЬТИФРАГМЕНТАРНОГО ВІЗУАЛЬНО-ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ ПРИ ЛАБОРАТОРНИХ ВИПРОБУВАННЯХ

*Я.В. Тарасенко¹, д.т.н., доц.; О.М. Грічанюк², к.т.н.;
С.В. Орлов¹, к.т.н., с.н.с.; О.В. Червотока¹*

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Одним із пріоритетних напрямів еволюції складних радіотехнічних систем є розвиток методів неруйнівного контролю якості друківаних плат із застосуванням візуально-оптичних засобів. Водночас реалізація такого контролю істотно ускладнюється конструктивно-технологічними особливостями сучасних друківаних плат. Зростання щільності компоновання радіоелектронних елементів за одночасного зменшення їхніх габаритів підвищує вимоги до просторової та контрастної роздільної здатності зображень і, відповідно, ускладнює процедури дослідження візуально-оптичних характеристик. Додатково, безперервне нарощування обсягів виробництва, підвищення варіативності конструктивних виконань і стійка тенденція до мініатюризації зумовлюють зростання актуальності вдосконалення технологій і регламентів контролю якості друківаних плат.

У доповіді апробується метод дослідження візуально-оптичних властивостей друківаних плат, що базується на інтелектуальному мультифрагментарному аналізі зображень із паралельною обробкою окремих фрагментів. Методологія враховує специфіку лабораторних випробувань і супровідні умови, характерні для отримання та інтерпретації зображень у лабораторному середовищі. Запропонований підхід доцільно застосовувати для масштабування наявних автоматизованих засобів візуально-оптичного контролю з перспективою їх подальшої інтеграції до загальної архітектури автоматизованих систем лабораторних випробувань.

ССО ТА СЕТ-ШИФРУВАННЯ В МЕХАНІЗОВАНИХ ПІДРОЗДІЛАХ, ОСНАЩЕНИХ БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

*О.М. Чередніков, к.т.н., доц.; П.П. Кульба; Г.М. Гапоненко, к.пед.н.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Системи ситуаційної обізнаності (ССО) у поєднанні з сучасними криптологічними методами та засобами комп'ютерної інженерії (СЕТ-шифрування) є складовою забезпечення ефективного управління, інформаційної безпеки та стійкості бойових підрозділів у ході сучасних збройних конфліктів.

Активне застосування безпілотних літальних комплексів у механізованих підрозділах обумовлює об'єктивну необхідність впровадження СЕТ-шифрування як базового механізму захисту каналів управління, телеметрії та розвідувальної інформації від перехоплення, підміни та деструктивного кібернетичного впливу.

Актуальність дослідження визначається сучасними викликами збройної боротьби, високою динамікою бойової обстановки та зростаючими загрозами

радіоелектронного і кібернетичного впливу. В умовах мережецентричних операцій СЕТ-шифрування розглядається як критично важливий елемент забезпечення безперервності управління та достовірності інформації в єдиному інформаційному просторі механізованих підрозділів, оснащених безпілотними літальними комплексами.

Результатами роботи є аналіз основ тактики дій механізованого взводу в обороні, а також формування пропозицій щодо інженерної та інформаційної підтримки підрозділів безпілотних літальних комплексів з урахуванням їх бойового потенціалу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання під час створення та розвитку механізованих підрозділів Збройних Сил України, а також у контексті поглиблення взаємодії з міжнародними партнерами з питань стандартизації та захищених мереж управління безпілотними літальними комплексами.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ КАРТ ПАМ'ЯТІ (MIND MAPS) У ПРОЦЕСИ УПРАВЛІННЯ ТА КОМУНІКАЦІЇ ПІДРОЗДІЛІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В.В. Коваль, к.т.н., доц.; І.Г. Ячна

*Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння
та військової техніки*

Досвід бойових дій 2023–2025 рр. вказує на критичну потребу в прискоренні обробки інформації. Традиційні текстові документи та розпорядження в умовах високодинамічної війни програють візуалізованим алгоритмам. Пропонується впровадити досвід використання ментальних карт (Mind Maps) як базового інструменту оперативного планування.

Використання карт для покращення комунікації та військового управління дає: розбиття багатокомпонентних операцій на прості логічні кроки; покращення швидкості сприйняття візуальної інформації в порівнянні з текстовою; створення єдиного комунікаційного простору між командирами різних рівнів та виконавцями задач.

Запропоновано використовувати три основні архітектури побудови карт для різних рівнів управління:

- для стратегічного планування та визначення загальних завдань підрозділу – радіальна;
- для управління процесу розподілу сил і засобів – деревоподібна;
- для відображення послідовності дій підрозділу згідно завдань – блок-схема.

При формуванні єдиного інформаційного простору пропонується використовувати принцип “каскадної деталізації”: при вищому рівні управління карта фокусується на стратегічних зв'язках, при нижчому – на конкретних алгоритмах дій.

Для роботи в штабах та в польових умовах (на планшетах) рекомендується використання спеціалізованого ПЗ, що підтримує автономний режим: XMind / Mindomo (для створення детальних схем з можливістю експорту в PDF/JPG для друку); MindMeister (для спільної дистанційної роботи відповідальних осіб, за умови наявності захищених каналів зв'язку).

Впровадження ментальних карт дозволяє перейти від “паперової” моделі управління до “когнітивної”. Це забезпечує випередження противника у швидкості прийняття рішень (цикл OODA), що є вирішальним фактором перемоги в сучасній війні.

НАПРЯМИ НАРОЩУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

О.М. Іценко, д.філос., ст.д.

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України

На сьогоднішній день в умовах ведення російсько-української війни актуальним завданням є підвищення ефективності системи управління (СУ) Збройними Силами (ЗС). Реалізація заходів розвитку ЗС та потреба забезпечення відповідності спроможностей СУ ЗС сучасним формам і способам застосування військ (сил) зумовлюють необхідність нарощування функціональності автоматизованих систем управління (АСУ).

За результатами аналізу існуючої нормативно-правової бази нарощування функціональності АСУ можливо здійснювати за п'ятьма напрямками:

перший – за рахунок відкриття дослідно-конструкторської роботи (ДКР) з модернізації виробу;

другий – за рахунок розроблення технічного завдання (ТЗ) на модернізацію без відкриття ДКР;

третій – за рахунок розроблення ТЗ на модернізацію програмного забезпечення без відкриття ДКР;

четвертий – за рахунок розроблення ТЗ на удосконалення спеціальної комп'ютерної програми без відкриття ДКР;

п'ятий – комбінований, нарощування функціональності за рахунок поєднання вище наведених напрямів.

Кожен з напрямів має свої особливості та в залежності від визначального критерію: наявності часу на виконання проєкту; максимізації функціональних можливостей; тощо може використовуватися на етапах серійного виробництва, експлуатації та впровадження.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПОДІЛУ ВОГНЕВИХ ЗАСОБІВ АРТИЛЕРІЇ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ ПРОТИВНИКА

І.В. Пасько, к.т.н., с.н.с.

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Незважаючи на значну кількість досліджень, на даний час питання щодо автоматизації процесу розв'язання задач розподілу вогневих засобів артилерії для ураження наземних цілей залишаються невирішеними. Тому виникає необхідність у розробленні методичних підходів до визначення показників, які доцільно використовувати під час цілерозподілу з врахуванням чинників високодинамічних бойових дій у сучасній російсько-українській війні.

Розподіл вогневих засобів артилерії для ураження наземних цілей залежить від багатьох властивостей та можливостей підрозділів артилерії, характеру

цілей і конкретних умов обстановки, отже визначення оптимального засобу ураження неможливе лише за одним показником. Саме тому під час автоматизації процесу розподілу вогневих засобів артилерії доцільно використовувати певну систему показників: узагальнений, який характеризує кінцевий результат вибору вогневого засобу для ураження конкретної цілі; часткові, які характеризують прогнозовану результативність їх застосування.

Як показали дослідження, частковими показниками можуть бути: можливість ураження цілі вогневим засобом, витрата боєприпасів, час та вартість виконання вогневого завдання.

У якості узагальненого показника доцільно використовувати такий показник, як рівень пріоритетності призначення вогневого засобу (комбінації вогневих засобів) для ураження цілі, величина значення якого вказує на перевагу вогневого засобу (комбінації вогневих засобів) порівняно з іншими за відношенням ефективність-вартість.

ЗАСТОСУВАННЯ ІСОІУ У СКЛАДІ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ВІЯВЛЕННЯ ТА ПРОТИДІЇ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТАМ

*В.В. Цісарж, к.т.н.; Т.В. Барінгольц; Д.В. Дьомін; А.Ю. Ейсмонт
Науково-дослідний інститут радіолокаційних систем “Квант-Радіолокація”*

У доповіді розглядається автоматизована інтегрована система обробки інформації та управління (ІСОІУ), яка в реальному часі вирішує задачі, пов'язані із забезпеченням збирання і обробки різнотипної (координатної, пеленгової) та різноточної інформації, що надходить від множини сенсорів виявлення та супроводження БпЛА (пеленгатори, РЛС, ОЕ) з різною періодичністю.

Вирішується задача ототожнення, об'єднання та створення узагальненої інформаційної моделі обстановки у зонах відповідальності системи. Інформація ІСОІУ використовуються для вироблення даних оповіщення, цілевказівки системам супроводу й протидії БпЛА та іншим інформаційно-аналітичним системам.

Розглядаються варіанти побудови ІСОІУ для вирішення задач моніторингу повітряного та надводного простору берегової лінії та моніторингу повітряного простору у районі важливих об'єктів інфраструктури.

ПІДХІД ДО РОЗРОБЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМПЛЕКСУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Н.М. Козир
Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії*

Основу програмної структури комплексу засобів автоматизації складає програмно-математичне забезпечення (ПМЗ). За функціональними ознаками в структурі ПМЗ виділяються системи, підсистеми і компоненти загального, загальносистемного і спеціального призначення. Основним призначенням

спеціального програмного забезпечення (СПЗ) є реалізація можливостей щодо вирішення інформаційних та розрахункових задач, а також здійснення моделювання бойових дій. Іншими словами, СПЗ забезпечує обробку інформації та включає програмні модулі інформаційних і розрахункових задач (ІРЗ).

У переважній більшості випадків ІРЗ поєднуються в комплекси інформаційних і розрахункових задач – сукупність окремих інформаційних і розрахункових задач, що описують взаємопов'язані процеси, системи, об'єкти.

Головне призначення ІРЗ (комплексу ІРЗ) – забезпечення підвищення обґрунтованості та оперативності прийняття рішень органами військового управління.

Розробка ІРЗ (комплексів ІРЗ) здійснюється з урахуванням структури системи управління, сутності процесів управління, що автоматизуються, складу та особливостей функцій управління, що виконуються.

Склад, побудова та порядок застосування комплексів інформаційних і розрахункових задач повинні відповідати складу, управлінським функціям і прийнятому порядку роботи відповідного органу управління і його посадових осіб.

СЕКЦІЯ 10

**РОЗВИТОК ОЗБРОЄННЯ, ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ТА СПОСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬК ПРОТИПОВІТРЯНОЇ
ОБОРОНИ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.
ПРОТИПОВІТРЯНА ОБОРОНА ВІЙСЬК В УМОВАХ
ПОВНОМАСШТАБНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ**

Керівники секції: полковник Шевчук С.В.;
к.т.н. доц. полковник Кадубенко С.В.
Секретар секції: к.т.н. доц. пр. ЗС України Піскунов С.М.

**COLLATERAL DAMAGE ESTIMATION
FOR DENSE URBAN AIR DEFENCE**

*S. Shevchuk¹; M. Serbinenko¹; V. Mehelbei², Candidate of Technical Sciences²;
A. Shevchenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
¹Air Defence Troops Command of the Land Forces Command
of the Ukrainian Army;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Reducing harm from the Russian Federation's aerial attacks on dense urban areas can be achieved by employing very/short-range air defence (VSHORAD). In urban settings, compliance with the Law of Armed Conflict (LOAC) requires an intercept-centric collateral damage estimation (CDE) because the dominant risk driver is often not “effects at an aimpoint”, but post-intercept hazards to assets. The proposed CDE is suitable for network-centric planning and real-time decision support and comprises the following components. Surface Danger Zone model computes the ground-hazard footprint, reflecting plausible impact areas for interceptor remnants and threat debris, and represents hazard severity across tiers (e.g., lethal fragment risk, debris nuisance, suspected explosive remnants). Intercept debris pattern analysis uses conservative distributions of debris dispersion and drift to generate a probabilistic debris footprint, which is updated as the intercept geometry evolves. Urban exposure overlay integrates evolving footprints with time-sensitive exposure layers, including time-varying population density, protected sites, and critical infrastructure, to support alerting and shelter status. Dual-outcome framing assesses hypotheses: that threat reaches its likely impact area and that engagement produces intercept-related hazards. This enables proportionality reasoning between averted harm and engagement risk to support defensible decision thresholds under time pressure. Mitigation catalogue contains pre-identified measures, such as engagement solutions that shift footprints away from protected areas, fire-safety and UXO actions, and coordination with warning systems. Finally, doctrine-aligned outputs & an audit trail map results in CDE escalation thresholds (risks categories, reviews, and documentation), ensuring VSHORAD decision-making in line with LOAC.

RESEARCH OF METHODS FOR DETECTION AND TRACKING AIR TARGET BASED ON INFORMATION PROCESSING OF MATRIX RECEIVERS

*S. Kadubenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Kheilyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of the Russian-Ukrainian war, various reconnaissance systems based on the use of matrix receivers, such as CCD and CMOS matrices, are widely used, which play an important role in detecting and tracking air targets. When using matrix receivers, methods of information processing based on artificial intelligence are widely used. In the conditions of the Russian-Ukrainian war, they demonstrate their effectiveness for the detection, reconnaissance and tracking of ground targets.

At the same time, information processing methods for detecting and tracking air targets, especially those located against the background of the earth's surface, have been poorly studied. This significantly reduces the probability of detecting small objects and increases the number of false positives due to visual obstructions from the landscape, which ultimately slows down the response time of air defense systems and reduces the chances of successfully intercepting targets. Thus, research into methods for detecting and tracking air targets based on information processing of matrix receivers is appropriate. The results obtained can contribute to increasing the effectiveness of intelligence and air defence systems, as well as be of practical importance for ensuring Ukraine's defence capability.

APPLICATION OF MESH NETWORK TECHNOLOGIES AND STARLINK TERMINALS IN HOSTILE ATTACK UAVS: ANALYSIS OF THREATS AND COUNTERMEASURES

*V. Mehelbei, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current stage of the Russian-Ukrainian war is characterized by the rapid evolution of unmanned aerial systems (UAS), specifically the integration of online control capabilities into long-range attack UAVs of the “Shahed-136” (Geran-2) type. One of the approaches to UAV modernization has been the use of MESH modems and Starlink satellite terminals, which transforms loitering munitions into real-time controlled reconnaissance and strike platforms (long-range FPV drones).

The implementation of control technologies is based on the creation of dynamic mutual relay networks (MESH networks). Analysis of downed specimens revealed the use of Chinese Xingkai Tech XK-F358 (HX-50) modems operating in the 1300–1500 MHz and 3200–3400 MHz frequency bands. Each such modem functions as a repeater, allowing for the formation of a stable aerial data transmission chain. Even if 80% of the network links are destroyed, information continues to flow through the remaining nodes. Concurrently, the installation of Starlink terminals has been recorded, providing unlimited control range and high bandwidth for transmitting 4K video streams. This allows the operator to perform manual terminal guidance on critical infrastructure nodes (transformers, locomotives) directly at the moment of the attack. During strikes, a portion of the “Shahed” are utilized as repeaters loitering in designated areas to maintain communication with attack groups. These aircraft serve as “hub nodes” for the MESH network. Additionally, the enemy

employs ground repeaters from the territory of Belarus. To complicate detection by signals intelligence (SIGINT) assets, the modems may operate in “silent mode” activating only upon request or immediately before the strike.

Countering this threat requires a combination of organizational and technical measures. Certain steps have already been taken, such as the roaming ban for unauthorized Starlink terminals on the territory of Ukraine through cooperation with SpaceX. Technical measures involve adapting electronic warfare (EW) systems to operate in the modems’ new frequency ranges (specifically 3.2–3.4 GHz) using vertical signal polarization and module power of 70–100 W. A priority tactical task for air defense is the early detection and destruction of relay drones that ensure the functioning of the entire MESH structure deep within the territory. Further research should be directed toward developing automated systems for detecting low-power signals from MESH nodes amidst a complex electromagnetic background.

EXPERIENCE OF USING ROBIN RADAR IRIS VMARS

*M. Iasechko, Doctor of Technical Sciences, Professor; D. Rybalko; A. Chekanov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The report presents positive and negative experience of the combat use of Robin Radar Iris VMARS in complex electromagnetic conditions.

A positive aspect of using the radar is its short deployment time (up to 5 minutes) and retraction time (up to 2 minutes). The built-in rechargeable battery allows it to operate for up to 2 hours and 30 minutes. The batteries are charged from the own generator or chassis engine. The mobility of the radar allows for rapid expansion of the radar field in gaps and areas where strike and reconnaissance UAVs may maneuver. The ability to quickly switch between 5 km and 12 km modes allows for redistribution of radar power, thereby increasing the probability of radar detection of UAVs. The radar can be easily integrated into an automated control system and can operate in complex electromagnetic conditions. Its low radiation power makes it impossible to use anti-radar missiles against it.

A negative aspect is the non-availability of technical capability to assess the interference situation, which requires the use of additional equipment. Interference was periodically observed in the operating range, probably due to the actions of electronic warfare equipment. The radar requires correction of noise filtering algorithms. The radar crew is limited by the number of seats in the vehicle: no more than three people, including the driver.

Conclusions: Robin Radar Iris VMARS is advisable to use for rapid expansion of the radar field in gaps and areas where strike and reconnaissance UAVs may maneuver.

THE CONCEPT OF AN IMMERSION PLATFORM FOR REMOTE USE OF UAVS

*M. Iasechko, Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Cherkashyn
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The study is devoted to the development of conceptual foundations for a platform enabling remote operation of unmanned aerial vehicles (UAVs) under conditions of limited navigation support. The research focuses on improving

hardware and software solutions to enhance navigation accuracy, increase resistance to interference, and ensure stable control through satellite communication channels.

An analysis of scientific and technical sources indicates an insufficient level of systematic research in Ukraine on remote UAV control in the absence of global navigation systems. Within the units of the Air Forces and the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine, these issues have not been studied comprehensively and are addressed only fragmentarily, which reveals a significant scientific and applied gap and confirms the relevance and novelty of the present research.

The study aims to develop theoretical and practical solutions for improving the efficiency and reliability of UAV remote control when conventional navigation aids cannot be continuously used. To achieve this goal, performance indicators and functional limitations of satellite-based UAV control systems without inertial navigation are analyzed, and a mathematical model is proposed to predict operational effectiveness and determine the maximum permissible duration of UAV operation without critical loss of controllability.

The research also includes the development of specialized control software, the creation of an experimental UAV prototype, and the generalization of results obtained during field testing. The proposed technical concept emphasizes control stability and survivability, the use of satellite communications as the primary control channel, and quantitative assessment methods under navigation constraints, forming the technical basis for effective UAV employment in high-threat operational environments.

PARADIGM SHIFT IN THE PURPOSE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

*M. Iasechko, Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Bologov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of the ongoing reorganization of the air defense (AD) system within the Armed Forces of Ukraine, the issue of task differentiation among various types of air defense unmanned aerial vehicles (UAVs) has become increasingly relevant.

For the purposes of this analysis, two categories of AD UAVs are distinguished: the interceptor UAV, designed to protect critical infrastructure facilities, and the anti-aircraft drone, intended to provide cover for units and formations of the Army. A key distinction between these two platforms lies in the absence of the so called “Tom and Jerry” principle.

The anti-aircraft drone is optimized for engaging low-speed aerial threats – such as reconnaissance UAVs (tactical and operational), improvised bombers, and kamikaze drones. Its guidance system is based on principles analogous to those employed in surface-to-air guided missiles.

Conversely, the interceptor UAV is tailored to counter high-speed targets, including strike UAVs of the Shahed type and reconnaissance UAVs of operational or strategic class. Its guidance methods are derived from the principles of manned aircraft interception.

Thus, the clear delineation of functions between interceptor UAVs and anti-aircraft drones enables a more efficient allocation of forces and resources, ensuring the effective exploitation of modern unmanned technologies in the evolving paradigm of air defense.

RESEARCH ON THE POSSIBILITIES OF THE INFLUENCE OF MIXTURES (LIQUIDS) BASED ON MAGNETOCONDUCTIVE SUBSTANCES ON THE COMPONENTS OF FPV DRONES

*S. Kadubenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Dribnytsia; T. Fedo*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In 2024–2026, unmanned aerial vehicle (UAV) technologies, in particular FPV drones, have moved from amateur solutions to dominant means of destruction on the battlefield. This necessitates the search for asymmetric countermeasures based on physical and chemical effects. One such direction is the use of liquid mixtures based on magnetically conductive substances.

The study proposes to analyze the impact of different types of liquids on drone components. Impact on the power plant (impact on electric motors). Brushless motors (BLDC) are the most vulnerable node, the magnetically conductive mixture, entering the motor, is instantly attracted by the powerful neodymium magnets of the rotor. Magnetic flux closure, i.e. magnetically conductive particles accumulate in the working gap between the stator and the rotor, which leads to a loss of torque. Degradation of electronics (FC and ESC), modern FPV drones usually do not have hermetic protection of control boards (Flight Controller) and speed controllers (ESC). Blocking communication (affecting antennas), covering the antenna with a layer of magnetically conductive substance radically changes its electrodynamic parameters. The shielding effect, the high magnetic permeability of the mixture absorbs the energy of radio waves, which makes it impossible to receive the control signal and transmit video.

Thus, the study proposes to analyze the effect of magnetically conductive mixtures as a highly effective means of neutralizing FPV drones.

FORMALIZATION OF THE CONTROL PROCESS FOR RADAR OBSERVATIONS OF A SURFACE-TO-AIR MISSILE SYSTEM IN THE MODE OF BALLISTIC TARGET TRACKING WITH ACCOUNT FOR SLOWLY VARYING MEASUREMENT ERRORS

*S. Piskunov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
G. Levagin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Yasynskyi¹*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Missile programs office of the Ukrainian Army

Over the course of more than four years of war, the Russian Federation has continuously carried out massive missile and air strikes against facilities on the territory of Ukraine, combining attacks by unmanned and manned systems with a large number of ballistic and hypersonic targets. The task of intercepting ballistic targets is a highly complex problem for existing air defense systems, the solution of which depends on a large number of factors. One of the significant factors in tracking such targets is slowly varying measurement errors over the tracking interval. Slowly varying measurement errors are caused by inaccuracies in radar alignment, defects of its hardware components, and non-stationarity of the radio wave propagation medium, and they depend on the coordinates of the ballistic target, which significantly complicates calculations and does not allow direct derivation of methods for their consideration in trajectory parameter filtering.

Optimal consideration of such errors in the tracking process makes it possible to significantly increase the accuracy of determining the coordinates and motion parameters of ballistic targets, which in turn increases the probability of their interception. Analysis of studies in the theory of radar observation control by multifunction radar systems in the ballistic target tracking mode shows that existing control methods do not fully exploit the information capabilities of modern multifunction radar systems. Therefore, this work formalizes the problem of controlling the timing of measurements performed by a multifunction radar system in the ballistic target tracking mode, which makes it possible to account, when constructing an optimal observation plan, for the influence of not only fluctuation errors but also slowly varying measurement errors. To take this class of errors into account, an extended Kalman filter is used, whose gain factor optimally considers the influence of slowly varying measurement errors on estimates of the trajectory parameters of ballistic targets. The problem formalized in this manner can be solved using known mathematical methods.

FORMULATING A TARGET ALLOCATION CONCEPT USING SKYMAP FOR INTERCEPTOR UAVs IN COUNTERING STRIKE UAVs (SHAHED/GERBERA)

*N. Piskunov¹; V. Mehelbei, Candidate of Technical Sciences²
¹Operational Command "Pivnich";*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Target allocation in systems countering strike unmanned aerial vehicles of the Shahed type constitutes a distinct scientific problem in the control of dynamic systems under conditions of incomplete information. Its essence lies not in selecting the nearest engagement asset, but in forming a coordinated decision based on the predicted evolution of the air situation.

In this context, Skymap should be viewed as an integrated informational and cognitive model of the airspace. It combines spatial, temporal, and probabilistic characteristics of targets and interception assets within a unified decision-making environment. Skymap is not a passive visualization tool; rather, it functions as a shared orientation system for both operators and commanders. Strike UAVs of the Shahed type are characterized by relatively simple trajectories and long flight durations, which leads to the predominance of a predictive approach over a reactive one. Target designation for interception is therefore based not only on the object's current position, but on an assessment of its future position within a time horizon that is critical for the protection of defended assets.

Target allocation within the Skymap system is inherently multi-criteria. Target priority is determined by a combination of factors, including direction of movement, potential threat to protected objects, the level of observation confidence, and the availability of interception means. As a result, the same target may assume different priority statuses at different points in time without any change in its physical parameters. One of the key functions of Skymap is the elimination of competition among interceptor UAVs. In the absence of centralized or coordinated target allocation, the system becomes prone to duplicated efforts and loss of overall effectiveness. Skymap provides coordination by forming a shared understanding of areas of responsibility, even when rigidly fixed sectors are not defined. The human remains an integral element of the target allocation system. From a scientific perspective, Skymap serves as a means of extending the operator's cognitive

capabilities rather than as a fully autonomous decision-making mechanism. Transparency in the logic of target distribution is critically important for maintaining control, accountability, and adaptability of the system.

In summary, target allocation for interceptor UAVs in countering Shahed UAVs should be understood as a process of managing a complex adaptive system, where effectiveness is determined not by individual technical components, but by the quality of integration between information, prediction, and human decision-making within the unified Skymap environment.

KEY COMPONENTS OF EFFICIENCY IN THE ORGANIZATION OF THE OPERATION OF WEAPON SYSTEMS BY AIR DEFENSE UNITS OF THE ARMY

*O. Nakonechnyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
H. Ivanets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Stavytskyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Experience from combat operations defending Ukraine against large-scale armed aggression by the Russian Federation has demonstrated that the primary mode of air attack remains the integrated employment of various types of cruise and ballistic missiles, as well as unmanned aerial vehicles of diverse purposes, to conduct massed air strikes against critical national infrastructure. Intensive air strikes are also employed to provide close air support \ to enemy ground forces during offensive operations. Given these operational circumstances, air defense – particularly Land Forces air defense – has emerged as a critical strategic factor determining national security and, during combat operations, significantly shaping the course and outcomes of armed conflict or warfare. Maintaining air defense weaponry of the Ground Forces in constant readiness for use is ensured by clear and high-quality measures to organize their operation, as well as the ability of technical personnel to quickly restore the combat capability of equipment after intense enemy fire.

The effectiveness of weapons systems operation management in the Air Defense Forces of the Ground Forces is defined as the degree to which the systems reliably perform their assigned functions in various modes and operating conditions, while meeting tactical and technical requirements, including readiness time, deployment and redeployment time, operational safety, maintainability, and remaining service life, which together guarantee the consistency of combat mission performance and a high probability of repelling enemy air attacks.

USE OF COMPLIANCE MEASURES TO MATCH THE RADAR VISIBILITY OF AIR TARGETING TO REAL TARGETS

*V. Voinov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Melnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

High-intensity combat operations that have been ongoing for four years now require high training and skills from air defense troops, units, and divisions. The Faculty of Air Defense of the Ground Forces and Other Components of the Defense Forces of Ukraine is conducting systematic scientific work on improving targets for training air defense crews and divisions.

Modern unmanned aerial vehicles, including domestically produced ones, are made with extensive use of composite materials and have a low radar cross-section (RCS), especially for radar stations with the meter and decimeter wavelength bands.

The report highlights the using means experience of increasing the radar visibility of UAVs, acquired at the faculty. Namely, the use of dipole reflectors, both resonant and broadband, the possibilities of using Luneberg lenses made using 3D printing from special polymers. A number of experiments conducted by the creative team and their results are described.

Conclusions are made on the options for equipping target UAVs with Luneberg lenses, which can be used during crew training at training grounds and training centers. Options for manufacturing Luneberg lenses from freely available materials are proposed in order to obtain the expected radar signature at the frequencies of radar stations from the air defense complexes that are in service with the Defense Forces of Ukraine.

Scientific work on the use of calibrated Luneberg lenses to bring the radar visibility of air targets into line with the signature of real aggressor air attack means is relevant. The results of the work can be used in the training of air defense units at training grounds and in training centers of the Defense Forces of Ukraine.

MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF USING A MOBILE COMPLEX TO COUNTER ENEMY RECONNAISSANCE AND STRIKE UNMANNED AERIAL VEHICLES

*O. Balabukha, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The assessment of the effectiveness of the mobile countermeasure complex (MCC) against enemy reconnaissance and strike unmanned aerial vehicles (UAVs) is based on an analysis of the probability of their destruction, the mathematical expectation of destroyed UAVs, the reliability of the MCC during intensive operation, and its ability to protect units (units, critical infrastructure facilities, etc.) from enemy strikes.

The main indicators for assessing the effectiveness of the MCC include: combat potential, response time, and technical condition of the MCC.

The report proposes a mathematical model for assessing the effectiveness of using MCC against enemy reconnaissance and strike UAVs. An example is given of assessing the effectiveness of using a specialized UAV interceptor as part of a UAV system as a means of implementing a kinetic method of influencing enemy UAVs in the process of destruction.

Analytical expressions for calculations are presented, as well as tabular and graphical materials obtained.

Important aspects of the mathematical model include: implementation of the ability of the UAV interceptor control system as part of the MCC to integrate with existing and prospective radar detection (surveillance) systems, automation of processes for determining the coordinates of enemy UAVs in space, calculation of their flight trajectories for interception by MCC means in semi-automatic mode in the absence of signals from satellite radio navigation systems.

MAIN PROBLEMS OF PROTECTING LOGISTICS ROUTES FROM “SLEEPING DRONES”

*S. Volodko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
H. Dementiuk, Ph.D.; S. Riazantsev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A “sleeping drone” is an unmanned aerial vehicle that is camouflaged or inactive on the territory of a facility or near a logistics route, waiting for a command to activate.

The main problems of protecting logistics routes from this type of drones are:

1. Low detection efficiency – traditional detection methods are ineffective against sleeping drones that do not emit signals; the scale of the territory of logistics routes.

2. Low speed of response to the degree of threats.

3. Various technological challenges – drones can be activated remotely via radio channels or the Internet, and intercepting such channels is difficult; modern drones are inconspicuous, which complicates detection even by modern radars.

The main possible measures to protect logistics routes from “sleeping drones” can be:

1. Technological – use of FMCW radars or multistate radars, use of various signaling systems to detect electromagnetic signals of drones, detection of drones by residual acoustic noise (useful during approach and before landing), monitoring of potential activation channels (Wi-Fi, satellite communication, military frequencies).

2. Organizational – constant monitoring of key logistics nodes, maximum restriction of access to warehouse areas, training of personnel in case of activation of a sleeping drone.

3. Analytical – video analytics with artificial intelligence algorithms to detect atypical shapes in the landscape in order to predict possible risk areas, thermal imaging monitoring (even “sleeping drones” have a small thermal background from batteries).

COMBAT HELICOPTERS AND FIGHT AGAINST THEM

*S. Oriekhov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Koniev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Under modern conditions, one of the ways to increase the firepower and mobility of ground force groupings, according to military specialists from leading countries, is based on the growing saturation of units and formations with army aviation helicopters – especially attack helicopters – and the development of tactics for their joint employment. Helicopters are viewed as a universal asset that can sharply increase the firepower and mobility of ground force units and formations on the battlefield.

Given the growing role of helicopters in modern wars, military specialists in leading countries recognize the increasing relevance of organizing a unified anti-helicopter protection system in combined-arms combat that functions at all stages of combat operations. The report analyzes the composition, tactical and technical

characteristics of army aviation helicopters, and the tactics of modern attack helicopters of the armed forces of the Russian Federation when performing various combat missions, as well as their combat capabilities, strengths, and weaknesses from the standpoint of organizing counter-helicopter operations. It also examines changes in the tactics of fire-support helicopters during the Russian-Ukrainian war; formulates the main principles for organizing and conducting anti-helicopter operations by air defense units (subunits) of the ground forces; reviews the work of unit commanders in organizing the fight against helicopters and the measures that must be carried out during its preparation and execution. Requirements for prospective anti-aircraft missile-artillery, missile, and artillery systems and complexes intended for the anti-helicopter protection of troops have been developed.

The conducted analysis makes it possible to define the tasks of further research on organizing anti-helicopter defense for ground force units, which is one of the components of combined-arms combat.

APPLICATION OF GROUND ROBOTIC COMPLEXES IN THE LOGISTICS SUPPORT SYSTEM OF AIR DEFENSE UNITS OF THE GROUND FORCES

*O. Tokar; O. Lezik, Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The modern Russian-Ukrainian war is characterized by high-intensity combat, extensive use of precision weapons, unmanned aerial vehicles and electronic warfare. Under these conditions, the requirements for both the combat capabilities of air defense units of the Ground Forces and their logistics support systems are significantly increasing. One promising way to enhance survivability and continuity of combat operations is the use of ground robotic complexes (GRCs) in logistics support. GRCs are wheeled or tracked systems capable of autonomous or remote execution of tasks such as cargo transportation, personnel evacuation, engineering support and assistance in combat operations. In air defense units, they primarily reduce risks to personnel while operating within enemy fire zones. A key area of application is the delivery of ammunition and material supplies. Air defense units often operate in dispersed formations, frequently changing positions under constant threat. GRCs enable the safe transport of anti-aircraft ammunition, small-arms cartridges, batteries, fuel and other resources without exposing personnel to danger. Robotic platforms are also effective for engineering and camouflage support, including the delivery of camouflage nets, engineering equipment and partial execution of engineering works at firing and reserve positions. In addition, GRCs equipped with optical-electronic, thermal and acoustic sensors can conduct reconnaissance and surveillance, detecting low-flying air targets such as Shahed UAVs and improving command decision-making.

Robotic complexes may also serve as remote observation posts and be used for evacuating damaged equipment under fire, accelerating the restoration of combat capability. Their use reduces personnel losses, increases route survivability and enhances unit autonomy. Despite existing limitations, combat experience confirms that further development and integration of GRCs should be a priority for improving the logistics support of air defense units of the Armed Forces of Ukraine.

**METHODOLOGICAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT
OF A FORMALIZED MATHEMATICAL MODEL FOR EVALUATING
THE COMBAT EFFECTIVENESS OF PORTABLE
ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM**

H. Ivanets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

L. Khrol; O. Kryhin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The basic element of the overall air defense structure is a portable anti-aircraft missile system. The combat effectiveness of a portable anti-aircraft missile system is defined as the probability of successfully neutralizing a target with a single missile at a designated intercept line or during its transit through the engagement zone, taking into account the complete combat employment process and the reliability of the system's components.

The combat employment of the system consists of three distinct stages: pre-launch, guidance, and terminal engagement.

A formalized mathematical model for evaluating a portable anti-aircraft missile system combat effectiveness is developed in the form of a system of analytical relationships describing the probability of target destruction by a single missile; the probability of failure-free operation of system components throughout all stages of combat employment; the probability of target detection at a specified range; the probability of target identification; the probability of target tracking by the operator; the probability of missile impact with the ground; the probability of reacquisition of the horizon line by the seeker head; the probability of disruption of automatic target tracking by the seeker head prior to missile launch under jamming conditions; the probability of missile guidance disruption under jamming conditions; the conditional probability of target acquisition by the seeker head at a specified range; the conditional probability of missile launch by the system at a specified range; the conditional probability of target destruction by the missile warhead of the a portable anti-aircraft missile system.

**IMPROVEMENT OF THE “STRILA 10” SAM SYSTEM
TO INCREASE THE EFFICIENCY OF FIRING**

S. Kovalenko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A pressing issue of defense, after four years of confrontation of our Armed Forces against Russian aggression, is the air cover of the entire rear in the depths of the state. To solve this issue, it is proposed to improve the “Strila 10” anti-aircraft missile systems (AMS), which now repel Russian air attacks every night and day with unmanned aerial vehicles and cruise missiles.

The “Strila 10” air defense system is effective only in favorable weather conditions and during daylight hours. Therefore, the task is to improve the ability of these complexes to fire around the clock, in difficult meteorological conditions and in conditions of radio interference. Therefore, this issue is relevant.

The first thing that will significantly change their effective use is the introduction of thermal imaging sights into their targeting and detection systems.

The improvement will allow for the effective use of SAMs in the dark, in difficult meteorological conditions, and when using radio interference, and will solve our task.

The task is acute because the enemy uses air attacks at night and in difficult meteorological conditions, and in areas of combat engagement under conditions of radio interference.

As calculations during mathematical modeling of the combat use of the improved "Strila 10" air defense system showed, the effectiveness of firing at night will increase by 64 %, in difficult meteorological conditions it will increase by 42 %, and in conditions of interference, depending on the intensity, by 45...34 %.

Confirmed calculations suggest that the improvement of the "Strila 10" air defense system will enable all units armed with it to effectively and efficiently carry out their assigned tasks of destroying air targets both deep inside the country and at ground zero, from unmanned aerial vehicles and cruise missiles.

PROPOSALS FOR THE APPLICATION OF THE VASERSHTEN METRIC AND THE CORE BAND FOR THE ANALYSIS OF SECONDARY BACKRADIATION DISTRIBUTIONS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DEVICES

*G. Kachurovskiy, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Experimental data and data obtained from mathematical modeling are characterized by asymmetry, a significant dynamic range, the presence of "outliers" and sample limitations. All this complicates the application of classical approaches to analyzing the secondary backscatter distributions of unmanned aerial vehicles (UAVs).

Thus, selecting the optimal method for evaluating comparisons of UAV secondary backscatter distributions is a pressing scientific task.

The report proves that the chi-square criterion and overlap coefficient (OVL) are unstable with limited samples, which may lead to distorted results. The Kolmogorov–Smirnov criterion is mini-max and does not assess the scale of distribution change.

Also, from a practical point of view, it is most appropriate to use the first-order Wasserstein metric as the main tool for evaluating differences between distributions, since there is an integral and physically interpreted measure of "distance" between distributions, without the need to break them down into intervals. The metric correctly reflects systemic shifts, changes in asymmetry, and distribution deformation.

Additional application of the core band restriction allows you to assess how typical the values of the object under study are in relation to the reference values within the working area.

Thus, the combination of an integral measure of distance and a local assessment of the commonality of distribution "kernels" forms a practice-oriented robust approach to assessing such UAV characteristics as the scatter indicator. It is possible to increase the reliability of decision-making in applied problems and obtain a well-founded approach.

IMPROVING THE EFFECTIVENESS OF CONTROL OF COMBAT OPERATIONS BY UNITS OF THE 2C6 SELF-PROPELLED AIR DEFENSE SYSTEM

*D. Lytovchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
Yu. Litvinenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

To automate fire control for units armed with the 2C6 self-propelled anti-aircraft gun, it is proposed to use the target designation reception and implementation equipment that is part of the Strela-10 anti-aircraft missile system. This will improve the efficiency of managing the unit and combat vehicles.

The source of radar information for the 2C6 self-propelled anti-aircraft gun can be the P-18MA, P-19MA radar stations or the modern “Robin” and “Rada” radar stations.

The radar operator detects and identifies targets, filters out false signals, and transmits radar information to the battery command post, where the battery commander is located, who then directs the fire. From the battery command post, the radar information in the form of target designation is transmitted to the self-propelled anti-aircraft gun.

The target designation is transmitted to the self-propelled anti-aircraft gun by selecting the telecode information at the address of the self-propelled anti-aircraft gun. At the same time, the azimuth and range to the target are transmitted to the digital computing system.

The digital computing system turns the tracking station antenna toward the target, and the range strobe is displayed in the area where the target is located.

The introduction of equipment for receiving and implementing target designations makes it possible to increase management efficiency, reduce the possibility of detecting the 2C6 self-propelled anti-aircraft gun and reduce the time required to obtain target designations and prepare for firing by 40 %.

ADAPTATION OF METHODS FOR ATTACKING AIR TARGETS WITH AN ANTI-AIRCRAFT DRONE IN THE FINAL STAGE OF ANTI-AIRCRAFT COMBAT

O. Boliubash, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

I. Dzeverin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

V. Kryvchun; T. Dzeverin; M. Maksymov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report systematizes approaches to the combat use of anti-aircraft unmanned aerial vehicles in the final phase of air combat, when an unmanned fighter (interceptor), after visual detection, recognition, and targeting, performs a maneuver to take up a tactically advantageous position and carry out an attack.

A unified description of the “attack zone” as the vicinity of the target with the division of space into segments relative to the direction of approach is proposed, which facilitates the comparison of attack techniques and their combination depending on the conditions of the situation.

A comparative analysis of the most commonly used guidance methods (“Pursuit”, “Maneuver”, and their combinations, “Three-Point”) is presented from the perspective of requirements for target movement information,

sensitivity to radar information errors, and limitations on the speed capabilities of the interceptor.

A methodological approach has been formulated for selecting appropriate tactical techniques as a multi-criteria selection task based on factors such as visibility, weather conditions, electronic countermeasures, target maneuverability, and onboard sensor characteristics.

The directions for improving the training and organization of the use of anti-aircraft drones have been outlined thanks to the systematic accumulation of data, the standardization of trajectories, and the adaptation of guidance procedures to interference conditions.

The peculiarities of adapting methods of attacking air targets with anti-aircraft drones in the final stage of air combat are revealed.

EVALUATION OF THE IMPACT OF LASER RADIATION ON DATA TRANSMISSION CHARACTERISTICS USING LIGHT PULSES

*M. Dergousov, Ph.D.; D. Lapin; D. Kharchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of modern combat operations shows the growing role of unmanned aerial vehicles (UAVs) in ensuring the effective performance of the task. At the same time, a significant indicator of active use is the use of electronic warfare (EW) means. Among the most effective means of improving UAV control systems is the use of fiber-optic communication channels. Data transmission is carried out using light pulses propagating through thin dielectric optical fibers.

The work proposes the use of directed laser radiation to deteriorate the signal transmission parameters. The essence of the method is not in the physical opening of the cable, but in the thermal effect on the structure of the optical fiber. Laser energy causes local overheating of the fiber sheath and core, which leads to a change in the refractive index of the material. Therefore, there is an urgent need to develop methods for remotely interfering with data transmission through optical fiber without the need for its direct mechanical rupture by contact.

To achieve a stable result, calculations of the divergence of the laser beam depending on the distance were carried out. The work considers the conditions for conducting a practical experiment that will allow to substantiate theoretical calculations.

The results of the study will serve as the basis for providing recommendations on the creation of mobile means of countering UAVs using wired optical control and determining their optimal tactical and technical characteristics.

INTEGRATION OF ANTI-DRONE COMPLEXES INTO THE PROTECTION SYSTEM OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS

*H. Dementiuk, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern armed conflicts and asymmetric threats demonstrate the rapid growth of the role of unmanned aerial vehicles in conducting reconnaissance, fire control, and striking critical infrastructure. Energy facilities, transport hubs, industrial

enterprises, and communication facilities are becoming priority targets for drone attacks, which necessitates the formation of a multi-level anti-drone defense system.

These include the 30 mm M-ACE artillery system, the 14.5 mm MR-2 “Victor” module, and the “Skynex” anti-aircraft artillery system, which can be considered as elements of a single integrated defense system. Their use allows for the destruction of unmanned aerial vehicles at different distances and with different levels of automation of the detection and fire response processes.

The integration of these complexes involves their inclusion in a common information circuit with radar, optoelectronic and acoustic surveillance means, as well as with facility security management systems. This approach ensures a reduction in response time to a threat, increased accuracy of target identification, and reduced risk of hitting foreign objects.

As a control point of a unit covering a critical infrastructure facility, it is advisable to recommend the use of the 9C905 “Krechet”, since it provides centralized control of forces and means of anti-drone protection based on primary radar information. The use of this control point allows for timely detection of air targets, increase the efficiency of decision-making and ensure effective interaction of firepower as part of an integrated system for protecting the facility.

Thus, the integration of anti-drone complexes of different classes into the protection system of critical infrastructure facilities allows for the formation of a multi-level, adaptive and resistant to modern threats security system. Further research in this area should focus on issues of compatibility, automation of control and optimization of the composition of anti-drone means depending on the type of facility and the nature of threats.

EVALUATION OF THE FACT OF HITTLING AN AIR TARGET BY A UAV-INTERCEPTOR USING A RADAR RANGE-FINDER

*V. Kitov, Candidate of Technical Sciences;
M. Brechka, Candidate of Technical Science; N. Melnik
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Unmanned aerial vehicle interceptor units (UAVs) have been widely used in air defense forces. These units demonstrate high efficiency in destroying air targets of the “UAV-kamikaze” type. The current task is to train new crews and units and maintain the proper level of training of existing ones.

In order to evaluate the actions of UAV interceptor crews when working on real air targets, the Faculty of Air Defense of the Ground Forces and other components of the Defense Forces of Ukraine has developed a device for registering “hits” of an air target. The device consists of a single-board computer, which is freely available on commercial resources, and a sensitive element that works using the principle of measuring the power of the electromagnetic field.

The report provides information on the proposed principle of assessing the fact of defeat. It is noted that this device is part of the equipment of the UAV – target. The equipment as a whole is intended for objective assessment of the interceptor actions, namely – fixing the rapprochement of the interceptor UAV and the UAV – target at a distance that ensures reliable defeat of the air target. The equipment should consist of a means of video recording the approach of the UAV – interceptor to the target and the radio rangefinder proposed by us, which measures the distance of the rapprochement and signals about it to the person assessing the procedure of the unit being trained.

The proposed device should allow for reliable recording of the distance between the UAV – the interceptor and the target – and transmit a signal about this to the workplace of the training leader.

The set of technical means for assessing the fact of hitting an air target will allow for training interceptions of air targets without the losing of UAV interceptors.

MATHEMATICAL MODEL OF FIRING A SHORT-RANGE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEM AT UNMANNED AERIAL VEHICLES

V. Kudriashov¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Kolomiitsev², Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Kitov³, Candidate of Technical Sciences; R. Oliinyk⁴

*¹O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
of the National Academy of Sciences of Ukraine;*

²National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”;

³Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*⁴State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

Modern short-range anti-aircraft missile systems are effective means of air defense for protecting troops and critical infrastructure, as well as destroying aircraft, helicopters, cruise missiles at a range of up to 20 km and an altitude of up to 10 km, as well as unmanned aerial vehicles (UAVs), for which it is impractical to use expensive missiles from large air defense systems such as Patriot.

Thus, the development of a mathematical model for firing short-range anti-aircraft missile systems at UAVs is a relevant scientific task.

The report analyzes the main errors in firing anti-aircraft guided missiles: missile guidance to UAVs and the operation of the radio detonator of the missile detonation system near UAVs. The results of the error studies are presented. The energy characteristics of the radio detonator are considered.

A mathematical model for firing short-range anti-aircraft missile systems at UAVs is proposed. Calculations are presented for the distances at which the radio fuse of the missile is triggered or not when firing at UAVs, and estimates of their effective dispersion area.

The calculations were performed using MathCad software, which allowed us to obtain tabular data and construct corresponding graphs of dependencies.

COMPARISON AND ANALYSIS OF COMBAT HELICOPTERS OF RUSSIA, UKRAINE, EUROPEAN COUNTRIES AND COUNTRIES OF THE WORLD

S. Korsunov; M. Oboronov; Y. Zuiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale war unleashed by Russia in Ukraine has forced a rethinking of the concepts of national and collective security. It has confirmed that the greatest threat to troops and facilities comes from the air. An analysis of the availability and quality of combat aviation in Russia, Ukraine, European countries and the world has been conducted. The greatest attention is paid to countries that participate in the negotiation processes or support Ukraine and those countries that have a large air

fleet and can influence the balance of power in the region. It is concluded that after the end of the Cold War, most countries reduced their combat aircraft. They optimized their composition, adopted more powerful and versatile helicopters that can perform the task of destroying air and ground targets with a smaller composition.

Changes in the quantitative and qualitative composition of combat helicopters of the mentioned countries during 2010–2025 are considered in detail. It is concluded that most of the helicopters in the Russian aviation fleet were produced during the Soviet era, but due to deep modernization and the availability of the latest helicopters, its combat helicopters are competitive with those of Western countries. European countries have a small number of helicopters.

European countries have a small number of helicopters. They are updating them, continuing to reduce their number and narrow their range. Asian countries are seeking to get rid of technological dependence on Russia and are developing combat helicopters on their own. They are making attempts to promote them on regional and global markets. Middle Eastern countries are increasing their fleet of combat helicopters and focusing on equipping their armies with modern models.

ANALYSIS OF THE EMPLOYMENT OF SOVIET-MADE MAN-PORTABLE AIR DEFENSE SYSTEMS (MANPADS) EQUIPPED WITH THERMAL IMAGING DEVICES WITHIN MOBILE FIRE GROUPS DURING AIR DEFENSE OPERATIONS IN MODERN WARFARE

B. Landar; V. Rybalko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Soviet-made Man-Portable Air Defense Systems (MANPADS) are generally designed to engage high-speed and low-speed aerial targets flying at low and extremely low altitudes that emit thermal energy, provided there is direct visual contact with the target.

Today, MANPADS are employed both day and night. During daylight hours, they are operated in accordance with standard firing regulations, and there are virtually no difficulties in target detection, tracking, or engagement (depending on weather conditions). However, during nighttime operations, anti-aircraft gunners face significant challenges in detecting and tracking targets using mechanical (iron) sights. The visual detection range at night is limited; consequently, the gunner's reaction time is reduced, leading to either insufficient time for engagement or a probability of kill that falls below the required threshold. To extend the detection range and increase the gunner's reaction time at night, thermal imaging devices have been introduced. A thermal imager allows for target detection at a greater distance from the launch position, though the detection range of a target's thermal signature depends on the specific performance characteristics of each device.

It is worth noting that thermal imaging devices with high detection capabilities usually reach the Armed Forces of Ukraine via volunteer crowdfunding efforts.

For instance, when a Pulsar Thermion thermal imager is installed, the nighttime detection range for an aerial target is approximately up to 1,900 m. In this case, the gunner's reaction time is shorter than during the day but remains significantly longer than with visual detection without an imager. Depending on the type of aerial target, the gunner in this scenario can perform a launch either only in a tail-on chase (for high-speed targets) or in both directions (for low-speed targets).

When using thermal imagers with a shorter detection range, the reaction time decreases accordingly, making the use of MANPADS against aerial targets at night nearly impossible. Comparing Soviet-made MANPADS to the Polish-made Piorun⁷ system, the latter includes the CTP-1 thermal imager as part of its standard kit. This device enables the detection of aerial targets at ranges of up to 8,000 m, allowing the anti-aircraft gunner to fully utilize the missile's performance specifications as intended by the manufacturer. Currently, the Russian armed forces employ massed raid tactics (for example, a group target consisting of 10–15 “Shahed” UAVs). In practice, Mobile Fire Groups typically use thermal imagers with a limited aerial target detection range; therefore, neutralizing a target depends directly on the imager's specifications, the target type, and the proficiency of the anti-aircraft gunner. To effectively repel a massive air attack at night, a sufficient number of high-performance thermal imagers and specialized mounts are required. Since the cost of high-quality thermal optics is very high, the number of thermal imaging devices is significantly lower than the number of available MANPADS. The time required to remove a thermal imager from a spent launch tube and install it on another (including the necessary bore-sighting) is extensive, which typically allows for only a single missile launch against a group aerial target.

It can be concluded that, depending on the specific thermal imager used, the boundaries of the engagement zone either remain unchanged or are reduced due to the limited detection range of a typical thermal device. It is logical to assume that Soviet-made MANPADS with improvised thermal mounts (provided the sights are bore-sighted) are effectively used in a tail-on engagement. Under standard firing regulations, the gunner's reaction time required for missile initialization, target acquisition, and launch is so short that it precludes the effective use of the system on a head-on intercept course.

USING MILITARY ENGLISH IN MULTINATIONAL OPERATIONS

*B. Terletskyi; V. Stadnichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current context of the development of international military cooperation, military English plays a key role in ensuring effective interaction among units of different countries. This issue becomes particularly relevant in the context of the participation of the Armed Forces of Ukraine in multinational operations, peacekeeping missions, joint exercises, and training programs under the auspices of NATO and the European Union.

A distinctive feature of the use of military English in multinational operations is its standardized nature, manifested in the application of unified commands, reporting formats, briefings, operational reports, and planning procedures.

At the same time, practical experience indicates a number of challenges, including an insufficient level of language proficiency among personnel, a limited vocabulary in the field of military terminology, difficulties in understanding spoken language delivered in various accents, as well as psychological barriers to using a foreign language under stressful conditions.

Promising directions for enhancing the effectiveness of language training include the implementation of communicative-oriented teaching methods, active use of scenario-based simulation, role-playing activities, situational exercises, and the integration of digital educational platforms. Particular attention should be paid to

developing professional communication skills in conditions as close as possible to real combat environments.

Thus, military English serves not only as a means of intercultural communication but also as a vital element of operational interoperability and combat readiness of units engaged in multinational operations. Further development of the system of language training for military specialists is a necessary prerequisite for the integration of the Armed Forces of Ukraine into the Euro-Atlantic security environment.

ANALYSIS OF THE USE OF RUSSIAN UAVS AND MEASURES TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF THEIR INTERCEPTION

R. Popadiuk; A. Koniev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Russian UAV employment against Ukrainian infrastructure – particularly critical infrastructure facilities (CIF) – is an increasing concern due to its operational potential. Such attacks pose threats to the country's environmental and economic security and create risks to the continuity of operations of key state critical assets.

Tactics and methods of employment are constantly evolving, including maneuvering, route changes, and increased flight altitudes, which significantly reduces the effectiveness of engaging such targets by mobile fire groups equipped with heavy machine guns.

In response to these threats, the Defense Forces of Ukraine have begun implementing a new approach to counter russian UAVs, including the use of anti-air unmanned systems, known as interceptor drones, designed to detect, acquire, and track enemy UAVs in the airspace, followed by their destruction.

At the same time, the use of interceptor drones is not a universal solution. It is necessary to concurrently strengthen other components of air defense, including mobile EW teams, increase the number of mobile fire groups equipped with short-range and very short-range air defense assets such as MANPADS, the Avenger SHORAD system, and air defense systems including Gepard and Skynex. It is also advisable to retain mobile fire groups armed with machine guns to provide coverage at extremely low altitudes.

APPROACHES TO ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF UAV INTERCEPTOR EMPLOYMENT

A. Volkov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At present, traditional methods for assessing the effectiveness of air defense systems, focused on conventional engagement means, do not account for the specific features of UAV interceptors. This creates a need to develop a methodology capable of evaluating the combat capabilities of UAV interceptor units while considering temporal, spatial, and organizational constraints.

The study proposes assessing effectiveness through a set of indicators reflecting the capability to intercept a target before it reaches the defended asset. Intermediate indicators include reaching the interception line and guidance accuracy, while final indicators characterize the preservation of defended objects and reduction of the

aerial threat. This approach integrates temporal and spatial aspects and accounts for the relationship between UAV interceptor deployment and aerial target flight paths.

The methodology aggregates probabilistic characteristics across all interception stages and considers the potential for group employment and the units' combat readiness. This allows linking combat employment parameters with indicators of defended asset survivability and provides a foundation for optimizing the organization of air defense units employing unmanned interceptors.

AIR DEFENSE IN THE CONTEXT OF FULL-SCALE AGGRESSION

V. Yaroshchuk; D. Shchaslyva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

With the start of the full-scale invasion, the role of our country's air defense has grown exponentially. It is a complex, multi-level system that combines the latest Western technologies, modernized Soviet heritage, and unique tactical solutions. The uniqueness of air defense lies in its flexibility and adaptability. It combines Soviet complexes with modern Western complexes and systems. This combination creates a flexible defense capable of responding to various types of targets, from different types of drones to supersonic missiles.

In fact, air defense is a symbiosis of technology and the human factor. It is a flexible structure that is constantly evolving, and its main advantage is the skill of specialists whose ability to make accurate decisions in a split second determines the outcome of a battle. Without effective air defense, the enemy could destroy critical infrastructure, logistics hubs, and military facilities in the rear with impunity. It is air defense that makes such attacks ineffective and the sky safer. Thanks to it, the country gains several critical advantages at once: the safety of the population, the protection of infrastructure, support for units and divisions of the Armed Forces of Ukraine, and economic stability. Today, our state not only operates foreign systems but also actively creates its own. Development is moving in the direction of integrating Western missiles with Soviet launchers, using AI algorithms for faster target detection and classification, especially during massive drone attacks, and developing Ukrainian radar stations that consume less energy, require minimal maintenance, and are capable of operating in conditions of active interference. Domestic engineers are working on the creation of a new generation of mobile air defense systems capable of autonomously detecting, tracking, and destroying targets using artificial intelligence.

LEVERAGING AERIAL TARGET SIGNATURE DATA INTO THE TROOP LEADING PROCEDURES

Yu. Halkin; Ye. Herasymov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aerial assault is characterized by a surge in strike UAVs and decoys. Traditional air defense battle preparation often relies on averaged radar cross-section (RCS) values, failing to account for the anisotropic structure of secondary radiation in the resonance region. Such simplifications lead to inaccuracies in calculating detection envelopes and assessing risks during enemy aerial threat analysis. This research evaluates the feasibility of integrating a priori radar signature data into METT-TC situational assessment phases. The results demonstrate that

incorporating backscattering patterns (BSPs) into troop leading procedures transforms theoretical modeling into tangible tactical advantage. Utilizing BSPs enables evidence-based decisions for optimal radar positioning, predicated on a synthesis of the tactical environment, anticipated enemy courses of action, and organic equipment performance. Since BSPs dictate RCS levels relative to the illumination angle, radar site selection must prioritize aligning the station's boresight with the target's peak reflectivity. This ensures maximum signal intensity, bolstering detection probability and tracking robustness. Applying a priori signature data within the METT-TC framework facilitates a shift toward deterministic ISR capability calculations, minimizing coverage gaps. Specialized detection analysis for low-observable objects increases identification reliability and situational awareness. Future research should integrate BSP methodologies into Intelligence Preparation of the Battlefield to refine threat models and optimize engagement area selection through target anisotropic properties.

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF AIR DEFENSE FORCES OF THE LAND FORCES

A. Galuzinskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The main goal of managing the Air Defense Forces of the Land Forces is to ensure the effective execution of combat missions by the Air Defense Forces of the Land Forces within the established deadlines with minimal expenditure of forces and resources. To obtain a positive result, an air defense management system is being created in the operational area. It is a set of locally located and functionally and hierarchically connected control bodies, control points, means of communication and automation, as well as special means that ensure the collection, processing and transmission of information. It must ensure the coordinated operation of command posts, their information support, and functional interaction of command authorities based on a unified perception and understanding of data on the situation, troop actions, command commands, and reports transmitted and received.

At the same time, the control system acquires the property of emergence, that is, the appearance in the system of properties that are not inherent in its elements separately and are not a simple sum of the properties of the elements that make up it.

The control system does not affect the enemy. The control system affects the course and outcome of combat operations indirectly through subordinate forces and means by formulating rational decisions, timely setting combat tasks for subordinates, and controlling fire during the battle.

KINEMATIC METHODS FOR GUIDING UNMANNED AERIAL VEHICLES TO MOVING AIRBORNE TARGETS

S. Riazantsev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The concept of guiding an unmanned aerial vehicle (UAV) interceptor is still in its infancy, in its early stages of development and is essentially based on the practical experience of using UAV interceptors by the Ukrainian Armed Forces, as well as on fundamental definitions such as “course”, “azimuth”, “radar field”, “interception”, “air combat”, etc.

Guidance methods are a fundamental part of control systems for guiding air targets. They are based on the kinematics of relative motion in polar coordinates.

The effectiveness of UAV guidance with an air target is determined by the choice of an appropriate guidance method that describes the law of change in the interceptor's trajectory relative to the coordinate line of sight. In modern guidance theory, guidance methods are considered not as a single universal algorithm, but as a set of separate kinematic approaches, each of which is optimized for specific target movement conditions, approach speed, UAV maneuverability, and control system information limitations.

The paper investigates the methods of parallel approach, proportional approach, direct approach, pursuit, and maneuver. Particular attention is paid to the essence of solving the guidance problem by analytical means. The advantages, limitations, and scope of application of each method are presented. Their competent combination is the key to effective destruction. In modern conditions of UAV interceptor application, these methods are rarely used in isolation. Most practical control systems implement combined guidance methods, in which one method is basic and the others are corrective, allowing adaptation to target maneuvers, delays in measurement channels, and energy parameter limitations of the complex.

ANALYSIS OF SOFTWARE FOR STUDYING 3D MODELING IN MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

O. Romaniuk; S. Chumak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of the ongoing digitalization of the security and defense sector, the implementation of 3D modeling technologies in the training system of military specialists is becoming increasingly important. The use of three-dimensional modeling in military educational institutions (MEIs) contributes to improving the quality of cadet training, developing spatial thinking, technical competencies, and ensuring effective mastering of complex samples of weapons, military equipment, and tactical scenarios.

The analysis of modern software for studying 3D modeling makes it possible to identify the most appropriate tools for application in the military educational environment. Such software products include Autodesk Maya, Blender, and Tinkercad, which differ in functionality, complexity level, and educational potential. Autodesk Maya is a professional tool that provides high-precision modeling of complex objects, animation, and visualization, and can be used to create educational 3D models of weapons, combat vehicles, and elements of radar and electro-optical systems. This software is advisable for training specialists of technical and engineering profiles, as well as for the development of educational and methodological materials and training simulators.

Blender occupies a special place in military education as a universal free open-source tool that supports modeling, animation, simulation, and visualization. Its application allows the creation of three-dimensional models of weapons, military equipment, infrastructure elements, and the simulation of combat situations and training-tactical scenarios. An important advantage of Blender is its accessibility, flexibility, the possibility of integration into the curricula of military educational institutions, and its use in the research activities of cadets and academic staff.

At the initial stage of cadet training, it is advisable to use Tinkercad as an intuitive online environment that provides the basic formation of spatial design,

engineering, and technical thinking skills. This tool can be effectively applied in the study of technical disciplines, military engineering, and information technologies.

The implementation of 3D modeling software in military educational institutions increases the visualization of the educational process, enables the creation of digital training mock-ups of weapons and military equipment, and facilitates the development of practical skills in working with modern information technologies. This is especially relevant for the training of officers in specialties related to the operation of complex technical systems, air defense missile systems, radio-electronic equipment, and automated control systems.

Thus, the rational selection of 3D modeling software in military educational institutions should be carried out taking into account the level of cadet training, the profile of the military specialty, and educational and methodological tasks. The integrated use of Tinkercad (basic level), Blender (universal educational and research level), and Autodesk Maya (professional level) will contribute to improving the quality of training of military specialists, developing their digital competencies, and ensuring effective mastering of modern weapons and military equipment.

FEATURES OF TARGET ALLOCATION UNDER COMBINED EMPLOYMENT OF UAVS (SHAHED/GERBERA) AND BALLISTIC WEAPONS

N. Piskunov¹; O. Kravchenko¹; O. Yasynskyi²; O. Kravtsov³

¹Operational Command "Pivnich"

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

³School of training of air defense units of the training center

Target allocation under conditions of mass employment of Shahed and Gerbera unmanned aerial vehicles is characterized by a sharp increase in decision-making complexity due to the saturation of the airspace with a large number of similar targets. In such conditions, classical target selection approaches based on individual interception or localized threat assessment lose their effectiveness and require a transition toward systemic, context-oriented resource allocation.

Massed UAV employment creates a situation in which a significant portion of targets share similar tactical and technical characteristics, closely aligned flight trajectories, and overlapping engagement time horizons. This necessitates a shift from allocating resources to individual targets toward allocating them to target streams, taking into account their patio-temporal grouping and the projected impact on defended assets. In such an environment, target priority is defined not by individual parameters, but by the target's role within the overall structure of the air attack.

The combined employment of UAVs and ballistic weapons further complicates the target allocation process due to the fundamental asymmetry of the threats involved. Ballistic weapons are characterized by extremely limited reaction times and a high destructive potential, while UAVs exhibit longer presence in the air and the ability to maneuver along their routes. This creates a situation in which target allocation must be conducted simultaneously across different time scales, making the use of unified prioritization criteria impractical. Under conditions of a combined strike, a key feature of target allocation is the need to maintain a balance between immediate response to high-speed threats and sustained management of UAV interception. Overloading the command and control system with targets of one type

inevitably leads to loss of control over others, thereby increasing overall risk even when sufficient engagement assets are available.

Thus, target allocation in these conditions should be regarded as a problem of managing a multi-level dynamic system, where effectiveness is determined by the ability to integrate heterogeneous threats into a unified decision-making logic. Its defining characteristic is the transition from reactive selection of individual targets to adaptive management of priorities in time and space, with consideration of the overall structure of the air attack.

IMMERSIVE-REMOTE CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USING CELLULAR TELECOMMUNICATION NETWORKS

O. Babych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

During the repulsion of Russia's armed aggression, unmanned aerial vehicles (UAVs) have become one of the key elements of confrontation, ensuring the execution of aerial reconnaissance, surveillance, and target designation missions. Practical combat experience in the employment of UAVs indicates that the effectiveness of their use largely depends on the range, reliability, and security of control systems.

Of particular importance during combat operations is long-range UAV control to ensure operator safety. The report substantiates the use of cellular-type telecommunication networks for the transmission of control commands, video streams, and telemetry data, which makes it possible to overcome the limitations of traditional radio control links operating in the 2.4 GHz or 5.8 GHz bands that have a limited range and require line-of-sight between the operator and the vehicle.

Examples of UAV control via cellular telecommunication networks are presented, which enabled long-range flights, real-time video transmission, monitoring of altitude, speed, spatial orientation, and technical condition of the vehicle, as well as acquisition of data from onboard sensors and obstacle detection systems.

The report also substantiates the integration of UAVs with cloud services and mobile applications and provides proposals for implementing automated route planning, obstacle avoidance functions, and data storage.

PROPOSALS FOR THE DEVELOPMENT OF A MULTIPLE-USE UNMANNED INTERCEPTOR AIRCRAFT TO COUNTER RECONNAISSANCE AND STRIKE UNMANNED AIRCRAFT THE MAIN OBJECTIVE OF THE PROPOSED UAV IS TO INTERCEPT ENEMY RECONNAISSANCE AND STRIKE UAVS

D. Chezlov; M. Maksymov; O. Garaeva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In conditions of full-scale combat operations, the issue of reliable air cover for units of the Armed Forces of Ukraine and critical infrastructure facilities is of paramount importance.

The report analyzes existing types of unmanned aerial vehicles (UAVs) interceptors, as well as their practical application. A number of significant shortcomings have been identified.

The necessity of transitioning to the concept of introducing reusable unmanned aerial systems has been substantiated, which will significantly reduce the cost of destroying air targets and increase the combat effectiveness of air defense units, unmanned systems forces, and the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

Emphasis was placed on designing a detailed 3D model of the UAV using modern SolidWorks software.

It is proposed to integrate the developed UAV with existing detection systems and implement artificial intelligence technologies for practical interception.

In particular, the use of neural networks based on YOLO architecture for automating combat operations is being considered. This solution provides autonomous recognition, stable tracking, and accurate targeting of airborne targets, minimizing the influence of the human factor.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR OPTIMAL DISTRIBUTION OF RADAR ENERGY RESOURCES IN THE AIR TARGET SEARCH MODE

V. Reshetnik¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

I. Mykhailov¹; O. Romaniuk²; O. Piskunov³

¹Kharkiv National University of Radio Electronics;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

³Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

The limited energy resources of radar systems and the increasing number of air objects (real and false targets) within the detection area necessitate the development of efficient algorithms for their search and detection. Modern phased array radars employ inertia-free control of the radiation pattern and possess powerful computational capabilities, which enables the application of optimal target search algorithms.

The developed model for optimal distribution of energy resources of a phased array radar makes it possible to determine the scanning order of the detection area cells and the amount of energy resources (number of pulses) allocated for the inspection of each cell. The radar beam control algorithm during target search and detection ensures optimality based on the criterion of minimizing the average target detection time. The model is based on the maximum element method, which is used to determine the priority and scanning sequence of the surveillance area cells – at each step, the cell with the highest expected increase in detection probability is selected.

In developing the algorithm, it was assumed that the surveillance area is represented by a discrete set of flat cells, the number of targets is limited and smaller than the number of cells. The energy resource is limited by the number of pulses emitted by the radar during a surveillance cycle, while the time spent on inspecting a cell is determined by the number of pulses radiated into it.

The developed model can be implemented as a software module of a radar control system and used to study the efficiency of various search algorithms. Simulation results have shown that the use of the optimal scanning algorithm increases radar throughput by an average of 10–15 % compared to uniform sequential scanning.

CALCULATION OF THE POWER OF RADIOMETRIC OBJECTS TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF THE ATMOSPHERE

V. Kudriashov¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Kolomiitsev², Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Bielimov³, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; M. Bielous³

*¹O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics
of the National Academy of Sciences of Ukraine;*

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

³Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

It is known that the emissivity of the atmosphere, based on Kirchhoff's law, can be determined by its absorptivity. The atmosphere has a bright temperature that "shields" the temperature of objects on the surface being mapped. The calculation of the power of radiometric objects, taking into account the influence of the atmosphere, is based on modeling radiation transfer, considering attenuation (absorption and scattering) and atmospheric radiation.

The report analyzes the main components of the calculation: atmospheric correction (calculation of parameters for correcting the influence of the atmosphere on the measured signal); modeling (use of software packages for modeling atmospheric profiles); calculation (use of tools for calculating integral correction indicators); atmospheric characteristics (taking into account the absorption and scattering of radiation in the atmosphere) and radio brightness (measurement of radio brightness temperature to assess signal attenuation in specific ranges). This approach ensures high accuracy in determining temperature fields and object characteristics by correcting the influence of the atmosphere on radiometric data. The features of the calculation are revealed. The calculated values of the temperature of atmospheric radiation "shielding" the measurement object are presented. At the same time, the total losses along the path of propagation of radiometric signals, as well as the absorption coefficient, are taken into account. The graphic material is presented.

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF KINETIC COUNTER-UAV METHODS AGAINST PLATFORMS WITH IMMUNITY TO ELECTRONIC WARFARE

S. Dribnytsia¹; V. Salohor²; S. Feldi²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Educational and Research Testing Range of High-Technology
Weapons and Military Equipment*

The large-scale employment of unmanned aerial vehicles (UAVs) during the Russo-Ukrainian War creates an urgent need for effective Counter-UAV (C-UAV) capabilities. Modern UAVs are evolving rapidly: the use of fiber-optic control links makes them invulnerable to radio-frequency interference, while the implementation of machine vision algorithms allows for autonomous terminal guidance even in the event of a control signal loss. Under such conditions, traditional electronic warfare (EW) assets lose effectiveness at the terminal phase of the attack, which brings kinetic engagement methods (small arms, net-based interceptors) to the forefront. This report presents the findings of the study on the kinetic impact of a specialized C-UAV effector based on nylon net. The system operates on the

principle of delivering a net-payload canister to a calculated set-forward point using the energy of propellant gases. At the designated point, the net deploys, leading to the mechanical entanglement of the UAV's propellers.

During the experiments, the ballistic characteristics of the net-payload canister, the dynamics of net deployment, and the overall UAV engagement effectiveness were studied.

It was established that the system's performance critically depends on the physical and mechanical properties of the net material.

Thus, the obtained data allow for the formulation of clear technical requirements for the materials and design of kinetic net-based systems. This is a necessary condition for creating reliable means of protection against UAVs with immunity to electronic warfare effects.

AI-ENABLED COUNTER-UAV SYSTEMS IN MODERN CONFLICTS

A.M. Talibov¹; E.N. Sabziev; A.B. Pashaev; E.G. Hashimov^{2,3}

*¹Institute of Mathematics of the Ministry of Science and Education,
Baku, Azerbaijan;*

²National Defense University, Baku, Azerbaijan;

³Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

This paper analyzes the role of Artificial Intelligence in countering unmanned aerial vehicles in contemporary conflicts, with emphasis on the operational pressures created by the rapid proliferation of small, low-altitude, and low-signature UAVs. Recent combat experience demonstrates that conventional air defense architectures face persistent limitations in detecting and classifying compact platforms that operate below radar coverage envelopes, exploit cluttered backgrounds, or employ low-observable materials. The study frames counter-UAV as an end-to-end decision cycle that includes detection, track formation, identification, threat assessment, and response selection under severe time constraints and uncertainty. The objective is to clarify where AI provides measurable advantage across this cycle and to outline an integrated concept for AI-enabled counter-UAV architectures.

The paper synthesizes three principal AI contribution layers. The first layer is AI-driven sensing and detection. Machine learning models applied to radar micro-Doppler signatures, radio-frequency emissions, and electro-optical or infrared imagery can enhance sensitivity in clutter and improve false alarm control by learning discriminative patterns beyond hand-crafted thresholds. Multi-sensor fusion algorithms combine heterogeneous cues to increase robustness when any single modality is degraded by terrain, weather, or concealment. The second layer is automated recognition and classification. AI-based object recognition supports rapid discrimination of UAV types and mission profiles, including differentiation between reconnaissance drones, loitering munitions, and improvised commercial platforms. This enables earlier inference of likely intent and potential payload, which is essential for prioritizing engagements and preventing resource exhaustion. The third layer is AI-assisted engagement management. Decision models can rank threats based on trajectory, proximity to protected assets, estimated lethality, and confidence measures, then recommend or trigger appropriate countermeasures such as electronic attack, kinetic interception, directed-energy options, or layered soft-kill and hard-kill combinations. AI-enabled fire control and automatic targeting can reduce latency, improve aim-point selection, and support coordinated action among sensors, effectors, and command nodes.

The study emphasizes that the decisive value of AI emerges when it is embedded into a closed-loop counter-UAV system rather than deployed as a stand-alone classifier. Integration requires consistent data pipelines, calibrated confidence outputs, and governance rules that define the degree of human oversight for automated actions. Key performance indicators include probability of detection, classification accuracy, track continuity, time-to-decision, and engagement success under saturation conditions. The paper also discusses practical constraints, including dataset scarcity for rare UAV signatures, domain shift across environments, vulnerability to electronic deception and adversarial tactics, and the need for verifiable and auditable AI behavior in high-stakes defense settings.

Overall, the findings indicate that AI can transform counter-UAV operations by improving detection in complex backgrounds, accelerating identification and threat scoring, and enabling faster, better aligned responses within layered air defense. As AI methods mature, counter-UAV systems are expected to evolve toward more autonomous sensor-effector coordination, higher resilience to electronic warfare, and scalable defense against swarms, reshaping traditional air defense paradigms.

References

1. Maharramov R.R. Prospects for the creation of automatic control systems to counter UAVs in air defense systems // Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference. 2024, Vol. 3. - p. 124-125.
2. Maharramov R.R. Some aspects of detection of UAV / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 14-th International Scientific and Technical Conference. 2024. Volume 1: sections 1, 2. - pp. 44-45.
3. Hasanov A.H. et al. Hybrid GIS-UAV framework for revealing concealed objects in mountainous landscapes. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2025, Volume 4: sections 6. p. 60.
4. Dergachov, K. et.al. Adaptive algorithm for visual positioning of UAVs in the local environment. / CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol.3981. P. 103-114.
5. Hashimov E. G. The flight dynamics of drones //National security and military sciences. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 11-16.
6. Muradov S.A. et al. Determining the location of the UAV equipped with a homing device based on radio beacons // Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – № 6. – С. 54-56.
7. Hashimov E. G. et al. About some aspects of using a flock of UAVS //Ін Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. – 2023. – Т. 1. – С. 4-5.
8. Hashimov E. et al. Mathematical aspects of determining the motion parameters of a target by UAV // Advanced Information Systems. – 2023. – Т. 7. – №. 1. – С. 18-22.
9. Hashimov E. G. About one method of navigation task solution // AHMC after H. Aliyev. Scientific Review. – 2013. – Т. 1. – №. 20. – С. 45-49.
10. Nasibov Y. A. et al. Modelling of the rationally deployment of observing systems // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – №. 3, № 2. – С. 10-13.
11. Hashimov E. G. et al. Development of the multirotor unmanned aerial vehicle // National security and military sciences. – 2017. – Т. 3. – №. 4. – С. 21-31.

DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF AUTOMOTIVE CHASSIS TO ENSURE THE DEPLOYMENT OF THE AIR DEFENSE FORCES WITHIN THE UKRAINIAN GROUND FORCES

B. Mynenko¹; O. Onushko¹; S. Tymofieiev²

*¹Heroes of Kruty Military Institute of Telecommunication
and Information Technologies;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of repelling air attacks by the Russian Federation against the Ukrainian people, the mobility of Air Defense (AD) assets mounted on Automotive Base Chassis (ABC) is a critical issue.

The primary criteria for an ABC include: fragmentation resistance, high off-road mobility, extended service life, and design simplicity.

The use of differentiated ballistic protection will minimize the risks of crew casualties from fragments during enemy fire. Ensuring high ground mobility on low-bearing soils and off-road conditions can be achieved through the implementation of a Central Tire Inflation System (CTIS) and high ground clearance.

Furthermore, the optimization of kinematic schemes contributes to increased reliability indicators and extends the operating time (MTBF) until the first major overhaul. The design simplicity of components minimizes requirements for personnel qualifications and specialized equipment when performing field repairs.

Consequently, the proposed design solutions will enhance the mobility level of the ABC across key performance indicators. Specifically, the optimization of geometric and ground mobility parameters guarantees efficient mission execution in challenging terrain. The implementation of a differentiated ballistic protection system significantly increases crew survivability by minimizing the impact of secondary spall fragments. At the same time, the application of modular architecture combined with an increased resource potential of components ensures longer maintenance intervals and the capability for rapid restoration of combat readiness directly in field conditions.

STUDY OF THE RESILIENCE OF FIXED-WING UAV ONBOARD EQUIPMENT TO ELECTRONIC WARFARE EFFECTS

*V. Sydorov¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Ye. Porynos²; I. Yachna²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Educational and Research Testing Range of High-Technology
Weapons and Military Equipment*

Fixed-wing unmanned aerial vehicles (UAVs) are critical assets for reconnaissance, fire correction, and target engagement. However, the effectiveness of their employment largely depends on their resilience to electronic warfare (EW) systems, which generate electromagnetic interference. Modern electronic warfare systems operate in two main areas: suppression of satellite navigation signals (GPS/GNSS) and interruption of control and video data transmission channels.

The test object was an unmanned aerial system (UAS) consisting of an aerial vehicle and a ground control station. The objective of the study was to assess the resilience of the UAV onboard systems to active EW effects under real operational conditions. Experimental research was conducted through a combination of ground-based and flight tests. During ground tests, the operating frequency bands of the control, telemetry, and video transmission channels were identified. In flight trials, the performance of the UAV systems was evaluated under conditions of active electronic jamming. It has been confirmed that this unmanned aerial system is capable of performing combat and reconnaissance tasks in conditions of dense enemy radio-electronic interference. The absence of data packet loss and the preservation of full controllability allow the system to be recommended for use in areas with high-intensity use of electronic warfare means. The conducted tests confirmed high resilience of the evaluated UAS onboard equipment to electronic warfare effects. The system proved capable of performing operational objectives in complex jamming environments.

CLASSIFICATION FEATURES OF THE METHODS FOR APPLYING REFLECTIVE COATINGS TO COUNTER OPTO-ELECTRONIC AMMUNITION GUIDANCE SYSTEMS

A. Katunin¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Kolomiitsev², Doctor of Technical Sciences, Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Countering optoelectronic guidance systems of ammunition is a critical element of protecting ground, sea and air targets. Countermeasure methods are usually divided into passive, active and combined. Particular attention should be paid to the means and measures used in the implementation of both passive and active countermeasure methods. Therefore, it is relevant to study the features of the use of reflective coatings, which are used both to reduce the optical visibility of objects and to form optical interference and false targets. However, at present, the sources have not studied the classification of methods for applying reflective coatings to counter optoelectronic systems and have not proposed the corresponding features for the classification of these methods.

Thus, substantiating the characteristics of the classification of methods for using reflective coatings to counter optoelectronic ammunition guidance systems is an urgent scientific task.

It is proposed to use the following features of the classification of methods for applying reflective coatings to counteract optoelectronic guidance systems: type of optoelectronic guidance systems; resource of application; duration of application; type of application; place of application; mutual location of the object and optoelectronic guidance systems; physical phenomenon that is realized in the process of application; method of counteraction and expected result.

Based on the proposed features, it is possible to propose a classification of methods for applying reflective coatings to counter optoelectronic ammunition guidance systems, which will allow identifying and evaluating potentially effective areas of application of these coatings.

CHARACTERISTICS OF WEAPON SYSTEM FAILURE IN LAND FORCES AIR DEFENSE UNITS DURING COMBAT OPERATIONS

*O. Stavtyskiy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Ivanets², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Yasynskiy¹
¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;
²State Scientific Research Institute for Testing and
Certification of Armaments and Military Equipment*

The effectiveness of combat mission execution by Land Forces air defense units during active operations is primarily determined by their level of technical readiness. Technical readiness is defined as the probability that a unit possesses the required number of mission-capable weapon systems at the commencement of an operation and that these systems will maintain continuous, failure-free operation throughout the mission's duration. The level of unit technical readiness enabling effective mission execution is governed by the adequacy of technical equipment, the level of unit manning with armaments and military equipment, and the operational readiness status of weapon systems.

During combat operations, unit's armaments and military equipment may become non-mission-capable due to inherent technical reliability degradation, enemy kinetic action, or a combination of both. Consequently, weapon system failures occur under the separate or simultaneous influence of internal reliability factors and external hostile effects. Accordingly, the probability of failure in Land Forces air defense units is determined not only by the individual negative effects of the above factors but also by their synergistic impact on the operational condition of the unit's assets.

Therefore, this probability is mathematically modeled as the occurrence of two simultaneous random events: technical failure due to wear and tear and combat damage due to fire exposure, which allows calculating the integral survivability index of weapons using the total probability formula.

IMPROVED METHOD FOR ESTIMATING THE ERROR IN CALCULATING THE VALUES OF THE HEADWIND COEFFICIENT OF A PROJECTILE

*O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; I. Yachna²;
V. Chemerys³; O. Storozhenko³*

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

*²Training and Research Testing Ground of High-Tech
Armament and Military Equipment;*

*³State Scientific Research Institute of Armament and Military
Equipment Testing and Certification*

The drag coefficient of a projectile is a dimensionless quantity that depends on the shape, angle of attack, and Mach number (speed) of the projectile. An accurate estimate requires a polynomial approximation of the trajectory. The drag coefficient of a projectile is the main factor determining its flight trajectory.

Therefore, the accuracy of its estimation directly affects the calculation of the projectile's flight range. Semi-empirical approaches, polynomial approximation, and external trajectory measurements are used to accurately determine the aerodynamic characteristics of the projectile.

Thus, improving the method for estimating the error in calculating the drag coefficient of a projectile is a pressing scientific task.

The report proposes an improved method for estimating the error in calculating the drag coefficient of a projectile using the acceleration and velocity of the center of mass. The essence of the improved method is proven. Both the basic formulas for performing calculations and their results are presented.

It has been shown that the error in the drag coefficient values of a projectile can be calculated based on the results of external trajectory measurements of the projectile.

The choice of a mobile single-point laser information and measurement system suitable for use at the stage of flight tests of projectiles to refine their drag coefficient values is justified.

FEATURES OF THE USE OF GROUND-BASED ROBOTIC SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. Kulieshov², Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
S. Klivets², Candidate of Technical Sciences; T. Kulieshova²*

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Currently, ground robotic systems are automated (remotely controlled) machines (wheeled or tracked platforms) designed to perform various tasks on land without a human on board. They are widely used in the military sphere in dangerous and difficult conditions for logistics (delivery of necessary cargo, evacuation of the wounded, etc.), reconnaissance, mining, demining, and combat operations. Various types of sensors, cameras, and secure communication channels are used to control them.

The integration of artificial intelligence into ground-based robotic systems has increased their autonomy. In combat conditions (military operations), this means that such a platform can, for example, either conduct reconnaissance, deliver ammunition to the front line, or evacuate wounded soldiers from the battlefield, etc., without the risk of involving additional personnel. Thus, the specifics of applying ground-based robotic systems for military purposes based on artificial intelligence is a relevant scientific task.

The report analyzes the composition of the main technologies used in ground-based robotic systems, which are an integral part of NATO's logistics and reconnaissance forces and capabilities. It examines military applications and examples of military ground robots based on artificial intelligence.

Thus, the examples given show how artificial intelligence increases the efficiency, autonomy, accuracy, and safety of ground-based robotic systems, making them indispensable assistants during combat operations (military operations).

IMPROVED MATHEMATICAL MODEL FOR ESTIMATING THE VALUES OF THE FRONTAL RESISTANCE COEFFICIENT OF A MODERN PROJECTILE

O. Kolomiitsev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

M. Pohasič²; A. Lernerovych²; O. Chebakova²

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

*²State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

Ballistic calculations of the flight trajectories of modern projectiles focus on modeling their movement in the air, taking into account aerodynamics and control, especially for high-precision and maneuverable ammunition, in order to achieve maximum accuracy. Such accuracy can be achieved by combining theoretical methods and experimental data, combining active flight segment models (for missiles) with classical ballistics to create firing tables and computer models.

When evaluating the drag coefficient during field tests of a modern projectile, it is possible to use various external trajectory measurement stations. Based on the data obtained from such stations, it is possible to generate initial data for calculating the values of the coefficient function with the specified permissible error and the necessary mathematical apparatus that links the measured trajectory parameters of a modern projectile with the desired function.

Thus, improving the mathematical model for estimating the drag coefficient values of modern projectiles is a pressing scientific task.

The report proposes an improved mathematical model for estimating the values of the frontal resistance coefficient of a modern projectile based on the model of tangential acceleration of its center of mass. It reveals the peculiarities of calculating the necessary velocities and accelerations of a modern projectile by differentiating analytical functions. These functions are obtained by interpolating the tabulated coordinates of the center of mass of a modern projectile with polynomials in a sequence of virtual coordinate systems.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНОГО ОЗБРОЄННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ВІЙСЬК ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПОВІТРЯНИМ ПРОТИВНИКОМ

Я.С. Горбачова, д.філос.; К.М. Горбачов, д.філос.

Національний університет оборони України

В ході відсічі збройної агресії російсько-терористичної держави військові частини та підрозділи механізованих військ Сухопутних військ Збройних Сил України постійно стикаються з необхідністю боротьби з засобами повітряного нападу противника, основними з яких є безпілотні літальні апарати різних класів. При цьому, до виконання таких завдань залучаються підрозділи, які у своєму складі мають сучасні зразки бойових машин з новітнім озброєнням, що надходять у якості міжнародної військової допомоги.

Значна частка озброєння бойових машин піхоти закордонного виробництва оснащується сучасними гарматами калібром 30, 35 або 40 мм, при цьому застосовується широка номенклатура боєприпасів. Основними типами боєприпасів, звичайно, є уламкові, фугасні та бронебійні снаряди звичайної та підвищеної могутності. Але, для ураження груп піхоти використовуються

боєприпаси airburst ammunition (ABM). В ході ведення бойових дій механізованими підрозділами було зафіксовано низку проблем при спробах боротьби з засобами повітряного нападу.

Аналіз практичного виконання стрільб (ведення вогню) з використанням АВМ показав, що основною причиною невиконання завдань, є незрозуміння командирами підрозділів (машин) та безпосередньо операторами гармат, механізму роботи систем бойових машин, які працюють під час стрільби. Так, система управління вогнем чітко визначає час підриву боєприпасів під час стрільби по наземних цілях, тому що отримує дані про ціль, у яку наведено гармату, від поєднаного лазерного далекоміру. Намагання оператора вести вогонь по повітряній цілі при такій побудові системи приречено на невдачу за відсутності відбитого від цілі лазерного проміню. Тож, необхідне швидке впровадження у військах відповідної підготовки.

ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ПІД ЧАС ВІЙНИ ЗА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ

С.О. Кравченко¹, к.військ.н.; К.М. Ткаченко², д.філос.;

О.О. Новикова², к.т.н.

¹Національний університет оборони України;

²Національна академія Національної гвардії України

Аналіз досвіду підготовки і ведення ППО в ході війни за Незалежність України свідчить про необхідність створення єдиної системи протиповітряної оборони, як в операційній зоні, так і регіоні.

Але, на даний час, існує низка проблем, однією з яких, є розбіжності у плануванні ППО угруповань військ та протиповітряного прикриття важливих держаних об'єктів. Це проблемне питання виникло ще до початку війни з переходом ЗС України на трьох-видову структуру й зникнення Військ ППО, на які в повній мірі була покладена відповідальність за ППО. Існувало, але не стояло так гостро, бо діяльність військ ППО СВ та ПС ЗС України, при відсутності загроз з повітря, не вимагала тісного узгодження.

З початком війни виконання завдань відсічі збройної агресії вимагало єдиного планування ППО угруповань військ в операційній зоні та важливих об'єктів держави поза нею, але цього не відбувалось. На етапі планування першої оборонної операції та в подальшому, як правило, не було остаточних даних з планування завдань ПС ЗС України протиповітряного прикриття, що не дозволяло своєчасно та якісно спланувати протиповітряну оборону в межах операційної зони.

Другою проблемою була невизначеність прав і відповідальності за ППО у зоні операції між командувачами угруповань військ та повітряним командуванням, що не дозволяло чітко розподілити обов'язки і сили та засоби.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК

Д.С. Врубльовський

Національний університет оборони України

З початку повномасштабної агресії російської федерації у 2022 році протиповітряна оборона стала критичним елементом національної безпеки України. Для виснаження системи протиповітряної оборони держави, ворог

активно здійснює масоване застосування ударних БпЛА типу “Shahed” з різних напрямків на всю глибину України.

Системний підхід противника до зміни тактики застосування ударних БпЛА, значно знижує ефективність їх ураження, що створює проблеми по забезпеченню надійного прикриття важливих (критичних) об’єктів держави.

На даний час підрозділи ППО СВ ЗС України виконують завдання протиповітряної оборони угруповань військ в зоні ведення оборонної операції, при цьому, в основному, застосовують зенітні (зенітно-кулеметні) установки й стрілецьку зброю для знищення ударних БпЛА типу “FPV”, “Lancet”, “Молнія” та знищують розвідувальні БпЛА типу “Орлан”, “Zala”, “SuperCam” БпЛА-перехоплювачами.

Як показують результати аналізу, підрозділи БпЛА-перехоплювачів при меншій чисельності мають достатньо високу ефективність й, таким чином, за рахунок можливого розширення організаційно-штатної структури підрозділів перехоплювачів у військах ППО СВ ЗС України може суттєво підвищити ефективність протиповітряної оборони.

Таке рішення, також, набуває вирішального значення у боротьбі з ударними БпЛА типу “Shahed”, й тому розвиток цього напрямку, наприклад, створення окремих частин чи підрозділів, БпЛА-перехоплювачів з окремим забезпеченням, засобами розвідки і засобами ураження, розгортанням додаткового пункту управління.

ПРОПОЗИЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ППО АК ЗА ДОСВІДОМ ВІЙНИ ЗА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ УКРАЇНИ

С.В. Яциук

Національний університет оборони України

Широкомасштабна агресія РФ чітко показала: АК потрібна власна, максимально автономна і маневрена система ППО. Оптимальні параметри ураження на сьогодні складають 20–25 км по глибині при висоті до 10 км. Умови на полі бою диктують перехід до трирівневої архітектури, адже противник масово і постійно застосовує БпЛА різних типів та високоточну зброю. Перший рівень (до 5 км), закривають мобільні вогневі групи, ПЗРК і засоби “окопного” РЕБ. Їхнє головне завдання – порятунок особового складу та техніки від FPV-дронів і скидів безпосередньо на лінії бойового зіткнення. Другий рівень (5–15 км). Тут працюють ЗРК, які тепер обов’язково доповнюються розрахунками швидкісних FPV-перехоплювачів. Корпусний ешелон (15–25 км) спирається на мобільні ЗРК, зокрема модернізовані Оса-АКМ або сучасні HJSAR-O. Вони здійснюють прикриття пунктів управління та логістики від ударів крилатих ракет чи тактичної авіації ворога.

Окремо варто виділити проблему економії дорогих ЗРК. Вирішення полягає в інтеграції ЗРК та операторів БпЛА в єдиний автоматизований контур. РЛС виявляє ціль та передає координати на пульт пілота FPV-перехоплювача. Перший удар по ворожому БпЛА завдає саме дрон. ЗРК залишаються в резерві на випадок промаху або для роботи по більш швидкісних та складних цілях.

Звісно, подібні технологічні зрушення вимагають суттєвого перегляду алгоритмів управління вогнем класичних засобів ППО та FPV-перехоплювачів в системі ППО АК. Також неможливо розглядати ППО у відриві від роботи комплексів РЕБ – вони повинні формувати єдиний захисний радіоелектронно-вогневий купол.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА І ОПОВІЩЕННЯ

С.В. Чалий

Національний університет оборони України

Війна за незалежність України продемонструвала якісну трансформацію способів застосування засобів повітряного нападу та суттєве зростання ролі системи розвідки повітряного противника і оповіщення (СРППО) у забезпеченні стійкості виконання завдань оперативного угруповання військ (ОУВ).

Особливістю війни за незалежність України є систематичне використання великої кількості малорозмірних повітряних цілей, що створює значне навантаження на системи виявлення та управління.

За таких умов СРППО набуває вирішального значення як інформаційна основа функціонування всієї системи протиповітряної оборони. Особливої уваги потребує забезпечення надійного контролю повітряного простору на граничних і малих висотах, де активно застосовуються крилаті ракети та ударні БпЛА.

Розвиток СРППО в операції ОУВ має здійснюватися за такими основними напрямками:

- формування багаторівневої інтегрованої системи спостереження;

- підвищення мобільності та розосередження сил і засобів;

- широке впровадження автоматизованих систем управління та цифрових технологій;

- забезпечення стійкості до радіоелектронного та кібернетичного впливу.

Таким чином, розвиток системи розвідки повітряного противника і оповіщення є одним із ключових напрямів удосконалення протиповітряної оборони оперативного угруповання військ. Її подальше вдосконалення має базуватися на принципах інтегрованості, мобільності, автоматизації, розосередження та стійкості до багатofакторного впливу.

ЕВОЛЮЦІЯ СИСТЕМИ ППО СВ В УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

В.В. Куценко, к.т.н., ст.д.

Національний університет оборони України

Досвід війни за незалежність України демонструє суттєву еволюцію тактики повітряних атак противника, що вимагає новітніх підходів до захисту повітряного простору. Противник перейшов від поодиноких ударів до складних комбінованих атак хвилями, які поєднують крилаті та балістичні ракети, ударні БпЛА, а також масове застосування КАБ з модулями УМПК. Основними цілями таких нападів є об'єкти критичної, насамперед енергетичної, інфраструктури.

Аналіз ефективності застосування сучасних західних систем ППО в умовах високої інтенсивності виявляє проблему негативного співвідношення "вартість-ефективність". Перехоплення масових дешевих БпЛА дорогими ЗКР

економічно та тактично не вигідне. Це обґрунтовує необхідність переходу до багатоешелюваної архітектури ППО.

Оновлена система ППО СВ має інтегрувати ЗРК SHORAD/VSHORAD, зенітну артилерію (калібру 30–57 мм), БпЛА-перехоплювачі, превентивних ударів по аеродромах та придушення систем наведення КАБ засобами РЕБ. Такий підхід дозволяє нейтралізувати повітряні загрози за допомогою економічно доцільних засобів і зберегти дефіцитний запас ЗРК для перехоплення пріоритетних повітряних цілей.

Критичним аспектом залишається забезпечення живучості системи ППО. Для її підвищення необхідно використання високоточних макетів з імітацією теплових і радіолокаційних сигнатур, інтенсивне маневрування та суворий контроль радіовипромінювання.

Надійна ППО досягається лише завдяки багатоешелюваній системі розвідки, управління, вогню та комплексним заходам із підвищення живучості інфраструктури.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Р.А. Ковальчук, к.т.н., доц.; Н.М. Гродзь, д.філос.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Розвиток сучасних зразків озброєння та військової техніки вимагає постійного удосконалення методів проектування та розрахунку елементів конструкцій. Використання методів CAE (Computer-Aided Engineering) дозволяє перейти від емпіричних розрахунків до створення високоточних математичних моделей, що мінімізує кількість натурних випробувань та прискорює впровадження нових зразків озброєння та військової техніки.

Основою розрахунку міцності елементів та вузлів військової техніки є метод скінченних елементів. Він застосовується для визначення напружено-деформованого стану (НДС) корпусів бронемашин, лафетів артилерійських систем, елементів підвіски тощо. Комп'ютерне моделювання дозволяє врахувати нелінійність характеристики матеріалів та складні граничні умови, що виникають під час експлуатації в бойових умовах.

Авторами запропоновано математичну модель розрахунку елементів привідних систем військової техніки, зокрема елементів ланцюгових та зубчастих переміщувачів. Дослідження проводилися на прикладі тягових ланцюгів. Аналіз напружено-деформованого стану та визначення жорсткості ланцюга даної конструкції проведено за допомогою методу скінченних елементів у програмі Femap-Nastran. З цієї метою побудовано твердотілу параметричну модель ланцюга, задано характеристики матеріалу, статичні та кінематичні граничні умови.

Аналіз досліджень напружено-деформованого стану ланцюгів пластинчастого типу, проведений методом скінченних елементів показує, що залежність деформації ланки ланцюга від тягового зусилля має лінійний характер. Тому можна вважати, що коефіцієнти жорсткості ланцюгів є сталими.

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ПРОТИДІЇ ВОРОЖИМ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ВЛАСНИХ БПЛА

Ю.В. Шабатура, д.т.н., проф.; Б.В. Білокопитов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Виконаний в часовому вимірі аналіз технологічної еволюції російсько-Української війни об'єктивно засвідчує, що БПЛА на даний час вже стали ключовим фактором на тактичному рівні як вирішення так і впливу в першу чергу для задач розвідки, логістики і вогневих уражень.

Забезпечення стійкості оборони і ефективного наступу сухопутних військ, збереження їх особового складу, озброєння і техніки вимагає комплексного підходу, який передбачає дієву протидію ворожим БПЛА з одночасним сприянням і захистом власних БПЛА, особливо у ближній зоні бойового протистояння.

Практична реалізація такого комплексного підходу вимагає створення відповідної комплексної, багатоцільової системи, здатної до одночасної протидії множинам ворожих і підтримки власних БПЛА, які перебувають в зоні її дії. Алгоритм функціонування даної системи передбачає вирішення для кожного БПЛА послідовного ряду задач: виявлення; ідентифікація (розбивається на дві підзадачі: свій-чужий; тип БПЛА); протидія-сприяння – залежить від результату вирішення попередньої задачі. Першочерговою і чи не найважливішою є задача виявлення, оскільки вона стоїть першою і саме вона визначає ресурс часу, який буде виділений для наступних задач. Її вирішення ґрунтується на застосуванні множини сенсорів та алгоритмах обробки їх сигналів. Задача ідентифікації є особливо актуальною в зоні бойових дій. В доповіді планується розглянути основні варіанти її інноваційного вирішення, які вимагають мінімальних енергетичних і матеріальних затрат.

ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПІЛОТНИХ КОМПЛЕКСІВ

В.М. Заїка, к.т.н.; О.В. Мокринський; Р.Г. Макаренко

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

Проведено аналіз відомих принципів застосування рухомих безпілотних систем спеціального призначення, до найпоширенішої стратегії застосування можливо віднести виконання місії індивідуально кожним рухомих виробом під керуванням оператора з використанням двосторонніх каналів зв'язку.

Визначені недоліки, які суттєво впливають на технічні характеристики безпілотних систем обумовлені зазначеною стратегією застосування.

Встановлено, що одним із факторів, який обмежує реалізацію стратегії автономного (напівавтономного) застосування, є недостатній рівень завадозахищеності систем навігаційного забезпечення рухомих безпілотних систем спеціального призначення на базі використання глобальних супутникових радіонавігаційних систем.

В якості альтернативного підходу для реалізації системи навігаційного забезпечення рухомих безпілотних систем спеціального призначення доцільно

використовувати локальних радіонавігаційних систем, що реалізують кодовий псевдодалекомірний метод визначення навігаційних характеристик.

Запропонована мінімальна типова структура локальних радіонавігаційних систем, на базі мережи станцій видачі диференційних поправок з доопрацюванням можливості видачі навігаційних кодових повідомлень, яку доцільно доповнити додатковими локальними навігаційними станціями наприклад з використанням корпоративних станцій LTE зв'язку. Вибір даних засобів обумовлений наявністю в їхньому складі прецензійних квантових (цезієвих, рубідієвих) стандартів частоти.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД ВОРОЖИХ УДАРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

І.В. Репін, к.іст.н., доц.; О.Ю. Ленівий; І.Д. Горняков

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Захист об'єктів інфраструктури України від ворожих БпЛА типу “Шахед” є одним з найважливіших завдань Сил оборони України.

На першому етапі боротьби важливо своєчасно виявити ворожий БпЛА. Для цього слід на підставі попередніх спостережень та визначення типових маршрутів польотів ворожих БпЛА варто створити відповідну мережу спостерегачів (спостережних постів), яка б включала тимчасові (мобільні) пункти спостереження на панівних висотах вздовж найбільш ймовірних маршрутів польотів БпЛА, поблизу важливих об'єктів інфраструктури та укомплектувати їх підготовленими фахівцями із відповідними засобами спостереження та зв'язку з групами протидії (вогневого ураження) БпЛА, озброєними ракетно-гарматними комплексами із модифікованими зарядами та засобами радіоелектронного придушення (засоби “засліплення” оптично-електронних пристроїв БпЛА, придушення (глушіння) радіосигналу та сигналу GPS тощо).

Наступним кроком боротьби є озброєння позаштатних підрозділів протидії БпЛА (груп перехоплення) портативними засобами РЕБ, високошвидкісні БпЛА перехоплювачі, комплексами “Стріла-10”, ЗУ-23-2 та іншими зарубіжними аналогами наданими в рамках міжнародної допомоги.

Загалом, протидія застосуванню противником безпілотних авіаційних комплексів повинна полягати в комплексному застосуванні засобів виявлення (РЛС із активною фазованою антенною решіткою, засоби акустичної та видової розвідки) та засобів ураження.

Таким чином, вжиття ефективних технічних і організаційних заходів щодо протидії БпЛА противника дозволить знизити результативність ураження ворогом об'єктів інфраструктури та зменшити шкоду, заподіяну Україні, в цілому.

АЛГОРИТМ РОЗДІЛЕННЯ ГАРМОНІК ГРУПОВИХ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ГВИНТОМOTORНИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

В.В. Поздняков; М.В. Бугайов, к.т.н., ст.д.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Масове використання противником гвинтомоторних засобів повітряного нападу (ЗПН) для нанесення ударів по об'єктах військової та критичної цивільної інфраструктури вимагає постійного вдосконалення підходів до їх

виявлення. Часто спостерігається застосування ЗПН групами по 3-5 одиниць для ураження окремого об'єкта. Тому вдосконалення системи акустичного моніторингу повітряного простору щодо розрізнення групових цілей є актуальним напрямом досліджень. У груповому акустичному сигналі гвинтомоторних ЗПН присутні гармонічні складові від окремих засобів, що концентруються поблизу частот, кратних частоті обертання колінчастого валу двигуна. Запропонований алгоритм забезпечує виявлення гармонічних складових сигналу окремих ЗПН та визначення кількості ЗПН. Вхідним масивом даних для алгоритму є частоти спектральних піків, отримані шляхом обчислення періодограм Уелча та застосування адаптивного порогового оброблення із використанням алгоритму CFAR. Для динамічного відстеження виявлених гармонік застосовано адаптивний фільтр Калмана з моделлю лінійної зміни частоти. Особливістю фільтра є його адаптація: інтенсивність шуму процесу в математичній моделі динамічно масштабується пропорційно збільшенню частоти сигналу. Таке лінійне регулювання забезпечує необхідну адаптацію фільтра для відстеження швидких доплерівських змін на високих частотах та його стійкість на низьких частотах. Для уточнення отриманих результатів оцінки частот гармонік проходять зворотне оброблення за алгоритмом Рауха-Тунга-Стрібеля. Це дозволяє отримати максимально точні частотно-часові параметри гармонік на всьому інтервалі спостереження. На основі отриманих оцінок закону зміни частоти гармонік обчислюють радіальну швидкість кожного ЗПН та відстань до нього в точці максимального зближення.

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ – ІННОВАЦІЙНИЙ НАПРЯМ ВИРОБНИЦТВА БПЛА

І.М. Мартинюк, к.біол.н.; Т.Д. Погребняк

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Розвиток БПЛА, сучасні тактичні потреби до них висувають підвищені вимоги до виробничих технологій. Одним із практичних рішень має місце адитивне виробництво, так званий 3D-друк. Ця технологія відкриває нові можливості для створення легких, конструктивно складних та функціонально інтегрованих елементів корпусів і механізмів БПЛА з обмеженою масою та енергетичною ємністю платформ.

Адитивні методи дозволяють формувати деталі зі складною внутрішньою технологією: порожнинами, каналами охолодження, сотовими і решітчастими елементами, які важко або неможливо отримати звичайними традиційними промисловими методами обробки. Таке проєктування сприяє значному зниженню маси конструкцій при збереженні (покращенні) механічної жорсткості і теплової стабільності, а також забезпечує економію матеріалу і скорочення циклу виробництва. 3D-друк забезпечує оперативне виготовлення запчастин (вузлів) для своєчасного використання у бойових умовах, спрощує процес ремонту (відновлення) та дозволяє підтримувати високий рівень експлуатаційної готовності без великого резерву деталей. Це забезпечує комплектуючими різновиди БПЛА, оперативну модифікацію платформ під конкретні завдання, виготовлення допоміжних пристроїв, елементів кріплення тощо. Усе це підвищує гнучкість застосування БПЛА, швидке реагування на тактичні виклики та потреби військ вцілому.

Отже, інтеграція адитивного виробництва в життєвий цикл БпЛА – від проєктування до оперативного виробництва запчастин в польових умовах, створює техніко-економічні та оперативні вигоди. Проте необхідні відповідні стандарти якості матеріалів (процесів), налагоджені алгоритми контролю та інтеграція технологій у технічну інфраструктуру підрозділів.

**ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДПОВІДНОСТІ ПРОФІЛЮВАННЯ
ДОДАТКІВ В БЕЗПІЛОТНИХ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСАХ
МІЖНАРОДНОМУ ВІЙСЬКОВОМУ СТАНДАРТУ NATO STANREC
AEP-4818 ROBOTIC AUTONOMOUS SYSTEMS - GROUND
INTEROPERABILITY PROFILE:
APPLIQUE PROFILING RULES**

*Н.В. Лада, к.т.н.; Д.В. Головяк, Ph.D.; С.М. Колесник
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

На сьогоднішній день дослідження шляхів вдосконалення безпілотних систем є одним з пріоритетних напрямків розвитку озброєння та військової техніки. Питання забезпечення взаємосумісності програмних додатків БпНС в умовах військового стану стає особливо актуальним. Відповідності комунікацій в безпілотних наземних системах залежить від програмного та апаратного забезпечення системи передачі інформації БпНС та безпосередньо впливають на потребу в збільшенні, зміні або зменшенні комплексності БпНС, а також вартості його технічного обслуговування, в тому числі на бойовому завданні. Запровадження міжнародного військового стандарту NATO STANREC 4818 ROBOTIC AUTONOMOUS SYSTEMS – GROUND INTEROPERABILITY PROFILE – AEP-4818 профілю взаємосумісності “APPLIQUE PROFILING RULES” в Україні дозволить висвітлити базові концепції, архітектуру, вимоги реалізації та надати загальний огляд взаємосумісності додатків між різними складовими БпНС, параметри його програмного та апаратного забезпечення, а також детально охарактеризувати фізичні, електронні та логічні інтерфейси систем радіоуправління, придатних для простого підключення та налаштування з метою їх використання в БпНС та виконання ним поставлених завдань.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПОВІТРЯНОГО ПРИКРИТТЯ
БОЙОВИХ ГРУП (ПІДРОЗДІЛІВ)**

*С.В. Селезньов, к.т.н.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Масове застосування у сучасній війні БпЛА різних типів – призвело до зміни тактики застосування всіх родів військ (сил). Сьогодні основну загрозу бойовим групам (підрозділам), які виконують бойові завдання безпосередньо на лінії бойового зіткнення (ЛБЗ) та в 40 км зоні від ЛБЗ, становлять дешеві ударні БпЛА типу “Молнія”, баражуючі боєприпаси типу “Lancet” та FPV-дрони (камікадзе та зі скидами).

За статистикою, більшість втрат від ударів БпЛА, баражуючих боеприпасів та FPV-дронів відбувається під час зміни позицій (переміщень) бойових груп (підрозділів).

На цей час найбільш дієвими способами протидії таким засобам повітряного нападу є подавлення засобами радіоелектронної боротьби та застосування стрілецької зброї (калібром до 7,62 мм та помпові рушниці). Ефективність застосування стрілецької зброї для протидії ударним БпЛА, баражуючим боеприпасам та FPV-дронам суттєво знижується в темний час доби та в несприятливих погодних умовах.

Для підвищення ефективності протиповітряного прикриття бойових груп (підрозділів) на позиціях та під час переміщень пропонується використовувати автоматизовані бойові модулі які здатні забезпечити активне та/або пасивне виявлення на дальностях до 15000 м і на висотах до 5000 м вкругову або в секторі, автоматичне супроводження до 20 цілей, наведення зброї (калібром до 12 мм) та ураження цілей в розрахункових точках випередження.

МЕТОД СИНХРОНІЗАЦІЇ ШКАЛ ЧАСУ СТАНЦІЙ РАДІОНАВІГАЦІЙНОЇ ЛОКАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ БЕЗПІЛОТНИХ КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*С.О. Тишко, к.т.н., доц.; С.І. Трофименко; С.В. Панасенко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Однією з важливих напрямків розвитку безпілотних наземних комплексів спеціального призначення є реалізація руху в автоматичному або напівавтоматичному режимі. Вирішення даного завдання неможливо без організації навігаційного забезпечення в умовах відсутності інформації від глобальних супутникових систем.

Одним із підходів організації навігаційного забезпечення є використання локальних навігаційних систем, які пропонується розгортати на базі існуючої мережі станцій видачі диференційних поправок та корпоративних станцій LTE. Вибір даних засобів обумовлений наявністю в їхньому складі прецензійних квантових стандартів частоти.

Для забезпечення потрібної точності визначення координат є необхідним синхронізація шкал часу навігаційних станцій. Для цього пропонується організувати групову міру частоти на базі прецензійних квантових стандартів, зі складу технічних засобів станцій які використовуються для обслуговування певної ділянки місцевості.

З метою вирішення даної задачі запропонована математична модель визначення фазового зсуву двох гармонічних сигналів, в основі якого лежить порівняння форми сигналу отриманого шляхом підсумування після проведення їх двонапівперіодного перетворення з набором еталонних функцій з використанням в якості критерія співпадіння вказаних функцій максимуму коефіцієнта кореляції. Запропонований метод забезпечити видачу навігаційної інформації з потрібною точністю.

ПРЕЦИЗИЙНА (ВИСОКОТОЧНА) ЗБРОЯ У СУЧАСНІЙ ВІЙНІ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ВИКЛИКИ ДЛЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

О.В. Акімова, к.ю.н.; А.М. Бобошко; О.М. Магу

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Прецизійна зброя стала ключовим елементом сучасних військових операцій, поєднавши ефективність ураження військових об'єктів, гуманний підхід до цивільного населення, мінімізацію колатеральних втрат та підтримку соціальної стабільності у зоні конфлікту.

Застосування Збройними Силами України систем, таких як ATACMS, Storm Shadow та інших призводить до нейтралізації високовартісних складів боєприпасів, командних пунктів, об'єктів логістики та скупчень військ, що дозволяє протистояти краще технічнооснащеному та більшому за чисельністю противнику при цьому мінімізувати руйнування об'єктів цивільної інфраструктури, дотримуючись норм міжнародного гуманітарного права.

Ефективність точних ударів сучасними ракетами з маневровими траєкторіями, низькою помітністю, використанням бортових засобів супутникової навігації та радіоелектронної боротьби залежить також від впливу на можливості протиповітряної оборони противника: ускладнюють перехоплення, збільшують час на пошук та виявлення цілей, змушують противника витрачати ресурси та, як наслідок, створюють стратегічну перевагу над противником.

Прецизійність має бути головним чинником при розробці та модернізації засобів ураження для Збройних Сил України, що дозволить переходити до більш гнучких, адаптивних моделей ведення бою.

ВИЯВЛЕННЯ ТА ЗНИЩЕННЯ МАЛОШВИДКІСНИХ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ ПРИ ОБОРОНІ МОРСЬКОГО УЗБЕРЕЖЖА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МОРСЬКИХ БЕЗЕКІПАЖНИХ АПАРАТІВ З БПЛА-ПЕРЕХОПЛЮВАЧАМИ

Л.Ф. Коломієць; А.В. Фомін; О.О. Добрянський

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Під час оборони морського узбережжя малозшвидкісні повітряні цілі становлять суттєву загрозу для пунктів управління та військових частин (підрозділів) Сухопутних військ Збройних Сил. Традиційні засоби ППО мають обмежені можливості щодо їх виявлення через низьку висоту польоту та вплив морського середовища.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності оборони узбережжя є застосування морських безекіпажних апаратів (далі – МБеА) з БПЛА-перехоплювачами. МБеА можуть забезпечувати раннє виявлення цілей за допомогою радіолокаційних, оптико-електронних і тепловізійних сенсорів, супровід та передачу цілевказування до пунктів управління. Після ідентифікації МБеА запускає БПЛА-перехоплювач, який виконує знищення цілі кінетичним способом або дистанційним підривом.

Застосування МБеА та перехоплювачів дозволяє створити передовий мобільний ешелон оборони, підвищити живучість системи за рахунок

розосередження платформ, скоротити час реагування на загрози, зменшити навантаження на штатні засоби ППО та оперативно нарощувати сили на загрозливих напрямках.

Таким чином, застосування морських безекіпажних апаратів з БпЛА-перехоплювачами є перспективним напрямом розвитку систем протидії маловидкісним повітряним загрозам при обороні морського узбережжя. Їх інтеграція у єдину систему протиповітряної оборони дозволяє розширити зону виявлення, підвищити ефективність перехоплення та забезпечити надійний захист військ і критичної інфраструктури у прибережній зоні.

ВИМОГИ ДО ОСНОВНИХ ТТХ СИСТЕМИ МАСКУВАННЯ КОМПЛЕКСУ АКТИВНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ ОВТ ВІД УДАРНИХ БПЛА ПРОТИВНИКА

*С.І. Байцурак; Т.О. Бадьор; Г.С. Нікіфоров; О.М. Шинкаренко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Система маскування (далі – СМ) комплексу активного захисту зразків озброєння та військової техніки від ударних БпЛА противника призначена для прикриття (уходу від атаки) броньованих бойових машин шляхом встановлення перешкод між об'єктом атаки та БпЛА.

До складу СМ мають входити: обладнання для постановки інфрачервоних, димових та аерозольних завад; засоби зв'язку для видачі інформації про технічний стан засобів; засоби контролю функціонування підсистеми.

Об'єктами (цільми) дій СМ є БпЛА мультиторторного та літакового типу, ударні БпЛА типу “FPV-дрон”, “баражуючий боеприпас”, що здатні нести засоби ураження (авіаційні боеприпаси, ракети, протитанкові керовані ракети, протитанкові гранати тощо).

СМ повинна забезпечувати виконання бойових завдань в умовах застосування зразків ОВТ на які ця система буде встановлюватися. СМ може встановлюватися як в заводських так і в польових умовах. У польових умовах встановлення та демонтаж СМ повинно проводитись з залученням фахово підготовленого особового складу та обладнання ремонтного підрозділу. Під час роботи СМ не повинна створювати перешкод іншим системам ОВТ виконувати завдання за призначенням.

СМ повинна забезпечувати: працездатність, транспортування усіма видами транспорту без обмеження відстані; застосування у будь-який час доби, пори року.

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ ПІДРОЗДІЛІВ ППО СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК ЗС УКРАЇНИ

В.Г. Малюга¹, д.військ.н., с.н.с.; В.В. Бичков²

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Військова частина А4667

Своєчасне надання достовірної інформації від радіолокаційних станцій тактичного рівня за допомогою візуального відображення даних сприятиме ефективності всіх складових підрозділів ППО Сухопутних військ. Проблема

яка існує тривалий час у військах на територіях близьких до ЛБЗ – відсутність стабільної мережі передачі даних. Використання існуючих мереж передачі даних вітчизняних операторів стільникового зв'язку, засобів Wifi-мостів та mesh-мереж частково вирішили б вказану проблему без розгортання засобів супутникового інтернету Starlink, які є демаскуючим фактором. Водночас існуючі системи оповіщення про дії повітряного противника з використанням тактичних радарів потребують високошвидкісної мережі передачі даних. Окрім вище вказаних проблем використання наявних систем оповіщення про повітряного противника є наступні: складність підключення тактичних радарів, адміністрування мереж та підключення нових абонентів; забезпечення підготовленим особовим складом, який здатний обслуговувати мережу оповіщення. Введення крос-платформної системи для різних складових ППО дозволить використати наявний парк обчислювальної техніки у військах та наявні переносні платформи на базі системи Android. Передача попередньо зашифрованих пакетів даних з інформацією про повітряного противника на пристрої з попередньо встановленим програмним забезпеченням з доступним інтерфейсом зменшить навантаження на мережу передачі даних. Адміністрування підключень доцільно здійснювати на всіх рівнях управління: тактичному, оперативному, стратегічному.

ПЕРСПЕКТИВИ МАСШТАБУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗЕНІТНИХ ДРОНІВ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ВОРОЖИМ БПЛА

Д.О. Щенякін

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

В умовах повномасштабної агресії російської федерації проти України значно зросла роль протиповітряної оборони Сухопутних військ у забезпеченні захисту військ та об'єктів інфраструктури від ударів противника. Особливу загрозу становлять безпілотні літальні апарати різних типів, які широко застосовуються для розвідки та ураження цілей. Масовість їх використання обумовлює потребу в пошуку ефективних і економічно доцільних засобів протидії. Одним із перспективних напрямів розвитку озброєння військ ППО є впровадження та масштабування застосування зенітних дронів, призначених для перехоплення ворожих БПЛА.

Зенітні дрони забезпечують можливість ураження малорозмірних повітряних цілей на малих і надмалих висотах, де застосування зенітних ракетних комплексів є обмеженим або економічно недоцільним. Їх використання дозволяє знизити витрати ресурсів та підвищити гнучкість системи протиповітряної оборони тактичної ланки. Інтеграція зенітних дронів у єдину систему управління протиповітряною обороною сприяє підвищенню оперативності реагування.

Важливим аспектом є організаційне впровадження підрозділів зенітних дронів у структуру військ ППО Сухопутних військ. Порівняно проста підготовка операторів таких БПЛА дозволяє у стислі терміни нарощувати бойові можливості підрозділів ППО.

Перспективним напрямом технічного розвитку зенітних дронів є оснащення їх автоматизованими системами супроводження цілей та різними способами ураження ворожих БПЛА, що сприятиме підвищенню ймовірності перехоплення та зменшенню впливу людського фактору.

ДОСТАВКА ДРОНІВ-ПЕРЕХОПЛЮВАЧІВ ДО МІСЦЯ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ЛЕГКОМОТОРНОЮ АВІАЦІЄЮ

*О.Д. Гаврилюк; Д.В. Сацюк; Р.В. Бойко, к.т.н., с.н.с.
Державний науково-дослідний інститут авіації*

Посилення дронівих ударів противника по цивільній інфраструктурі України потребує пошуку різноманітних шляхів протидії.

Обґрунтовано доцільність та ефективність створення підрозділів літаків легкомоторної авіації, які б використовували спеціальні підвісні модулі з дронами-перехоплювачами.

Визначено, що легкомоторна авіація, як елемент оперативної логістики, забезпечить швидку, гнучку та відносно маловитратну доставку дронів-перехоплювачів до районів їх застосування.

Доставка дронів-перехоплювачів до місця їх застосування легкомоторною авіацією дозволить скоротити час на швидку зміну повітряної обстановки, забезпечить прихованість логістичних операцій, дозволить здійснити доставку дронів-перехоплювачів у важкодоступні або ізольовані райони.

Здійснення запусків дронів-перехоплювачів зі спеціально розроблених платформ (модульних контейнерів), які можна підвішувати до літаків легкомоторної авіації, потенційно може збільшити результативність багаторівневої системи протидії дронівим ударам шляхом оперативного підсилення протидії на окремих ділянках повітряного простору.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДИХ РАКЕТНИХ ПАЛІВ

*С.С. Василів, к.т.н.; Н.С. Прядко, д.т.н.
Інститут технічної механіки Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України*

Експериментальні дослідження твердого ракетного палива на етапі науково-дослідних розробок має велике значення для створення нового озброєння. Головна мета таких випробувань – вивчення робочих процесів, що відбуваються в двигуні і його системах, що необхідно для розробки і використання нових палив, принципово нових конструкторських ідей, перспективних матеріалів та технологій.

Ефективність палива визначається, насамперед, питомим імпульсом тяги, тому необхідно визначити фактори, що впливають на нього. Швидкість горіння твердого ракетного палива – одна з фундаментальних характеристик, яка визначає внутрішньобалістичні характеристики твердопаливного двигуна і залежить від багатьох факторів: виду палива, його початкової температури, тиску в камері згорання, дисперсності твердих компонентів, перевантажень в польоті, швидкості газу біля поверхні заряду та ін. Відповідно ці властивості використовуються для регулювання швидкості горіння. Окрім енергетичних характеристик важливим параметром є закон горіння. Математично дуже складно спрогнозувати швидкість горіння твердого ракетного палива, тому для цих цілей використовують різні експериментальні методи.

БЕЗПІЛОТНІ ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ В СИСТЕМІ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

В.Г. Баранов; Ф.А. Демідчик, к.військ.н., доц.

Камянець-Подільський національний університет ім. Івана Огієнка

З початком повномасштабного вторгнення рф на територію України завдання захисту повітряного простору нашої держави постало як одне з першочергових. Проте покрити весь повітряний простір України суцільною системою протиповітряної оборони (далі – ППО), зважаючи на масштаби території, малоймовірно. На даний час такої системи не має жодна держава світу.

Для ефективного захисту потрібна ешелонована система ППО, що включає значну кількість комплексів різної дальності (PATRIOT, NASAMS, IRIS-T SLM, GEPARD, SKYNEX тощо), а також авіацію (MiG-29, Су-27, F-16) та радіотехнічні підрозділи для протидії ворожим літакам, вертольотам і БпЛА.

Проте критичну роль у системі ППО України відіграють саме безпілотники. Вони забезпечують розвідку, моніторинг повітряного простору та безпосереднє перехоплення ворожих апаратів, зокрема типу Shahed, що дозволяє економити дефіцитні зенітні ракети. Крім того, у процесі моніторингу БпЛА спроможні виявляти цілі на малих висотах, що дозволяє своєчасно попереджати зенітні підрозділи про напрямок руху ворога. Таким чином, БпЛА у поєднанні із сенсорними мережами та ШІ стали невід'ємною частиною мережецентричної системи ППО.

БпЛА трансформували класичну концепцію ППО, перетворивши її на гнучку, ешелоновану та мережецентричну систему. Створення повністю автономних систем перехоплення, стійких до засобів РЕБ, у поєднанні з унікальним бойовим досвідом військових, залученням інвестицій у вітчизняні розробки та постійним технологічним оновленням дозволить створити унікальну модель ППО України, яка стане еталоном для провідних армій світу.

СЕКЦІЯ 11

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПІДТРИМКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Керівники секції: полковник Бондар Б.П.;
к.т.н. доц. прац. ЗС України Рибачук О.І.
Секретар секції: прац. ЗС України Борцова М.В.

INNOVATIVE ASPECTS OF MANAGING THE DEVELOPMENT OF THE SUPPORT FORCES WEAPONS SYSTEM

*B. Bondar¹; S. Palii¹; B. Demidov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Tishkin²*

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The process of innovative development of weapons and military equipment, and the weapons system as a whole, should be managed by:

a management system consisting of hierarchical management bodies;

a system of planning documents of varying depth of action, measures for substantiating, forming, monitoring the implementation and adjusting planning decisions in accordance with the dynamics of the changing situation;

a system of methods for the scientific substantiation of management functions, based on uniform principles of situational analysis and implemented in the legal and information space;

a system of mathematical and software tools for automating situational analysis and modeling within a regulated process.

To ensure compliance with these provisions, it is necessary to use a comprehensive approach that rationally combines the methods and principles of a modified methodology for program-targeted planning of the development of weapons and military equipment and comprehensive support, by equipping the armed forces with modern combat and support means of armed struggle of various types, kinds, and purposes, with elements of situational analysis and control.

Such a comprehensive approach can radically change the existing order of implementation of the program and plans for the development of the support forces' weapons system in the current conditions of aggression by the Russian Federation.

MODERN VIEWS ON CROSS-COUNTRY ABILITY ASSESSMENT OF VEHICLES IN SPECIFIED OPERATIONAL ENVIRONMENT IN THE NATO FORCES

*O. Rybachuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Combat operations simulation in the NATO forces is traditionally seen as an important and effective method of decisions made analysis and predicting their likely consequences. It is an integral part of combat training, planning operations, as well as testing of weapons and military equipment. STANREC 4813 recommends the Next Generation NATO Mobility Reference Model (NG-NRMM) as a simulation tool for military vehicle mobility performance quantifying in area of

combat operations. NG-NRMM combines many mobility related technologies into one comprehensive package designed to predict the terrain/vehicle interaction of vehicles operating in on- and off-road terrain. Three principal categories of potential users of NG-NRMM are the vehicle development community, the vehicle procurement community, and the vehicle user community. The input data for NG-NRMM are the terrain data (features and attributes), the vehicle data needed to determine bin membership for a specific vehicle, the scenario options that include the specification of season, weather, allowable levels of operational influences on driver, mode of operation. The vehicle terrain-specific speed prediction for a terrain unit is the basic output of the model. The binary indicator of vehicle's cross-country ability on each terrain unit is also assessed. The model, in addition, generates data that may be used to predict operational vibration levels, mission fuel consumption, etc., and can provide diagnostic information as to the factors limiting speed performance in the terrain unit. The vehicle performance predictions for terrain units can be incorporated into maps that specify feasible levels of performance that a given vehicle might achieve at all points in the operating area. The NG-NRMM methodology and architecture are advisable to implement in military operation planning process of the Armed Forces of Ukraine.

DETERMINATION OF THE SOIL TRAFFICABILITY AT ITS FREEZING AND THAWING

*M. Bortsova¹; S. Berezina², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
N. Shyhimaha¹*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Central Design Office Proton Limited Liability Company

The ability of military vehicles to move quickly over terrain off-road is crucial during combat operations. The issue of ground trafficability is especially acute in the winter-spring period, when during periodic and spring thaws, melting snow and rain form a thawed layer with low bearing capacity on the surface of the frozen soil. As the thaw deepens, the frozen layer becomes too distant to reliably hold vehicles, and the trafficability of the equipment decreases, sometimes dropping to zero.

To assess the vehicle trafficability in the spring-winter period, the depth of soil freezing and thawing is determined, which is calculated as the product of the cold (heat) reserve, a coefficient that depends on the type of soil, and a coefficient that takes into account the depth of snow cover. The cold (heat) reserve is the sum of minus (plus) average daily temperatures in degrees Celsius, multiplied by the number of consecutive days when the temperature was lower (higher) than 0 °C.

This approach is considered generally accepted, but to use it in practice, one needs to have an archive of average daily temperatures for a fairly long period of time. And although modern weather forecast services can provide weather data with a retrospective of up to dozens of years, the amount of data (and, accordingly, the number of requests to the service) required for determining the cold (heat) reserve can be quite significant.

That is why the authors proposed a method for determining the depth of soil freezing and thawing based on information on soil temperature at different depths, which is provided by a number of weather forecast services (Open-Meteo, Weatherbit, Visual Crossing, etc.). The essence of the method is to analyze the

derivatives of the function that describes the dependence of soil temperature on depth, at the points of transition through zero. If the temperatures at depths less than the zero crossing depth are negative (the derivative at the zero crossing point is positive), then the zero crossing point will correspond to the depth of soil freezing. If the temperatures at depths less than the zero-crossing depth are positive (the derivative at the zero-crossing point is negative), then the zero-crossing point can be considered the depth of soil thawing. To determine the thickness of the frozen layer, it is necessary to find the zero crossing point next in depth of thawing in the direction of increasing depth and calculate the difference in depths.

The report examines methods for determining the soil trafficability at its freezing and thawing, analyzes available weather forecast services that provide information on soil temperature, and also presents the results of calculating freezing depths using the generally accepted method and the method proposed by the authors at several control points.

USE OF THE GEOINFORMATION PORTAL OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE FOR PLANNING AIR FORCE OPERATIONS

M. Borysenko¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

I. Taran¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; V. Tishkin¹;

V. Larin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

The Geoinformation Portal of the Armed Forces of Ukraine (hereinafter referred to as the Geoportal) is a modern tool for integrating, updating, and analyzing geospatial data, which significantly optimizes the processes of providing cartographic support to military units. Traditional methods of working with topographic maps, in particular the use of paper maps, have a number of disadvantages, including a lengthy updating process, physical wear and tear, and the complexity of integration with other data. The use of the Geoportal allows these processes to be automated thanks to the digital format of data storage, rapid updating of cartographic information, and integration of data from various sources, including remote sensing data and the results of geodetic measurements.

The use of the Geoportal in planning the operations of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine provides management with tools for automating work with maps: generating topographic maps based on user requests without the need to work with multiple sheets of topographic maps; performing calculations, such as determining visibility zones, assessing terrain, and calculating optimal movement routes for units; automated updating of cartographic data; using digital terrain models to create high-precision 3D models of the terrain. The advantages of the Geoportal include ensuring greater accuracy of cartographic materials through the integration of data from high-precision digital sources, prompt changes and rapid updates, accessibility, and reduced risk of errors due to the automation of processes for preparing and updating cartographic materials.

MODELING THE SPECIAL TREATMENT PROCESS USING QUEUEING THEORY METHODS

*S. Poplavets, Ph.D., Associate Professor;
S. Huzchenko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv Air Force National University*

The process of special treatment (ST) of weapons and military equipment under chemical, biological and radiological (CBR) contamination is characterized by the random arrival of contaminated equipment, limited capabilities of CBR protection units, and the necessity to minimize the time required to restore combat readiness. Under such conditions, the application of formalized approaches, in particular queueing theory methods, becomes relevant.

The purpose of the study is to formalize the ST process as a multi-channel stochastic service system. The input flow is formed by contaminated equipment units with arrival rate λ , while service channels are characterized by service rate μ . The number of channels n corresponds to the number of technical assets and CBR protection crews involved in the treatment process.

Depending on organizational conditions, the system may operate either with waiting or with losses. For a system with a queue, the stability condition is $\lambda < n\mu$, which ensures steady-state operation without unbounded queue growth. The mathematical description is based on a Markovian model of a multi-channel queueing system, allowing determination of state probabilities, the average time equipment spends in the system, and overload indicators.

A distinctive feature of the proposed approach is the consideration of possible re-entry of a request in case of incomplete treatment, which increases the adequacy of the model to real operating conditions of ST sites. The obtained analytical relationships make it possible to quantitatively assess the influence of the number of service channels on the timeliness of restoring equipment combat capability and to substantiate the rational structure of CBR protection units.

METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING THE RATIONAL COMPOSITION OF CBRN PROTECTION FORCES AND ASSETS

*S. Poplavets, Ph.D., Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Substantiation of the rational composition of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) protection forces and assets under radioactive and chemical contamination conditions requires the application of a formalized methodological framework that integrates situation forecasting and optimization-based resource allocation methods.

The proposed approach is implemented as a sequence of five interrelated stages. At the first stage, initial data are generated for forecasting the radiological and chemically hazardous situation and for determining the required forces and assets. At the second stage, possible development scenarios under the destruction of potentially hazardous facilities are generated using an integrated information model, and a catalog of scenarios is formed. At the third stage, based on a logical-analytical method, the scope of CBRN protection measures is determined in accordance with the forecasted conditions. The fourth stage involves solving an optimization problem

of allocating forces and assets to specific tasks using combinatorial programming methods. At the fifth stage, a catalog of available and prospective forces and assets is formed, taking into account their tactical and technical characteristics. The proposed approach makes it possible to formalize the process of substantiating the structure of a CBRN protection grouping, minimize the time required to implement protective measures, and improve the overall effectiveness of the protection system under contamination conditions.

CONCEPTUAL APPROACH TO SUPPORTING TROOPS (FORCES) AS PART OF CIVIL-MILITARY COOPERATION

*O. Haziiev; H. Hyshko, Candidate of Military Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The regulatory and legal principles of civil-military cooperation (CIMIC) are analyzed, its main tasks, functions and impact on the effectiveness of combat operations are determined. It is substantiated that the CIMIC subsystem is an important element in the formation of a favorable civil environment, increasing the stability of military groups and ensuring the achievement of operational goals.

The nature of modern military conflicts indicates the growing role of the civilian environment in shaping the operational situation. Combat operations are increasingly taking place in urban areas, under conditions of active information confrontation and the involvement of the civilian population in the processes of ensuring defense.

In such conditions, traditional elements of operational support need to be supplemented with mechanisms for effective interaction between military formations and the civilian sector. It is the CIMIC subsystem that ensures the integration of the civilian factor into the process of planning and conducting operations.

Operational support of troops (forces) involves creating conditions for the effective use of force groups. In this context, CIMIC performs:

- information and analytical function;
- coordination function;
- stabilization function and communication function.

The directions for developing the subsystem, taking into account the experience of modern warfare, are: integrating CIMIC into the full cycle of operational planning; expanding analytical tools for assessing the civilian environment; increasing the level of professional training of specialists; improving the regulatory framework; deepening interaction with international structures.

INTEGRATION OF SPACE CAPABILITIES INTO AIR FORCE OPERATIONS: THE CONCEPTUAL ROLE OF THE COMMERCIAL SEGMENT

*A. Andriushchenko; O. Oleksenko, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The nature of contemporary armed conflicts, unfolding amid rapid technological advancement, imposes unprecedented demands on the adaptability and effectiveness of armed forces. Within the frameworks of Multi-Domain Operations and network-centric warfare concepts, dominance in the information domain becomes a decisive

factor for victory. The space domain, traditionally associated with a limited number of spacefaring nations, has transformed into a global operational environment critically important for intelligence, communications, navigation, and meteorological support.

For the Air Forces of modern states confronting a high-technology adversary, the integration of space capabilities is not merely a desirable enhancement but a vital strategic necessity. However, the traditional approach of developing and sustaining a sovereign military space constellation is extremely capital-intensive and time-consuming. In this context, the “New Space” (NS) paradigm – representing the commercial space sector – offers fundamentally new approaches to incorporating space technologies into the defense domain. The commercial space component, serving as an operationally accessible and transitional element in the development of national space capabilities, is capable of promptly meeting the urgent requirements of the Air Force for relevant space-based services.

A successful realization of the NS potential lies in the implementation of a hybrid concept (approach) that combines the active use of commercial services with the development of national infrastructure for the reception and processing of specialized space-derived information. This approach will not only ensure the effective exploitation of existing commercial opportunities but will also lay the foundation for technological sovereignty within the ongoing transformation of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

MODERN APPROACHES TO THE DISPOSAL OF TOXIC SUBSTANCES FROM WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

O. Kolmohorov; O. Drol; R. Kushpeta

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the conditions of the Russian-Ukrainian war, it is worrying that the means of special processing, which are in the arsenal of the radiation, chemical, biological (RCB) protection troops of the Armed Forces of Ukraine were developed at one time for the Armed Forces of the USSR and their number do not meet today's requirements and therefore cannot fully ensure the combat capability of the troops in the event of the enemy using chemical weapons against the Defense Forces of Ukraine.

Due to the high level of danger to the health of personnel and military equipment, it is necessary to review measures to neutralize toxic substances in specially treated areas.

For this purpose, it is proposed to use urban infrastructure sites equipped with high-pressure devices that will be able to ensure effective cleaning of military equipment and weapons from toxic substances.

The deployment of additional urban infrastructure sites will allow the dispersion of Defense Forces units and reduce the time required to conduct measures to neutralize toxic substances.

The technical characteristics of high-pressure devices make it possible to quickly and effectively neutralize chemical contamination, minimizing risks to personnel and the environment.

ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF PHYSICAL PROTECTION OF MILITARY FACILITIES BASED ON A RISK-ORIENTED APPROACH

R.G. Akhundov

National Defense University, Baku, Azerbaijan

The physical protection of military facilities is a critical element of national defense and security. Since such facilities contain personnel, weapons, command systems, communication assets, logistics infrastructure, and other vital resources, they are potential targets for sabotage, unauthorized intrusion, terrorist attacks, and other hostile actions. Today, the threat environment is becoming more complex due to the diversity of adversaries, the use of asymmetric tactics, and the interaction of physical and technological vulnerabilities. As a result, conventional protection approaches based mainly on fixed regulations and standard engineering solutions are often insufficient.

A risk-oriented approach provides a more flexible and analytically sound basis for improving physical protection systems. Unlike traditional models based on uniform measures, it focuses on threats, vulnerabilities, and consequences, making it possible to identify critical elements, reveal weak points, and allocate resources more efficiently. In this framework, physical protection is viewed not simply as a set of barriers and technical means, but as an integrated system whose effectiveness depends on the coordination of detection, delay, and response functions.

The purpose of this study is to substantiate an approach to improving the effectiveness of physical protection of military facilities through risk assessment and prioritization. The object of the study is the physical protection system of a military facility, and the subject is the set of methods and models used to improve it through risk-based decision-making.

The study assumes that the required level of protection cannot be achieved by isolated technical upgrades alone, but requires a systematic assessment of the entire protection architecture, including operational procedures, personnel readiness, engineering barriers, and surveillance systems. The methodological foundation of the research includes systems analysis, scenario modeling, expert judgment, and probabilistic evaluation of hostile actions. The proposed approach is based on the interaction of three key components of a physical protection system. The first is detection, which includes surveillance, alarm, and monitoring subsystems aimed at identifying an intruder at the earliest possible stage. The second is delay, which consists of engineering barriers and structural elements intended to slow down unauthorized access. The third is response, which includes security forces, command procedures, and communication mechanisms required to neutralize the threat. The effectiveness of the overall system depends not only on the quality of each component, but also on their temporal coordination. Even highly reliable technical means may prove ineffective if the response is delayed or if vulnerabilities remain unaddressed along probable intrusion routes.

Within the risk-oriented framework, a military facility is analyzed as a system of zones, routes, assets, and nodes with different criticality levels. Threat, vulnerability, and consequence assessments identify adversaries, weak points, and possible losses, making it possible to determine risk levels and set priorities for strengthening protection.

A key advantage of the proposed approach is that it supports differentiated planning decisions by ranking facility zones, routes, and subsystems according to their vulnerability, thus enabling more justified prioritization of modernization

measures such as barrier reinforcement, improved sensor placement, patrol optimization, and reduced response time.

The results of the study show that the risk-oriented approach improves the validity of security planning and supports more effective allocation of forces and resources. It allows decision-makers to move from generalized protective measures to differentiated security solutions focused on the most vulnerable and critical areas. This increases the probability of timely detection and interruption of hostile actions, improves the adaptability of the protection system to changing conditions, and reduces inefficient use of available resources. In addition, the proposed framework may serve as a methodological basis for periodic reassessment of protection effectiveness when the threat environment, operational regime, or functional structure of a facility changes over time.

The scientific novelty of the study lies in the integration of risk assessment principles into the methodology of evaluating and improving physical protection systems for military facilities. The practical significance of the proposed approach is defined by its applicability to the design, modernization, and management of protection systems at military and special-purpose sites. The approach may also be used as an analytical support tool in decision-making processes related to resource distribution, vulnerability reduction, and security system adaptation.

In conclusion, enhancing the effectiveness of physical protection of military facilities requires a transition from static and uniform security models to adaptive, risk-based approaches. The proposed framework provides a more realistic basis for decision-making by linking threat analysis, vulnerability assessment, and consequence evaluation with the coordinated functioning of detection, delay, and response subsystems. Its implementation can significantly improve the resilience of military facilities under evolving threat conditions and contribute to a more rational and scientifically justified organization of protective measures.

References

1. Akhundov R., Hashimov E. Enhancing the physical protection of critical facilities through the integration of physical process models and machine learning // *Grafi of Science*. 2026. No. 61. P. 722–731.
2. Akhundov R., Hashimov E. G., Islamov I. Conceptual models of multi-level physical protection systems for special-purpose and critical infrastructure facilities // *Grafi of Science*. 2026. No. 61. P. 591–608.
3. Akhundov R., Hashimov E. G. Quantitative categorization of facilities and modeling of potential adversaries // *Grafi of Science*. 2025. No. 60. P. 469–482.

CONCEPTUAL APPROACH TO THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE AS A FORM OF SUPPORT FOR THE DAILY ACTIVITIES OF THE MILITARY

*H. Hyshko¹, Candidate of Military Sciences, Associate Professor;
O. Kolmohorov¹; V. Pugach²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Military-Law Institute of the National Law University named after Yaroslav Mudryi

A comprehensive analysis of environmental safety tasks and measures as a form of support for the daily activities of the Armed Forces of Ukraine, as well as components of daily activities, allowed us to approach the problem of ensuring the environmental safety of the armed forces from a different angle.

Environmental safety is closely linked to a set of organisational and technical measures implemented by the Armed Forces of Ukraine. It is aimed at protecting and restoring the natural environment during military operations, as well as ensuring that troops can carry out their assigned tasks in conditions affected by environmentally unfavourable factors.

The goal of environmental protection for the Armed Forces of Ukraine is to achieve environmental safety in all types of daily military activities, including: combat training; military-administrative activities; military service; operation, maintenance and repair of weapons and military equipment; management and conduct of military affairs; and cooperation with local authorities.

Based on the above, the question arises regarding the determination of further directions for improving the effectiveness of personnel, weapons and military equipment protection in conditions of environmentally unfavourable anthropogenic and natural factors, as well as environmental protection in areas where troops and military facilities are deployed and located. This will make it possible to formulate some recommendations, taking into account the necessary changes in views and approaches to the implementation of environmental safety tasks by the Armed Forces of Ukraine.

METHODOLOGICAL APPROACH TO EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF CAMOUFLAGE MEASURES FOR MILITARY FACILITIES

S. Poplavets¹, Ph.D., Associate Professor;

O. Cherniavskiy², Candidate of Technical Sciences; B. Savrun³

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Military Institute for Tank Troops of the National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute";*

³Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

The effectiveness of camouflage measures for military facilities should be assessed through their impact on reducing losses and preserving the combat potential of forces. The generalization of this task requires taking into account the influence of camouflage on the probability of detection, identification, and engagement of an object by the adversary.

The impact of camouflage measures is manifested in reducing the probability of detecting the actual object, shifting the aiming point of weapons systems, distorting the shape and structure of the object, and diverting enemy strikes through the creation of decoys.

The evaluation of effectiveness is based on determining the probability of detection and the probability of identification of an object, considering terrain conditions, characteristics of reconnaissance assets, and camouflage parameters. The values of these indicators are determined using analytical relationships and empirical data.

The proposed approach makes it possible to develop a system of criteria and indicators for camouflage effectiveness and to substantiate the rational composition of camouflage forces and assets under specific operational conditions.

ВИКОРИСТАННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ ГЕОФІЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ГЦСК У СИСТЕМІ ОБ'ЄКТИВНОГО КОНТРОЛЮ ТА СИТУАЦІЙНОЇ ОБІЗНАНОСТІ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ

О.І. Лящук¹, к.ф.-м.н.; Ю.А. Андрущенко¹, к.г.н.; І.В. Корнієнко²

¹Головний центр спеціального контролю НЦУВКЗ ДКА України;

²Воєнна академія імені Євгенія Березняка

Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) володіє унікальною мережею пасивних геофізичних сенсорів, що дозволяють реєструвати імпульсні сигнали від вибухових подій без ризику виявлення ворогом. Інтеграція цих даних у загальну систему управління військами може суттєво підвищити рівень ситуаційної обізнаності як у зоні бойових дій, так і в тилу.

Розгалужена мережа пунктів спостереження може дозволити Повітряним Силам провести швидку оцінку наслідків ракетно-бомбових ударів агресора. Отримані дані (точний час, епіцентр, енерговиділення) є засобом підтвердження факту детонації бойової частини ракети/БпЛА. У ГЦСК накопичено достатній досвід для ідентифікації подій, що дозволяє проводити швидке розділення подій: відрізнити розрив зенітної ракети в повітрі від детонації бойової частини ворожої ракети/БпЛА на ґрунті. Це може забезпечити незалежне підтвердження успішності перехоплення цілей, особливо в умовах обмеженої видимості або завадової обстановки.

Сейсмічний та інфразвуковий моніторинг у багатьох випадках фіксує вибухи в результаті ударів ЗС України по стратегічних складах боєкомплектів, нафтобазах та командних пунктах РФ, підтверджуючи їх результативність. У цьому напрямку моніторинг ГЦСК є дієвим інструментом для об'єктивного контролю ураження цілей на території ворога. Крім того це має і розвідувальну цінність, так як геофізичні дані дозволяють оцінювати масштаби застосування засобів ураження та готовність противника до авіаційних операцій.

ІНТЕГРАЦІЯ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ У МЕЖАХ ЄДИНОГО ПОРТАЛУ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ ДЛЯ ДАТАЦЕНТРИЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Д.М. Брага¹; В.Ю. Вишняков², к.т.н.; М.Ю. Ракушев², д.т.н., с.н.с.

¹Управління космічної політики у сфері оборони;

²Національний університет оборони України

Погодні умови є критично важливою складовою планування та ведення бойових дій у сучасних війнах, оскільки безпосередньо впливають на ефективність застосування військ (сил). В умовах високої динаміки операцій зростає потреба у гарантованому доступі до підтвердженої, інтегрованої та стандартизованої гідрометеорологічної інформації в реальному масштабі часу.

Фактичний стан гідрометеорологічної підтримки характеризується наявністю розгалужених, але квазіізолюваних мереж підрозділів Сил оборони України (ЗС України, НГ України, ДПС України, СБ України), які використовують фрагментовані джерела даних: наземні метеостанції, мобільні комплекси, супутникові системи, числові моделі атмосфери та міжнародні партнерські платформи. Така структура знижує швидкість обміну інформацією та ускладнює формування прикладних аналітичних продуктів підтримки

прийняття рішень, що оцінюють вплив метеорологічних параметрів на бойові спроможності військ (сил). У бойових умовах проблема посилюється обмеженнями щодо реалізації методів розвідки погоди із залученням пілотованої авіації та радіолокаційних засобів, які є вразливими до вогневого ураження та впливу засобів РЕБ противника.

Метою доповіді є обґрунтування концепції створення Єдиного метеорологічного порталу (METOC PORTAL) для датацентричної підтримки прийняття рішень у системі метеорологічної підтримки Сил оборони України та визначення його архітектурних і функціональних характеристик. Зазначена концепція порталу враховує принципи побудови датацентричних мереж типу NAMIS (NATO Automated Meteorological Information System).

У межах роботи проведено експертне опитування слухачів Національного університету оборони України та представників органів військового управління, що підтвердило потребу в оперативному доступі до достовірної гідрометеорологічної інформації безпосередньо на рівні командирів тактичної ланки управління.

Запропоновано концепцію METOC PORTAL як єдиної датацентричної цифрової платформи, що включає модулі збору даних, обробки та прогнозування (NWP, AI-Weather), архівації й підтримки AAR, а також інтеграції з C2-системами. Сформульовані основні вимоги до архітектури порталу: масштабованість, відмовостійкість, кіберзахист та відповідність стандартам НАТО щодо геопросторових метаданих (STANAG 2586).

Наукова новизна роботи полягає у формуванні концептуального підходу до автоматизованого створення уніфікованих прикладних метеорологічних продуктів типу EFFECTMATRIX та IWEDA, а також у впровадженні механізмів сценарного моделювання для підтримки процесів AAR у межах єдиного цифрового середовища. Додатковою перевагою запропонованої моделі є консолідація (“склеювання”) всієї METOC-інформації в одному інтегрованому датацентричному просторі з можливістю адміністрування доступу, формування вибіркового дозволів користувачам відповідно до їх рівнів управління, а також, створення стандартизованих сценаріїв використання інформації залежно від виду діяльності та завдань підрозділів.

Реалізація METOC PORTAL забезпечить зменшення часу прийняття рішень, підвищить ефективності застосування засобів ураження та інтеграцію метеоданих до автоматизованих систем управління військами та систем ситуаційної обізнаності, наприклад, “ДЕЛЬТА”, “ВІРАЖ”, “ОРЕАНДА”, “КРОПИВА”. Створення порталу є логічним етапом цифрової трансформації метеорологічної підтримки та переходу до мережево-центричної архітектури управління військами.

ЗАХИСТ ПІДРОЗДІЛІВ ВІД БПЛА ЗАСОБАМИ АЕРОЗОЛЬНОГО МАСКУВАННЯ

Є.М. Шматов; І.М. Мартинюк, к.біол.н.

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана П. Сагайдачного

З розвитком технологій, БПЛА стали одним із ключових засобів ураження та ведення сучасної війни. Вони активно застосовуються для розвідки, виявлення цілей і коригування вогню, що створює постійну загрозу для особового складу та техніки. За таких умов важливого значення набувають методи приховування дій військ, одним із яких є аерозольне маскування.

Створення аерозольних завіс дає змогу обмежити можливості спостереження противника, знизити ризик ураження і забезпечити виконання завдань у складній обстановці.

Аерозольне маскування ґрунтується на утворенні в повітрі завіси з дрібнодисперсних частинок, що розсіюють або поглинають світлове (інфрачервоне) випромінювання та, у свою чергу, ускладнюють роботу оптичних, тепловізійних і лазерних систем, якими оснащені БпЛА. Практика застосування аерозолів показує ефективність у приховуванні позицій підрозділів військ під час розгортання, ремонту техніки, зміни вогневих рубежів та уникнення (мінімізації) ураження з БпЛА. Важливим чинником є своєчасність постановки завіси з урахуванням погодних умов, її координатія з іншими засобами маскування, зокрема, природними укриттями, маскувальними сітками, засобами РЕБ тощо. Досвід бойових дій доводить, що правильно організоване аерозольне прикриття істотно зменшує ймовірність виявлення та ураження особового складу та техніки.

Аерозольне маскування є ефективним способом зниження ймовірності виявлення підрозділів за допомогою БпЛА, що забезпечує прихованість дій підрозділів, зменшує ризик втрат і підвищує стійкість військ у бойовій обстановці. Дослідження спрямовані на вдосконалення складів аерозолів, розробку сучасних автоматизованих систем їх постановки та інтеграції маскувальних комплексів у загальну систему протидії дронам.

ДЕЯКІ ПОГЛЯДИ НА ВИКОРИСТАННЯ БпЛАК ДЛЯ ПОСТНОВКИ АЕРОЗОЛЬНИХ ЗАВІС

В.В. Ларіонов

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Враховуючи набутий досвід використання підрозділами Сил оборони змін в прозорості атмосфери в районах виконання бойових (спеціальних) завдань за допомогою димових (аерозольних) завіс, роль таких нескладних аеродисперсних систем переоцінити неможливо. Частина простору хмари аерозольних частинок, а саме аерозольне дисперсне утворення (завіса), знижує до потрібного рівня оптичну помітність підрозділів і об'єктів і тим самим створює перешкоди засобам розвідки й наведення зброї противника. Спектр технічних рішень постановки аерозольних завіс, що вже широко використовується – гранати для підствольних гранатометів, ручні димові гранати (шашки), установки типу Multi-Purpose-Launcher (MPL-76), термодимова апаратура, що встановлені на бойовій техніці. Доступ техніки до району виконання завдань, в умовах дій FPV противника дуже обмежений. Залишається тільки використання ручних димових гранат (шашок). Доставка до запланованого осередку димопуску технічних засобів постановки аерозольних (димових) завіс БпЛАК залишається майже єдиною можливістю. Для того щоб виключити або значно зменшити можливості противника вести прицільний вогонь, а також для позбавлення підрозділів противника зорового зв'язку, ускладнення його дій при маневрі, висуванні, розгортанні використовуються осліплюючі димові завіси. Використання димових боеприпасів артилерією, на сучасному етапі, обмежується дальністю пострілу, швидким виявленням та ресурсом, що виділяється. Застосування безпілотних систем для осліплення противника або введення його в оману із використанням аерозолів (димів) є одним з важливих прийомів їх бойового застосування.

ОСОБЛИВОСТІ МОРАЛЬНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

Є.О. Балта

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Еволюція системи підтримки Повітряних Сил Збройних Сил України вимагає багатогранного бачення, де провідну позицію займає вдосконалення морально-психологічного стану бійців. На тлі безперервних повітряних атак ворога, саме ментальна витривалість військовослужбовців перетворюється на головну запоруку збереження високої бойової готовності.

Досвід безпосереднього керівництва особовим складом в умовах хронічного напруження доводить, що класичні методики роботи потребують суттєвого оновлення. Для посадових осіб, які організовують морально-психологічне забезпечення, пріоритетом стає не просто підтримання статутного порядку. На перший план виходить здатність вчасно розпізнавати симптоми бойового виснаження, застосовувати техніки швидкої психологічної реабілітації прямо на бойових постах та максимально згуртувати колектив.

Надзвичайно важливим кроком є запозичення успішних напрацювань від інших структур сектору оборони. Застосування стандартизованих алгоритмів психологічної опіки та взаємообмін управлінськими практиками між різними видами військ дасть змогу вибудувати гнучкішу та дієвішу модель ментальної підтримки. У підсумку це прямо позначиться на якості виконання завдань із прикриття українського неба та збереженні життів наших захисників.

ВПЛИВ КОСМІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ТЕМП І ХАРАКТЕР ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

М.П. Романчук, к.т.н., ст.д.; О.М. Наумчак, д.філос.;

Ю.Р. Денисюк; О.В. Франжі

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

В умовах сучасних збройних конфліктів темп ведення операцій (бойових дій) стає одним із ключових чинників переваги. Контроль над космічними даними дозволяє впливати на темп (динаміку) бойових дій. Космічні засоби спостереження надають можливість глобального моніторингу, а захищені канали зв'язку – оперативне та гарантоване доведення інформації до виконавців.

Організації на кшталт United States Space Force формують окремий космічний компонент оборони, визнаючи орбіту повноцінним операційним середовищем. Координація космічного простору, включно з моніторингом об'єктів і загроз, здійснюється структурами на кшталт North American Aerospace Defense Command.

Концепція “інформаційного домінування” трактується як здатність випереджати противника у процесі прийняття рішень. Аналізується, як космічні технології впливають на стратегічне стримування, планування операцій та адаптацію до нових типів загроз, зокрема системами протидії космічним апаратам.

Підсумовується, що у XXI столітті космос стає не лише підтримуючим елементом оборони, а фундаментальним чинником військово-політичної сили. Контроль над інформаційними потоками з орбіти означає контроль над швидкістю, точністю та ефективністю бойових дій.

КОСМОС ЯК ЯДРО ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПЕРЕВАГИ

*М.П. Романчук, к.т.н., ст.д.; О.М. Наумчак, д.філос.;
Ю.Р. Денисюк; Л.М. Наумчак
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

На сучасному етапі війна дедалі менше визначається масованістю застосування сил і дедалі більше – швидкістю отримання, оброблення та використання інформації у процесі прийняття рішень. Концепція “сенсор–мережа–удар” відображає нову логіку бойових дій, у якій ключову роль відіграють космічні технології. Орбітальні платформи забезпечують глобальне спостереження, раннє попередження, навігацію, зв’язок, формуючи інформаційно-розвідальну та навігаційно-комунікаційну основу сучасних операцій (бойових дій).

Космічні системи раннього попередження, зокрема програми на кшталт Space-Based Infrared System, дозволяють фіксувати ракетні пуски ще на етапі роботи двигуна. Це скорочує часовий цикл прийняття рішення від виявлення до перехоплення до кількох хвилин. Такий підхід дозволяє не лише реагувати на загрозу, а й реалізовувати дії на випередження в межах концепції мультидоменних операцій.

Космічні знімки високої розрізненості, які надають такі комерційні оператори, як Maxar Technologies, інтегруються у системи бойового управління. Дані з орбіти поєднуються з інформацією наземних радарів, безпілотних систем, засобів радіоелектронної розвідки та перехоплення сигналів. У результаті формується єдина цифрова картина операційного середовища.

Космічний сегмент також гарантує стійкість систем управління та обміну даними за рахунок використання угруповань космічних апаратів зв’язку, зокрема Starlink. Це мінімізує ризик втрати управління навіть у випадках знищення наземної інфраструктури.

У сучасних умовах бойова ефективність визначається рівнем інтеграції систем спостереження, зв’язку, управління та ураження в єдину інформаційну мережу.

ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ СИГНАЛІВ НАВІГАЦІЇ

*М.П. Романчук, к.т.н., ст.д.; О.М. Наумчак, д.філос.; Л.М. Наумчак
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

В умовах сучасних збройних конфліктів безпілотні літальні апарати стали одним із ключових засобів розвідки, коригування вогню артилерії та ураження цілей. А широке застосування засобів радіоелектронної боротьби, навігаційного спуфінгу та придушення супутникових сигналів суттєво ускладнює їх використання. Відсутність або спотворення сигналів

навігаційних систем призводить до зниження точності польоту, втрати просторової орієнтації апарата та обмеження можливостей виконання завдань у напівавтоматичному й автономному режимах.

Однією з ключових проблем є забезпечення стійкої навігації в умовах повної або часткової втрати сигналів навігації. Це зумовлює необхідність використання альтернативних підходів, зокрема інерціальних систем, оптичної навігації, кореляційних методів зіставлення з еталонними картами місцевості, а також алгоритмів колективної навігації груп апаратів.

Зростання обчислювального навантаження на бортові системи, що пов'язане із реалізацією алгоритмів автономної навігації, розпізнавання орієнтирів та оцінювання власного положення в реальному масштабі часу також зумовлюють необхідність пошуку нових підходів до вирішення питання навігації безпілотних систем. Обмежені енергетичні ресурси, масо-габаритні характеристики апаратури та вимоги до стійкості каналів обміну даними істотно звужують можливості впровадження складних методів навігації без використання супутникових сигналів.

Забезпечення ефективного застосування безпілотних літальних апаратів у навігаційно несприятливому середовищі потребує комплексного розвитку бортових сенсорних систем, алгоритмів автономної навігації та адаптивних методів управління польотом. Вирішення зазначених проблем є критично важливим для збереження оперативних можливостей безпілотних систем в умовах сучасної війни.

РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ СИТУАЦІЙНОГО ЦЕНТРУ, АДАПТОВАНОЇ ДО СПЕЦИФІКИ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ (ВІЙСЬКОВОЇ, ПРИКОРДОННОЇ, ПРАВООХОРОННОЇ ТА АВІАЦІЇ ДСНС)

С.М. Чумаченко, д.т.н., с.н.с.; О.В. Самойленко, к.т.н., с.н.с.;

Ю.О. Невзгляденко

Державний науково-дослідний інститут авіації

Державна авіація України представлена різномірними відомствами, кожне з яких має власні системи управління. Відсутність єдиної архітектури ситуаційного центру (СЦ) призводить до затримок у передачі критичної інформації та дублювання функцій. Створення адаптованої архітектури СЦ дозволить реалізувати концепцію Joint Operations (спільних операцій) на міжвідомчому рівні.

Для забезпечення універсальності архітектура СЦ має базуватися на таких принципах:

1. Модульність – можливість швидкого підключення специфічних сервісів (наприклад, модуля скидання вогнегасної суміші для ДСНС або управління авіаційними засобами ураження для ЗС України);

2. Інтероперабельність – відповідність стандартам НАТО (STANAG) для обміну даними між різними типами бортів та наземних станцій;

3. Сервіс-орієнтованість (SOA) – надання доступу до даних розвідки та моніторингу через єдиний інтерфейс для всіх відомств.

У функціональній структурі СЦ пропонується виділити чотири ключові функціональні блоки, що наведені в таблиці 1.

Для ефективного застосування державної авіації в СЦ має здійснюватись адаптація до специфіки відомств, а саме архітектура СЦ повинна підтримувати динамічне профілювання:

1. Військовий профіль: пріоритет на захищеність каналів зв'язку та автоматизацію цілевказання.

2. Правоохоронний / прикордонний профіль: фокус на відеоаналітиці в реальному часі та ідентифікації об'єктів.

3. Профіль ДСНС: інтеграція з геоінформаційними системами (ГІС) для моделювання розповсюдження пожеж або зон затоплення.

Таблиця 1 Характеристика функцій СЦ

Блок	Функції	Відомча специфіка
Інформаційно-аналітичний	Збір даних з БПЛА, супутників, РЛС.	Моніторинг кордону (ДПС України), розвідка цілей (ЗС України).
Оперативно-командний	Планування польотів, постановка завдань.	Бойові розпорядження (ЗС України), пошуково-рятувальні роботи (ДСНС).
Координаційний	Управління повітряним простором.	Запобігання конфліктам між відомчими бортами в зоні операції.
Логістичний	Моніторинг стану ПММ, озброєння та аеродромів.	Підготовка бортів до вильоту, технічне обслуговування.

Висновки: створення адаптованої архітектури СЦ державної авіації дозволить скоротити час прийняття рішення на 30–40 % та забезпечить безшовну взаємодію між силовими структурами. Це є критичним кроком до побудови сучасної системи національної безпеки, що базується на даних, а не на паперових регламентах.

АДАПТАЦІЯ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ВИРОБНИЦТВА США ДО ВИМОГ УКРАЇНСЬКОГО АВІАЦІЙНОГО ЗАКОНОДАВСТВА

*О.В. Карпенко; О.В. Степанов; Р.В. Бойко, к.т.н., с.н.с.;
А.А. Шульгін, к.т.н., ст.д.*

Державний науково-дослідний інститут авіації

Отримання нашою державою військових літаків виробництва США зумовлює необхідність системної адаптації підходів до їх експлуатації, підтримання льотної придатності та нормативного супроводу відповідно до вимог авіаційного законодавства України.

Визначено, що американська модель експлуатації військових повітряних суден ґрунтується на централізованому управлінні конфігурацією та застосуванні процедур технічного обслуговування через активну роль спеціально створеної національної організації – утримувача сертифіката типу (військового), яка передбачає експлуатацію повітряного судна протягом його життєвого циклу з розподілом відповідальності між американським виробником та українською стороною. Окрім того, після виконання визначених адміністративних процедур компетентним органом України та видачі сертифіката типу організації утримувача національного сертифіката типу (військового), вона має відповідати за ведення конфігурації типу, контролювати зміни, оновлення, модернізацію, має аналізувати експлуатаційні інциденти, технічні відмови, ініціювати технічні бюлетені, директиви льотної придатності, забезпечувати комунікацію з компетентним органом, Повітряними силами США, організаціями розробника/виробника, підтримувати в актуальному стані документацію повітряного судна, відповідати усім вимогам льотної придатності та стандартам.

З часом, при передачі Україні інших типів американської техніки, наявність організації утримувача національного сертифіката типу (військового) значно посилить оборонні спроможності країни, в першу чергу її повітряної складової.

ОСНОВНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ВІД ХІМІЧНОЇ, БІОЛОГІЧНОЇ, РАДІОЛОГІЧНОЇ ТА ЯДЕРНОЇ (ХБРЯ) ЗБРОЇ У ПОВІТРЯНИХ СИЛАХ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ПІД ЧАС ВІДБИТТЯ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

*Г.П. Озеран; С.С. Брянкін, д.філос.; С.В. Барченко
Державний науково-дослідний інститут випробувань та сертифікації
озброєння та військової техніки*

Система захисту від хімічної, біологічної, радіологічної та ядерної (далі – ХБРЯ) зброї в нинішній період часу зазнає значних трансформацій, які полягають у переході від застарілих “радянських” стандартів так званого “кількісного накопичення” до стандартів НАТО, які характеризуються набуттям “технологічної переваги”.

З огляду на цю обставину можливо зазначити, що сьогодні найважливішими аспектами розвитку системи захисту від ХБРЯ зброї у Повітряних Силах Збройних Сил України є:

1. Технологічна модернізація та автоматизація, спрямована на мінімізацію перебування особового складу в зонах можливого ХБРЯ забруднення та максимальне пришвидшення реагування на загрози. Цей напрямок включає організацію та ведення дистанційного зондування (за рахунок впровадження лазерних та інфрачервоних детекторів з метою виявлення бойових отруйних речовин на великих відстанях), широке використання БПЛА для ведення радіаційної та хімічної розвідки в зонах можливого забруднення, автоматизацію систем оповіщення (інтеграція сигнальних датчиків виявлення ХБРЯ забруднення в єдину систему управління бойовими діями Повітряних Сил);

2. Захист авіаційної техніки та аеродромної інфраструктури з метою забезпечення підтримки боєздатності літальних апаратів в умовах ХБРЯ забруднення. До цього напрямку слід включити впровадження нових методів

деконтамінації (спеціальної обробки), тобто відмови від використання агресивних компонентів та рідин, що можуть завдати шкоди авіоніці та композитним матеріалам конструкції літальних апаратів, з переходом до сухої деконтамінації, а також проведення заходів колективного захисту (модернізація пунктів управління польотами, обладнання укриттів для пілотів та аеродромно-технічного персоналу сучасними системами фільтровентиляції високого тиску, що дозволяють особовому складу знаходитись в укриттях без індивідуальних засобів захисту органів дихання);

3. Впровадження нових зразків засобів індивідуального захисту органів дихання та шкіри – менш громіздких, що є критичним для екіпажів літаків та вертольотів. Сюди входять заходи по забезпеченню з'єднань та частин Повітряних Сил полегшеними захисними костюмами, що обладнані вибірково-проникними мембранами, які “дихають”, але водночас затримують шкідливі речовини. Крім того, принциповим та невідкладним питанням цього аспекту є розробка та подальше забезпечення льотного складу новими шоломами, які обладнані масками захисту від ХБРЯ засобів, поєднаними з системою забезпечення киснем та нашоломною системою цілевказання.

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ЩОДО РОЗРОБКИ І РОЗВИТКУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

І.І. Табурець; Н.М. Пантєлєєва, д.е.н., к.т.н., проф.

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

Розвиток інноваційної діяльності в сфері військових технологій, створення і прийняття на озброєння новітніх зразків озброєння і військової техніки (ОВТ) трансформує військову тактику та оборонну стратегію. Її активність відчутно зростає під час воєнного стану, коли вона стає фундаментальною основою розвитку спроможностей національних сил оборони, а результативність зумовлюється інноваційним потенціалом.

Пропонується динамічна модель оцінювання інноваційного потенціалу розробки і розвитку ОВТ в умовах воєнного стану. Особливість цієї моделі визначається поєднанням класичних підходів і врахуванням воєнно-операційної специфіки (бойова релевантність інновацій), що надає їй адаптивності, багаторівневості та орієнтованості на бойову ефективність. Означене визначає три рівня моделі, математична формалізація якої представляється через інтегральний показник інноваційного потенціалу мультиплікативно-адитивної форми. Адаптивність до умов воєнного стану забезпечено введенням відповідного коефіцієнту, який враховує швидкість реагування на потреби ЗС України, імпортозаміщення, стійкість до інфраструктурних втрат.

Практичне значення запропонованої моделі полягає в її корисності для проведення зваженої оборонно-інноваційної політики і прийняття обґрунтованих рішень стосовно пріоритезації фінансування інноваційної діяльності, створення випробувальних і виробничих кластерів, оцінювання ефективності військово-технічних програм в динаміці ситуаційних змін в умовах воєнного стану.

ДИСКРЕТНО-КАЗУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДВОХОПЕРАНДНИХ СЕТ-ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ПОТОКОВОГО ШИФРУВАННЯ

В.М. Рудницький¹, д.т.н., проф.; В.В. Ларін¹, к.т.н., доц.; Д.А. Підласий²

¹Державний науково-дослідний інститут випробування і сертифікації озброєння та військової техніки;

²Черкаський державний технологічний університет

Потокові криптографічні системи на основі двохоперандних СЕТ-операцій можна розглядати як вдосконалені аналоги поточкових криптографічних систем побудованих на основі додавання по модулю два.

Моделювання двохоперандних СЕТ-операцій для систем поточкового шифрування полягає в наступному:

1. Визначити вимоги до побудови криптографічної системи;
2. Побудувати множини симетричних однооперандних СЕТ-операцій для синтезу варіантів базових груп СЕТ-операцій;
3. Визначити базову групу СЕТ-операцій відповідно до п.1;
4. Побудувати дискретно-казуальні моделі однооперандних СЕТ-операцій вибраної базової групи;
5. Визначити підхід до синтезу моделі двохоперандної операції;
6. На основі п.5 побудувати кортеж СЕТ-операцій;
7. На основі об'єднання одноіменних елементарних функцій кортежу однооперандних СЕТ-операцій мінімізувати параметри дискретно-казуальної моделі;
8. Побудувати модель двохоперандної СЕТ-операції;
9. Повторивши пункти 6–8, побудувати декілька інших варіантів моделі двохоперандної СЕТ-операції;
10. Визначити серед побудованих варіантів дискретно-казуальну модель двохоперандної СЕТ-операції, яка має найменшу складність реалізації.

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПІДТРИМКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ТА РОЗРОБЦІ НОВІТНІХ ЗРАЗКІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

А.І. Березовський, к.т.н., доц.; В.В. Сухар; О.В. Махнюк

Університет трансформації майбутнього

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Воєнно-технічна політика держави та ситуація, яка склалась на оперативних напрямках сходу та півдня України в зоні проведення бойових дій, передбачає постійне підтримання в справному стані засобів забезпечення виконання завдань, які покладені на Повітряні Сили Збройних Сил України. При цьому основний акцент планується зосередити на проведенні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, метою яких є створення перспективних і ефективних систем, комплексів і зразків озброєння. За рахунок цього передбачається не допускати подальшого відриву наукових розробок від світових досягнень і вчасно забезпечити потреби Повітряних Сил Збройних Сил України.

Рекомендації щодо розроблення перспективних систем, комплексів і зразків озброєння ґрунтуються на основі порівняльного аналізу технічних характеристик основних зразків існуючих у Збройних Силах України і перспективних зразків озброєння та військової техніки країн-членів НАТО та враховують аналіз досвіду застосування зазначених засобів.

Таким чином, поєднання можливостей підприємств України та перспективних наукових розробок надасть можливість забезпечити виконання замовлень Міністерства оборони України щодо задоволення потреб підрозділів Повітряних Сил України новітніми засобами забезпечення виконання завдань.

АЕРОЗОЛЬНЕ МАСКУВАННЯ ЯК ЕЛЕМЕНТ ПІДТРИМКИ БОЙОВИХ ДІЙ АРТИЛЕРІЇ

В.В. Редька

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Сучасні бойові дії характеризуються широким використанням високоточної зброї, БпЛА, засобів радіолокаційної та оптико-електронної розвідки. У цих умовах забезпечення живучості та ефективності артилерійських підрозділів значною мірою залежить від рівня їх маскування. Одним із найбільш дієвих засобів протидії виявленню є застосування підрозділів аерозольного маскування.

Основними завданнями підрозділів аерозольного маскування в інтересах артилерії є прикриття районів зосередження, вогневих позицій, командно-спостережних пунктів, маршрутів висування та тилових об'єктів. Своєчасне створення аерозольних завіс у момент підготовки та ведення вогню знижує ймовірність ураження артилерійських систем вогнем противника, у тому числі високоточними боеприпасами та баражуючими боеприпасами.

Ефективність застосування аерозольного маскування значною мірою залежить від злагодженої взаємодії між артилерійськими та інженерно-хімічними підрозділами, точного розрахунку метеорологічних умов, вибору оптимального часу та тривалості постановки завіс. Особливу роль відіграє використання сучасних аерозольних засобів, здатних маскувати не лише у видимому спектрі, а й в інфрачервоному та радіолокаційному діапазонах.

Таким чином, підрозділи аерозольного маскування є важливим елементом бойового забезпечення артилерійських підрозділів. Їхнє грамотне та своєчасне застосування значно підвищує живучість артилерії, сприяє збереженню особового складу й техніки та забезпечує успішне виконання вогневих завдань у сучасних умовах ведення бойових дій.

ДИСТАНЦІЙНІ ПРИЛАДИ ХІМІЧНОЇ РОЗВІДКИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ ЗАСОБИ ПІДТРИМКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*А.А. Бабарик, к.х.н.; І.В. Огородник, к.х.н.; О.Р. Онищук
Військова частина А4983*

Гостра токсичність, виняткова летальність та невибірковість дії бойових отруйних речовин (далі – БОР) щодо військових цілей та цивільного населення перетворює своєчасне виявлення та ідентифікацію БОР на важливий елемент

сучасних військових конфліктів. Сучасний спектральний аналіз використовується для розробки точного та селективного виявлення бойової хімічної зброї. Аналіз тенденцій у розвитку дистанційного виявлення БОР показує, що країни-члени НАТО та російська федерація вже опанували та продовжують удосконалювати та модернізувати новітні технології для розробки військових приладів на основі диференціальної абсорбційної спектроскопії лазерного випромінювання, інфрачервоної спектроскопії з перетворенням Фур'є для виявлення, ідентифікації, визначення діапазонів концентрацій ділянок контамінованих БОР, пов'язуючи їх з відповідними геопросторовими даними. Згаданий тип приладів здатний розрізняти основні групи БОР (нервово-паралітичної, шкірно-нарівної дії, промислових токсичних речовин) на відстані до 6 км. Багаті можливості виявлення різноманітних промислових токсичних речовин за допомогою дистанційної хімічної розвідки сприятимуть підвищенню ситуаційної обізнаності підрозділів, зокрема, Повітряних Сил ЗС України. Ефективна протидія сучасним хімічним загрозам залежить від прискореного дослідження та розробки основ передових аналітичних методів виявлення БОР, а також налагодження та розвитку співпраці з міжнародними партнерськими організаціями, що значно розширить можливості розробки та виробництва військових приладів хімічної розвідки, пришвидшить їх вдосконалення та модернізацію.

ОСОБЛИВОСТІ ДЕКОНТАМІНАЦІЇ ЧУТЛИВИХ ПРИЛАДІВ

*І.А. Ключун; І.В. Огородник, к.х.н.; О.Р. Онищук
Військова частина А4983*

Традиційні деконтамінуючі рецептури часто не придатні для обробки чутливого обладнання через дію агресивних речовин зі складу зазначених рецептур. Однак літаки, їх обладнання, а також інфраструктурне обладнання, які можуть отримати забруднення внаслідок ХБРЯ інциденту – це цінні і часто незамінні зразки ОВТ, що потребують деконтамінації для їх подальшого використання за призначенням.

Для деконтамінації чутливих приладів існує ряд методів, кожен з яких характеризується певними перевагами та недоліками. Специфічні рідини, які не завдають критичної шкоди приладам, наприклад, синтетичні фторовмісні хімічно інертні рідини, що без залишку випаровуються після обробки, дозволяють проводити обробку працюючих електронних приладів. Обмежено придатні при полярних (водорозчинних) забрудненнях та при необхідності видаляти дрібнодисперсні забруднення із складних приладів через в'язкість. Також суттєвим недоліком даного методу є висока ціна зазначених рідин. При необхідності використовувати рецептури на водній основі, застосовується деіонізована вода з додаванням поверхнево-активних речовин та спеціальних інгібіторів, однак цей метод пов'язаний із суттєвими ризиками пошкодити прилад.

Із “сухих” методів деконтамінації варто зазначити плазмовий (ефективний проти біологічних агентів, та використання діоксиду вуглецю в надкритичному стані (при тиску близько 73 атмосфери та температурі понад 31 °С діоксид вуглецю переходить в надкритичний стан, при якому густина та здатність розчиняти рідини поєднана з відсутністю в'язкості газу). Завдяки

зазначеним характеристикам та хімічній інертності застосування надкритичного діоксиду вуглецю є ефективним методом видалення радіоактивних часток із найскладніших приладів.

ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ПІЛОТІВ ЛІТАКІВ

*А.С. Бисов, к.б.н.; І.В. Огородник, к.х.н.; О.Р. Онищук
Військова частина А4983*

Захист пілотів літаків від впливу хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних (ХБРЯ) загроз у ході ведення бойових дій із противником, що володіє широкою номенклатурою зброї масового знищення (ураження) є фундаментальною складовою сучасної системи бойової готовності авіаційних підрозділів. У ХХІ столітті характер війни змінюється, і противник дедалі частіше застосовує неконвенційні засоби ураження, які виходять за межі традиційних бойових дій. Саме тому оснащення льотного складу спеціалізованим захисним спорядженням стає не лише технічним завданням, а й стратегічним пріоритетом, що визначає здатність Повітряних Сил виконувати бойові завдання у будь-яких умовах.

Екіпірування та засоби захисту екіпажів реактивних літаків розробляються з урахуванням специфіки польотів на надзвукових швидкостях та в екстремальних умовах. Воно інтегрує захист органів дихання, повне покриття тіла, сумісність із тепловими шарами та спорядженням для виживання у холодній воді, а також здатність витримувати перевантаження під час польоту та аварійного виходу. Це спорядження додає пілоту додаткове навантаження у 4,5–6,8 кілограм, що вимагає високої фізичної та психологічної стійкості, але водночас забезпечує комплексний захист від найнебезпечніших факторів сучасного бою. Важливо, що обладнання розроблене таким чином, щоб не обмежувати маневреність та функціональність льотчика, адже будь-яке зниження ефективності управління літаком може мати критичні наслідки для виконання місії.

Таким чином, засоби індивідуального захисту пілотів літаків у рамках ХБРЯ-програм є багатовимірним інструментом, що поєднує технологічні інновації, організаційні рішення та стратегічне бачення. Їхнє впровадження забезпечує не лише фізичний захист льотного складу, а й психологічну впевненість у здатності виконати місію за будь-яких умов.

INFORMATION SECURITY IN MESSAGE EXCHANGE WITH REGIONAL CENTERS AND OBSERVATION POSTS OF THE MAIN CENTER FOR SPECIAL CONTROL (MCSC)

T. Pozovna¹; A. Koshe², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹ASS “Zolotarivka”;

²ASS “Kharkiv”

The contemporary trend in information security emphasizes the use of cryptological methods to prevent unauthorized access. However, the growing number of hacker attacks on Ukraine's systems and databases underscores the urgency of improving existing security measures. Traditional cryptographic tools

remain vulnerable to information weapons, including computer viruses, logic bombs, and autonomous replicative programs.

A promising direction involves the integration of cryptography with linguistic steganography, which addresses the weaknesses of established methods and enables the creation of novel approaches to data protection. Analysis of modern steganographic techniques has demonstrated the effectiveness of syntactic methods based on punctuation for concealing information in textual containers. The study of punctuation variability in the Ukrainian language provided the basis for designing algorithms for encoding and extracting hidden messages.

Practical experiments, particularly those conducted with ASP “Zolotarivka” equipment, allowed for the evaluation of the strengths and weaknesses of the chosen method, the identification of optimal container types, and the refinement of embedding algorithms with consideration of time constraints in command posts. The analysis of attacks on steganographic systems contributed to the clarification of criteria for container and algorithm selection, ensuring the imperceptibility of hidden communications.

Over three years of ASP “Zolotarivka” operation, repeated attempts by unauthorized users to interfere with the communication network of the MCSC were recorded, aimed at obstructing the tasks of the Armed Forces of Ukraine. This confirms both the relevance and the strategic importance of the research, which remains significant in the present and for the future.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КІНОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Д.О. Давидов
Військова частина А4983

Кінологічна підтримка Повітряних Сил ЗС України є ключовим компонентом системи охорони аеродромів, стоянок авіаційної техніки, позицій підрозділів ППО, складів з військовим майном та арсеналів. Основні функції кінологічної підтримки складаються з посиленого патрулювання периметра, що охороняється, організації вартової служби, контролювання доступу на територію (КПП) та протидії диверсійно-розвідувальним групам.

Сьогоденний розвиток кінологічної підтримки у Повітряних Силах ЗС України спрямований на посилення охорони військових об'єктів та базується на впровадженні стандартів НАТО та розширенні функціоналу службових собак.

Основні перспективи розвитку кінологічної підтримки у Повітряних Силах України, як пріоритет, включають підготовку кінологічних розрахунків ЗС України з вартовими (сторожовими) собаками у відповідності до європейських та північноатлантичних вимог, що передбачає суттєве покращення тактики застосування службових собак під час виконання службових завдань.

Особлива увага приділяється розширенню спроможності спеціальних службових собак з пошуку вибухонебезпечних предметів, де акцент робиться не тільки на їх залучення до перевірки периметру, а і до перевірки злітно-посадкових смуг після обстрілів та авіаційної техніки і транспортних засобів перед кожною льотною зміною.

В умовах сучасних загроз проводиться активне створення мобільних кінологічних розрахунків з патрульно-розшуковими собаками для антитерористичного захисту, що критично важливо для безпеки персоналу та захисту інфраструктури та техніки.

ПЕРСПЕКТИВИ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*О.Б. Крайсвітний
Військова частина А4983*

У сучасній війні ефективність бойової авіації залежить не лише від кількості та класу літаків, а й від того, наскільки добре працюють системи підтримки, зокрема гідрометеорологічна. В умовах протяжної та динамічної лінії фронту особливо важливо розгорнути мережу автоматизованих метеорологічних станцій безпосередньо в прифронтових районах.

Порівняння вартості одного сучасного винишувача з витратами на створення такої мережі, що в реальному часі надаватиме точну інформацію про фактичну погоду при землі, наочно показує раціональність цих інвестицій: за частку ціни одного літака можна створити інфраструктуру, яка працюватиме на весь авіаційний парк. Такий підхід успішно застосовується у збройних силах країн-членів НАТО, де автоматизовані метеорологічні станції забезпечують авіацію оперативними даними і підвищують безпеку та ефективність польотів.

Станції надаватимуть оперативні дані прямо з району бойових дій, що дозволить робити точніші прогнози і завчасно попереджати льотчиків про ризики під час польотів на гранично малих висотах, де сьогодні найчастіше діє авіація. Використання цих даних у системі візуалізації метеорологічної обстановки та прогнозування допоможе більш повно враховувати вплив погодних умов на виконання польотів.

Станції є автономними, модульними і не потребують великого штату обслуговування. Витрати на утримання мережі будуть прогнозованими і відносно невеликими порівняно з експлуатаційними витратами авіації, а точні метеорологічні дані допомагають економити ресурс літаків, паливо та інші матеріальні засоби.

Мережа працюватиме не лише в інтересах авіації, а й на користь усіх Збройних Сил України, підвищуючи успішність виконання завдань, зменшуючи ризики та забезпечуючи системний ефект для національної безпеки в цілому.

СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ФОРТИФІКАЦІЙНОГО ЗАХИСТУ КРИТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

*В.В. Іваничко; Р.П. Кравчук
Військова частина А4983*

Розвиток засобів повітряного нападу з високою точністю та проникаючою здатністю ставить під загрозу класичну систему наземної фортифікації. Для Повітряних Сил питання живучості пунктів управління та позиційних районів ППО стає питанням виживання всієї системи оборони держави.

Досвід експлуатації ЗРК та радіолокаційних постів вказує на необхідність переходу від однорівневого захисту (обвалування) до багаторівневих захисних систем.

Пріоритетним напрямом є будівництво заглиблених монолітних залізобетонних споруд із застосуванням протикумулятивних екранів та демпфуючих шарів, що здатні поглинати енергію вибуху.

Важливим компонентом є “цифрова фортифікація” — інтеграція засобів активного захисту (малої ППО та РЕБ) безпосередньо в інженерну структуру об’єкта. Потрібно широко впроваджувати хибні позиції, які не просто візуально імітують техніку, а мають відповідні теплові та радіолокаційні сигнатури.

Використання сучасних габіонних конструкцій типу Неско дозволяє оперативно зводити захисні стінки для розосередженої авіаційної техніки на стоянках.

Перспективним є розвиток модульних укриттів, що можуть бути швидко розгорнуті на нових позиціях, забезпечуючи захист від уламків та ударних дронів-камікадзе. Тільки поєднання фізичної міцності споруд, прихованості та активної протидії засобам розвідки ворога забезпечить стійкість системи управління Повітряних Сил.

СЕКЦІЯ 12

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Керівники секції: полковник Осадчий В.Г.;
к.т.н. ст.д. підполковник Леках А.А.
Секретар секції: майор Долинський М.П.

AREAS FOR OPTIMISING THE FUNCTIONING OF THE LOGISTICAL SUPPORT SYSTEM FOR THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE, TAKING INTO ACCOUNT THE IMPLEMENTATION OF NATO STANDARDS

V. Osadchyi¹; S. Igumentsev¹;

A. Lekakh², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Logistics Command Air Force Command of Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of repelling large-scale aggression by the Russian Federation (RF) against Ukraine, the necessary level of combat readiness of troops (forces) is achieved, in particular, through the timely provision of the necessary quantity of weapons, military and special equipment (WMSE) and material-technical means (MTM). The solution of these tasks relies on the system of logistical support of troops (forces), therefore the main attention is paid to the organization of effective logistical support of troops (forces) in operations, especially its rapid adaptation to the real situation, forms and methods of application of parts (units) at various stages of its repulsion. In this regard, the issue of improving the support of the Air Force (AF) of Ukraine, in particular, logistical support in new conditions, is becoming more and more urgent.

The conducted analysis showed that the AF of Ukraine are gaining invaluable experience in the use of modern models of WMSE and MTM of NATO partner countries, ways of countering modern means of an aggressor's air attack are being searched for, and the provisions of the governing and regulatory documents of the AF of Ukraine are being checked in real combat conditions.

Within this approach, there is cooperation between Ukraine and partner countries, where the main sources of meeting the needs for military products are determined.

The report proposes key ways to develop logistics support for the AF of Ukraine, taking into account the WMSE provided by the partner countries and mutual integration with NATO principles and standards.

DETERMINATION OF RATIONAL ROUTES FOR TRANSPORTING MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES USING A MULTI-AGENT ALGORITHM

H. Khudov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

I. Taran, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Salna

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today's challenges require finding rational solutions when addressing the task of providing defense forces units and subunits with material and technical resources. The task of determining rational transport routes with an increasing number of

suppliers and consumers is characterized by great complexity and dimensionality, and the application of classical search methods (e.g., gradient methods) is usually limited by the type of objective function. In this case, the problems may be: multi-extremality of the objective function – the solution found by classical optimization methods may be a local extremum; the complexity of choosing the initial search point; the impossibility of calculating the values of the derivatives of the objective function due to its non-differentiability.

In recent years, artificial intelligence methods have been developed, including multi-agent algorithms (MAA). These algorithms were initially used to find the shortest path in graphs, but further research led to the emergence of numerous modifications of MAAs and demonstrated their versatility in solving a wide range of optimization problems. One of the important advantages is the high efficiency of MMA in optimizing distributed non-stationary systems. This, as well as other advantages of the algorithm (such as speed), make it relevant to conduct research on the possibility of using MMA to solve the problem of determining rational routes for the transportation of material and technical resources.

DEVELOPMENT OF WAYS TO OPTIMIZE ENERGY CONSUMPTION OF THE AKDS-70M DURING AERODROME ENGINEERING SUPPORT OF AN AVIATION UNIT

M. Dolinsky; D. Shestakov; V. Otrashevskiy;

*V. Krasnokutskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Today, under the conditions of warfare, the efficiency of providing aviation units with high-quality compressed and liquefied gases is one of the main tasks of logistical support. The AKDS-70M stations are standard models of electrical and gas equipment designed to produce high-quality compressed and liquefied gases under various conditions (including field conditions) for the needs of an aviation unit.

The practice of using the AKDS-70M during the support of combat aviation operations demonstrates its high autonomy and efficiency in producing compressed and liquefied gases in any environment. The necessity of maintaining the AKDS-70M stations in constant operational readiness has also become evident. However, a number of shortcomings that manifest during the station's operation call into question the feasibility of its intended use (conducting production campaigns). The low manufacturability of the compressor equipment, combined with an outdated diesel generator, results in excessively high fuel consumption per unit of gas produced, making the station unjustifiably costly. The AKDS-70M station requires about 60 liters of diesel fuel per hour of operation, while producing 70 kg of product during the same time.

In the course of the research, options for improving the manufacturability of both individual components and entire assemblies of the AKDS-70M station are considered, with the aim of reducing fuel consumption without changing productivity. An analysis of the systems and subsystems of the compressor equipment and the station's electrical consumers was conducted, and alternative methods for driving the technological equipment are proposed.

ASPECTS OF APPLYING THE SPIRAL MODEL OF THE LIFE CYCLE OF PROJECTS FOR THE DEVELOPMENT OF PROMISING MODELS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

*O. Velychko¹; B. Demidov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
M. Borysenko², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Tishkin²*

*¹National Security and Defense Council of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Currently, the most widely used life cycle models are the waterfall model, the spiral model, and the iterative model. However, the classic waterfall model has been and continues to be the most commonly used. The spiral model was initially used only in the creation of complex software, but later it began to be used in relation to weapons and military equipment (WME) as part of an evolutionary approach to their creation.

Modern conditions of activity in the military-technical sphere necessitate the use of an evolutionary-innovative approach to the development of WME and the concept of a spiral model of the life cycle of WME development projects. In the spiral model, a new element is added to the combination of the best features of the classic life cycle and prototyping: risk analysis, where the reduction in the expected level of risk in the spiral model occurs at the fastest rate compared to the cascade model as development progresses.

Within the framework of this approach, it is advisable to transform the existing procedure for developing WME samples in such a way that the customer continues to play a leading role in shaping operational and tactical requirements, while technical requirements that are secondary to WME are assigned to the WME developer in accordance with their specialization.

At the same time, it is advisable to use a spiral model of the life cycle of WME prototype development projects, as it is more progressive and adequate to the new conditions of activity in the defense sector.

PROBLEM ASPECTS OF TESTING, QUALITY CONTROL, AND SOFTWARE SUPPORT FOR COMPLEX SYSTEMS

*O. Velychko¹; B. Demidov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
M. Borysenko², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
D. Komarivskiy*

*¹National Security and Defense Council of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The set of tasks and operating modes of complex real-time automated military systems necessitates the presentation of a general algorithm for their functioning in the form of a series of functionally and structurally interrelated interacting program modules that form a large-scale modular software package.

The debugging of custom software is a complex technological process involving iterative combinations of testing and trial procedures. If the purpose of testing is to identify, record, localize, and eliminate defects and errors, then the purpose of trial is to confirm that there are no errors or defects.

To determine that a software component meets the requirements, a verification process is used. The interaction between verification and testing can be implemented

using various methods. The verification strategy defines the general approaches and methods of verification, the required levels of verification of project documentation and program code, technologies, and tools.

Depending on the complexity of the software, the result of the work in forecasting changes to the software complex should be detailed and approved requirements for the nomenclature, properties, and values of software quality indicators that are sufficient for its full support and further effective operation. To analyze and eliminate identified defects in the software being maintained, it is necessary to implement a process for managing changes and the configuration of the existing software complex and to define organizational procedures for interacting with this process.

INTELLECTUALIZATION IN MANAGING MANEUVERING OF MODULAR TECHNICAL SUPPORT SYSTEMS FOR AIRCRAFT GROUND HANDLING

*V. Kaviuk; A. Kashkanov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Kravets*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Airfield technical support plays a critical role in the functioning of modern aviation, which is particularly important under martial law. Modular road trains are key transport vehicles that provide the rapid delivery of technical equipment and aircraft servicing facilities. A high level of manoeuvrability of such road trains is an essential prerequisite for the effective operation of aircraft preparation systems within the confined areas of airfields.

Despite a wide range of studies, the problem of low manoeuvrability of modular road trains used in airfield technical support remains unresolved. This often results in delays, reduced efficiency in aircraft servicing, and potential hazardous situations under conditions of limited visibility or specific traffic organisation at airfields, particularly when aviation assets are dispersed.

To ensure autonomy, accuracy, and safety of operations during the manoeuvring of modular airfield technical support vehicles in aircraft servicing, technical solutions are proposed based on the interaction of sensor systems with actuators according to the cyber-physical system principle: sensors collect information → data are processed → trajectory is planned → actuators execute movement → safety is monitored → feedback is provided.

Key aspects of ensuring the effectiveness of modular airfield technical support vehicles include compliance with European directives regarding lane width, turning radius, and maximum articulation angle; the use of manoeuvring control algorithms that take into account permissible limits of angles and dimensional parameters; training drivers to operate modular road trains, particularly when reversing; and the use of simulators to practise complex manoeuvres under airfield conditions.

The integration of modern technical solutions into the design of modular road trains significantly improves their manoeuvrability in restricted spaces and enhances the efficiency of airfield technical support. Modelling results demonstrate considerable potential for improving manoeuvrability without fundamental changes to vehicle design. However, the implementation of such solutions requires consideration of cost constraints, the reliability of electronics, and the specific challenges of operating military aviation ground equipment.

Further work should involve experimental testing of the proposed solutions under real conditions to validate theoretical conclusions, as well as comprehensive studies that take into account the influence of weather, load, and human factors on the manoeuvrability of modular road trains within the airfield technical support system.

CHANGE IN THE IRREGULARITY OF THE TORQUE OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE WHEN DISCONNECTING PART OF THE CYLINDERS

M. Podrygalo¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Vakhnuk²

¹Kharkiv National Automobile and Highway University;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the ways to improve the energy efficiency of cars under partial loads is to deactivate some of the cylinders in their internal combustion engines. In many studies, a cyclic elastic-dynamic efficiency coefficient has been proposed to assess the energy efficiency of engine-transmission systems. However, these studies did not determine the effect on the unevenness of the indicator torque of disabling some of the cylinders when the external load on the internal combustion engine is reduced. Torque unevenness affects the dynamic properties of the vehicle and its energy efficiency.

Studies conducted on the effect of disabling some cylinders on the unevenness of the indicator torque of internal combustion engines indicate that regardless of the number of disabled cylinders, the coefficient of unevenness of the indicator torque does not change. At the same time, both the amplitude of the indicator torque fluctuations and its average value change.

Taking into account the power reserve in the cylinders that are not deactivated, the maximum permissible number of cylinders that can be deactivated without damaging the engine's indicator power required for the vehicle to move is determined. It has been shown that when the maximum effective engine power N_{max} and the average effective engine power during operation N_e are achieved, up to half of the cylinders can be deactivated. The results of the study can be used in the future to assess the energy efficiency of vehicles.

AUTOMATION OF KEY RISK IDENTIFICATION IN THE INTERNAL CONTROL AND RISK MANAGEMENT PROCESS WITHIN THE AIRFIELD TECHNICAL AND LOGISTICS FLIGHT SUPPORT SYSTEM

S. Novichonok, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Leonenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Terentieva; Y. Ovcharenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Airfield Technical and Logistics Flight Support (ATLFS), as a system of interrelated functions, is highly complex; therefore, risk assessment regarding the execution of these functions is associated with a high probability of increased subjectivity and formalism.

To prevent these negative phenomena, a unified approach can be applied through the use of IDEF0 modeling, a universal expert evaluation method, and the

weighting coefficients method. Research has shown that it is most appropriate to apply the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify risks that require primary attention. The computational complexity of this method can be overcome by applying an algorithm to simplify the completion of pairwise comparison matrices.

Selecting the structural elements of the IDEFO model of ATLFS as input data for the AHP leads to the following consequences:

- risk identification relies on the structure of specific tasks (specific operations), and due to its complexity, calculations become significantly more complicated;
- only 'structural' risks are identified – that is, risks inherent in the system at the level of its architecture;
- to incorporate management's perspective on the impact of components on the overall risk, it is necessary to apply the weighting coefficients method, which further complicates already difficult calculations.

Positive practical experience in performing complex calculations using the proposed methods in MS Excel has been demonstrated.

EDUCATION OF COGNITIVE LOAD ON THE EXPERT IN THE APPLICATION OF THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

S. Novichonok, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Kashayev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Sokol; Y. Skoboviat

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The methodological framework of expert evaluation is quite complex and requires specialized knowledge and skills for its effective implementation. One of the widely used methods is the Analytic Hierarchy Process (AHP).

From a cognitive standpoint, a challenging component of this method is the necessity to construct consistent pairwise comparison matrices for all elements of the decision-making hierarchy. It is well established that constructing a consistent pairwise comparison matrix with a dimension greater than 4 already requires a certain level of expert proficiency, while a dimension of approximately 9 is generally considered the absolute upper limit.

A specialized algorithm is proposed that allows the expert to proceed in the following sequence. Rank the alternatives. Determine the weights of the first and last alternatives in points (using the Saaty scale). Identify pairs of alternatives with equal weight (without point assignment). Subsequently, a consistent pairwise comparison matrix is generated via a specialized algorithm (this process is performed automatically in computer-aided systems).

If the result is not satisfactory to the expert (regarding specific scores for a certain alternative), they may make adjustments to the matrix. The limits of such changes are restricted by the accepted consistency ratio of the matrix.

The application of the proposed method significantly reduces the requirements for expert training regarding the construction of consistent matrices. The potential for algorithm automation enables the use of complex hierarchies, the processing of which requires the construction of a large number of pairwise comparison matrices.

UNIFICATION OF THE APPROACH TO FUNCTIONAL RISK ANALYSIS IN AIRFIELD TECHNICAL AND LOGISTICS FLIGHT SUPPORT PROCESSES

*S. Novichonok, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Leonenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Kravchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the war in Ukraine has proven that in the conditions of modern armed conflict, the ability to rapidly identify, assess, and manage risks at all levels – from strategic planning to the operational movement of munitions – is a critical condition for maintaining combat capability and achieving success. War experience unequivocally confirms the necessity for detailed risk assessment at the level of the aviation ground component and, more broadly, across individual types of support.

Even before the onset of armed aggression, the Ministry of Defense of Ukraine recognized the importance of risk management. In 2019, the Ministry of Defense of Ukraine issued Order No. 145, “On Approval of the Procedure for Organizing Internal Control (IC) and Risk Management (RM) within the System of the Ministry of Defense of Ukraine”.

Research shows that as management moves from higher to lower echelons, the primary focus of IC and RM should shift from media, financial, and corruption risks to operational and functional risks of varying scopes and levels.

Risk assessment in complex systems, particularly in the Airfield Technical and Logistics Flight Support (ATLFS) system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, is associated with the danger of significant subjectivity, formalism, and an untimely response to changes in the operational environment.

A unified approach to the analysis and management of functional risks in ATLFS processes is proposed, based on IDEF0 modeling and the Analytic Hierarchy Process (AHP).

EVOLUTION OF CONCEPTS FOR SERVICING AIRCRAFT OF THE AIR FORCES OF PARTNER COUNTRIES

*I. Kashayev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Kravchuk; I. Terentieva; Y. Ovcharenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The full-scale war against Ukraine has served as a testing ground for new military technologies. An analysis of the experience of NATO member countries shows that flight support planning processes often rely on outdated, ineffective methods based on paper-based processes or Excel spreadsheets. Given the prospects for the development of the Ukrainian Air Force's air defense forces with the assistance of partner countries, improving the efficiency of the entire air support system is particularly important.

It has been shown that compatibility requirements with the armed forces of NATO member states have forced a number of countries (with Soviet-era aircraft) to innovate in the operation of their aircraft systems. For example, the Polish Air Force uses a unified SAN system for data collection, processing, and analysis during operation and maintenance, adopting a condition-based maintenance model, which has reduced maintenance costs by 35–40 %. In the UK, the Defense Logistics

Transformation Program (DLTP) was adopted to transform logistics across the entire defense sector. Drawing on the experience of Germany and England, SIMMAD was established in France to manage the maintenance of all aircraft systems in service. It ensures the combat readiness of the aircraft fleet.

The evolution of maintenance methods and digital technologies, process automation, and the introduction of modern materials allow for faster aircraft maintenance, reduced airfield infrastructure operating costs, and protection from threats. This is a necessary step for the sustainable development of the aviation industry.

DIRECTIONS FOR POWER SUPPLY OF MOBILE MAINTENANCE UNITS FOR ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT USING HYBRID CHASSIS

*I. Rohozin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; E. Lutsenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Combat experience gained while repelling the armed aggression of the Russian Federation indicates an increase in damage to armament and military equipment (AME) chassis, which necessitates rapid and high-quality repair. Furthermore, the proliferation of high-precision weapons may require evasion of potential strikes through the rapid displacement of AME, including mobile maintenance units. At the same time, the swift and effective execution of assigned tasks requires modern repair equipment and powerful sources of electrical energy. One method to resolve this contradiction is the use of hybrid powertrains in the chassis of mobile maintenance units.

The report analyzes design variants of hybrid (internal combustion engine and electric generator) power plants for vehicles. Possible functional diagrams of chassis for mobile maintenance units equipped with hybrid powertrains are examined. A functional diagram for a mobile maintenance unit chassis with a hybrid powertrain is proposed. Suggestions are provided regarding the placement of functional elements of the hybrid powertrain, defining their tasks while considering the power supply requirements for repair equipment during combat missions.

Implementing hybrid powertrains in the chassis of mobile maintenance units is appropriate during capital repairs (overhaul). The application of hybrid powertrains creates conditions for increasing power output while simultaneously reducing fuel consumption. Moreover, during on-site repair operations, they enable the generation of electrical energy at the required capacity without the need for towed mobile power stations.

PROSPECTS FOR TRAINING SPECIALISTS FOR AIRCRAFT SYSTEMS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

*I. Kashayev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Leonenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Kravchuk; Y. Skoboviat
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid development and implementation of artificial intelligence technologies is fundamentally changing the aviation industry. An analysis of the international legal framework reveals that civil aviation organizations have published official

documents outlining the growing role of artificial intelligence in the industry, along with recommendations for its implementation.

It is shown that ICAO, EASA, and EUROCONTROL have emphasized the need to implement artificial intelligence to improve efficiency and safety. An analysis of scientific publications demonstrates the need for aviation professionals to be competent in new technologies and their applications, while the integration of artificial intelligence into aviation education is underestimated. According to experts, current bachelor's degree curricula appear to be inconsistent with stated industry goals for the implementation of artificial intelligence.

The EU has a developed aviation industry and a strong higher education system, where the transformation of aviation curricula, teaching methodologies, and learning outcomes is aimed at ensuring the next generation of aviation professionals possess the knowledge and skills required in an industry with AI-driven systems.

It is shown that aviation professionals must be aware of the ethical, legal, and societal implications of using AI technologies on critical infrastructure and aviation systems, and educational programs must adapt to provide graduates with the knowledge, skills, and mindset required in the era of AI systems.

Thus, for educational programs to remain relevant and meet the needs of the industry, they must evolve to include content related to artificial intelligence.

FURTHER DEVELOPMENT OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUGMENTED REALITY FOR THE REPAIR OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT UNDER COMBAT CONDITIONS

*K. Yatsenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Tsybulskiy
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Effective maintenance and repair of automotive equipment under combat conditions is one of the key factors ensuring the mobility and resilience of military units. Intensive operation of equipment, shortages of time and qualified personnel, as well as logistical constraints necessitate the introduction of intelligent tools to support repair activities directly in field conditions.

A promising direction in the development of technical support systems is the integration of artificial intelligence and augmented reality technologies. Such systems provide visual and informational assistance to maintenance personnel by overlaying digital instructions, diagrams, and prompts onto real repair objects, enabling the performance of complex operations without the involvement of narrowly specialized experts. The practice of the armed forces of leading countries demonstrates that the use of augmented reality reduces the number of errors, shortens diagnostic time, and increases the rate of successful repairs on the first attempt.

Further progress has been achieved in the development of large language models adapted to technical tasks. Their use within human-machine systems makes it possible to generate step-by-step repair algorithms, analyze fault symptoms, and provide recommendations taking into account specific vehicle modifications and operating conditions. A significant advantage is the ability to accumulate and generalize the combat experience of repair units in the form of a digital knowledge base.

The application of wearable augmented reality devices with hands-free control is of particular importance, as they provide access to technical information without interrupting repair work. Such tools enable the organization of remote support,

whereby an experienced specialist observes the repair process and adjusts the actions of the technician in real time. This capability is critically important in combat conditions, when the physical presence of an expert is impossible or dangerous.

For the implementation of these technologies within the Armed Forces of Ukraine, it is necessary to adapt hardware and software solutions to field operating conditions, ensure their autonomy, secure communication channels, and ensure compliance with military standards. A separate area of focus should be the development of Ukrainian-language intelligent maintenance support systems integrated with electronic technical documentation and digital databases.

Thus, the further development and implementation of artificial intelligence and augmented reality systems in the field of automotive equipment repair will contribute to reducing vehicle downtime, increasing the operational readiness of units, and forming a modern technical support system adapted to the conditions of contemporary warfare.

USE OF AI AND THE INTERNET OF THINGS IN AVIATION TECHNICAL MAINTENANCE

O. Hrichaniuk, Candidate of Technical Sciences;

A. Lekakh, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; A. Avilov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of repelling the armed aggression of the Russian Federation, it is extremely important to improve the logistical support of the Ukrainian Air Force. The development of digital technologies has made it possible to introduce artificial intelligence (AI) and the Internet of Things, also known as AIoT, into the logistics support of civil aviation in developed countries. Traditional aircraft maintenance methods rely on scheduled maintenance and reliability-centered maintenance, but they can lead to problems such as excessive inventory, unexpected aircraft downtime, and reactive troubleshooting. Due to these limitations, airlines have begun to use data processing methods, modern artificial intelligence technologies, and the Internet of Things to improve their ability to predict and manage operations.

Published research results confirm that the use of AI and AIoT in aviation maintenance leads to:

- more accurate fault detection and earlier fault prediction;
- fewer unplanned downtimes and lower operating costs;
- real-time management of spare parts inventory using forecasts;
- minimization of risks through careful monitoring of all systems.

The introduction of modern digital technologies in the maintenance of Air Force aircraft is a promising area of development for the logistical support of the Armed Forces of Ukraine.

CRITERIA FOR FORMING STOCKPILES OF AVIATION WEAPONS DURING COMBAT OPERATIONS

O. Baranik, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Y. Kedrovskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the conditions of repelling the large-scale invasion of the Russian Federation, special attention is paid to the logistical support of troops (forces) at various levels and branches of the armed forces. Aviation plays a particularly important role in

modern warfare, being equipped with various types of aviation weapons. To support combat operations with aviation weapons, engineering and operational calculations of the required amount of aviation weapons are carried out. The content of engineering and operational calculations is determined by the range of tasks performed by the engineering and aviation service in planning and organizing the provision of units with weapons.

The selection of inventory formation criteria makes it possible to achieve a high level of combat readiness of an aviation unit for performing assigned tasks, as well as to optimize storage and logistics support costs. To address these tasks, the report analyzes the criteria according to which inventories of aviation weapons are formed.

The conducted analysis of groups of criteria for forming inventories of aviation weapons makes it possible to identify the main criteria in the formation of aviation weapons stockpiles. These include operational demand for weapons, reliability of supply, storage safety, flexibility of the logistics network, and readiness for autonomous operations.

ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ ВІДПОВІДНОСТІ КЕРІВНИХ ДОКУМЕНТІВ З АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ

О.М. Леоненко¹, к.т.н., доц.; С.В. Прогонюк²;

О.Д. Кравчук¹; С.М. Новічонок¹, к.т.н., доц.

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба;

²Командування логістики командування Повітряних Сил ЗС України

Виклики війни російської федерації проти України, процеси реформування органів військового управління щодо відповідності стандартам НАТО, а також переозброєння частин і підрозділів Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил України (ЗС України) на авіаційну техніку, надану країнами-партнерами, стали причинами реорганізації системи логістичного забезпечення ПС ЗС України.

Дані процеси мають супроводжуватися вчасними змінами положень керівних і нормативних документів. Зокрема це стосується положень аеродромно-технічного забезпечення (АТЗ) авіації ПС ЗС України. Наразі актуальним стає ряд питань, а саме:

- уточнення функціональних обов'язків посадових осіб логістики авіаційних військових частин щодо АТЗ польотів авіації внаслідок організаційно-штатних заходів, зокрема розділення автомобільної та електрогазової служби;

- уточнення (визначення) положень Правил АТЗ польотів щодо авіаційної техніки, наданої країнами-партнерами;

- організація підготовки і допуску персоналу з АТЗ польотів авіаційної техніки, наданої країнами-партнерами, в Україні;

- визначення норм витрат моторесурсів та напрацювання (строків служби) до ремонту засобів наземного обслуговування авіаційної техніки, наданої країнами-партнерами, витрати ПММ, тощо.

Умовами вирішення зазначених питань є повнота отримання нормативно-технічної інформації від країн-партнерів, досвід, набутий за час війни фахівцями з АТЗ різних ланок, комплексне опрацювання даної інформації відповідними органами військового управління та установами щодо реалій здійснення АТЗ польотів авіації ПС ЗС України.

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES FOR AUTOMATION OF MOVEMENT AND ACCOUNTING OF MATERIAL-TECHNICAL RESOURCES IN THE LOGISTICAL SUPPORT SYSTEM OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

V. Startsev; A. Lekakh, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

V. Kirichenko; L. Mikhlova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern military logistics is impossible without the active use of information and communication tools in the management of material resource supply chains, as the improvement of logistics operations is largely determined by advances in information technology. Information processing is at the heart of the material flow management process. The issue of effective information flow management is particularly relevant for military units and institutions of the Air Force (AF) of the Armed Forces of Ukraine involved in the transportation and transfer of military cargo, its storage and distribution among consumers. Therefore, the organisers and managers of the transport and warehouse service process within the framework of logistics operations face problems that necessitate the study and formation of their own information infrastructure, which creates conditions for the collection, organisation and transportation of information in accordance with the tasks of supplying material resources. The report analyses approaches and the implementation of modern technologies for the automation of accounting and movement of military material and technical resources, and proposes a structure for a system for monitoring and tracking the movement of military cargo in the overall logistics support system of the Armed Forces of Ukraine.

MATHEMATICAL MODELING OF THERMAL SIGNATURE SUPPRESSION METHODS FOR HEAVY-DUTY TRUCKS

A. Rodiukov; I. Pichuhin, Candidate of Technical Sciences; O. Tsybul'skyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The high infrared (IR) signature of heavy-duty military and dual-use vehicles significantly increases their vulnerability to thermal reconnaissance systems and IR-guided weaponry. The primary source of thermal radiation in such vehicles is the exhaust system, which operates at high temperatures ranging from 400 °C to 600 °C.

This paper presents a mathematical model for evaluating the efficiency of various thermal management techniques applied to a truck's exhaust tract. The main objective is to determine the optimal configuration for minimizing the integral thermal radiation intensity. The study utilizes 1D heat balance equations and empirical correlations for convective heat transfer (Nusselt number calculation) to simulate the temperature distribution along the exhaust pipes. The Stefan-Boltzmann law is employed to calculate the radiation power density. The research compares a baseline exhaust system against modified designs incorporating passive shielding (air-gap screens) and active gas cooling via Venturi-effect ejectors.

The modeling results indicate that the installation of a dual-layer insulating screen reduces the external surface temperature by approximately 52 %. Furthermore, the integration of an air-mixing nozzle lowers the exhaust gas temperature to 39,5 °C. Consequently, the calculated thermal radiation power is reduced by a factor of 26, significantly decreasing the vehicle's thermal contrast

against the background, and makes it invisible to thermal imagers at medium and long distances.

The proposed mathematical methodology allows optimizing designs to reduce thermal radiation of vehicle exhaust systems at the development or modernization stage, reducing the need for physical testing.

IMPROVEMENT OF THE AUTOMATIC RADIATOR SHUTTER CONTROL MECHANISM OF THE COOLING SYSTEM

I. Lukianchuk; O. Tsybulskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The automatic control mechanism of the radiator shutters in the cooling system of the multipurpose light armored tractor (MT-LB) is an important element of equipment improvement in the conditions of modern warfare. Its basis is a thermostatic device that ensures the automatic opening or closing of the shutters depending on the temperature of the engine coolant. This approach makes it possible to automate the cooling process without crew involvement.

The main advantage of the modernization is the elimination of the need for manual control by servicemen, which is especially relevant in combat conditions when any distraction can lead to losses. This increases the crew's combat effectiveness and the reliability of the equipment. In addition, automatic regulation contributes to more stable engine operation, prevents overheating, and extends the service life.

The proposed solution is universal and can be integrated into other types of military equipment, making it valuable from the perspective of scalability and unification within the Armed Forces of Ukraine. Thus, improving the thermostatic regulator is a step toward increasing the effectiveness of military equipment in combat conditions. This modernization also reduces maintenance requirements and improves the overall reliability of the vehicle during long-term operation. As a result, the proposed solution increases both operational readiness and mission sustainability in harsh environments.

IMPLEMENTING THE DIGITAL TWIN CONCEPT INTO THE MAINTENANCE SYSTEM OF MILITARY VEHICLES

A. Rodiukov; V. Yukhno; V. Sula

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern concept of warfare is based on high mobility and the rapid recovery of resources. The operation of military vehicles and primary weapon chassis under extreme conditions leads to uneven wear of components, which renders traditional maintenance systems ineffective.

The proposed "Digital Twin" (DT) concept involves creating a dynamic virtual model of a physical object that is synchronized via sensors and telemetry systems. The application of machine learning algorithms enables the implementation of a Condition-Based Maintenance (CBM) strategy. This allows for the detection of anomalies in the base chassis operation long before an actual failure occurs, which is critical for maintaining the combat readiness of air defense systems.

The DT system architecture is a multi-layered structure. At the first level (Data Acquisition), a sensor suite is installed, integrating with the chassis onboard data bus (CAN-bus) or operating autonomously. The second level involves Edge Computing performed by the onboard computer (noise filtering, Fast Fourier Transform (FFT) for vibration analysis, data compression, and comparison of current indicators with critical tolerance limits).

The next level ensures data transmission to the command center, establishing a link between the physical vehicle and its virtual counterpart while storing the complete operational history of each unit. Furthermore, at the Modeling Level, the remaining useful life (RUL) is predicted using Weibull distribution models and Long Short-Term Memory (LSTM) neural networks. Based on this modeling, maintenance recommendations are generated, and logistics supply orders are automatically created.

The implementation of Digital Twins will minimize the risks of sudden chassis failures during combat missions, reduce vehicle downtime (Predictive Logistics), automate the collection of real-time operational data, and enhance the integration of the Armed Forces of Ukraine into a unified digital space in accordance with NATO standards.

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF POWER UNITS OF AIRPORT TECHNICAL SUPPORT EQUIPMENT BY DISCONNECTING SOME OF THE CYLINDERS

S. Vakhnuk; I. Gapon

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A significant part of ATZP equipment is equipped with large-capacity automotive power plants, which are mainly operated in idle or partial load modes. Most of the time, power plants operate in uneconomical modes. In particular, full power operation is used only occasionally – when moving equipment or performing certain technological operations. On average, such modes do not exceed 10 % of the total engine operating time. Under such conditions, the engine power utilization factor is low, which leads to increased fuel consumption, increased wear of engine components, and a reduction in the time between repairs. In this regard, it is important to find ways to improve the energy efficiency of power plants.

One promising approach is to use cylinder deactivation (CD). Reducing the number of working cylinders increases the load on each active cylinder, which in turn allows the engine to operate in a more economical range. This approach reduces specific fuel consumption, reduces friction losses, and increases the overall efficiency of the power plant.

The practical application of VHC allows for a significant reduction in the load on the power plant during technological operations characteristic of airfield technical flight support. In addition, reducing the wear and tear on key engine components has a positive effect on the reliability and survivability of the equipment.

Thus, the use of the VHC mode contributes not only to increased energy efficiency, but also to an overall increase in the operational reliability of power plants, savings in fuel and lubricants, and an increase in the overall operational stability of airfield equipment, which is important for ensuring the continuity and reliability of aviation operations.

NEW APPROACHES TO THE USE OF QUADROCYCLES AND BUGGIES IN COMBAT CONDITIONS

P. Bondar

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The changing nature of modern combat operations, the widespread use of maneuver units and the growing role of intelligence, logistics and evacuation require the search for new technical solutions in the field of military mobility. A special place in this context is occupied by light off-road vehicles, in particular quadricycles and buggies, which are actively used in conditions of difficult terrain, limited road infrastructure and increased threat of damage.

The relevance of the study is due to practical combat experience, which has shown that traditional automotive platforms do not always provide the necessary speed, stealth and flexibility of use. At the same time, the use of quadricycles and buggies is accompanied by a number of problems associated with an insufficient level of crew protection, limited load capacity, increased vulnerability to damage.

Within the theoretical part of the study, an overview of the existing problems of using quadricycles and buggies in combat conditions was carried out. It was established that their use is often situational in nature with limited use as special-purpose vehicles. The main limiting factors are low survivability and low resistance to combat damage, the complexity of integrating communications and weapons into ATVs and buggies, as well as the lack of specialized regulations (norms) for operation.

It is proposed to consider these vehicles not only as auxiliary, but as elements of specialized mobile platforms for performing reconnaissance tasks, delivering ammunition, evacuating the wounded and quickly moving small tactical groups. The feasibility of a modular approach to their equipment, which provides for a rapid change in functional purpose depending on the combat situation, is substantiated.

Analysis of the research results shows that the effectiveness of the use of ATVs and buggies is significantly increased if they are adapted to specific combat scenarios, camouflage systems are improved, ergonomics are improved and interaction with other elements of the combat order is ensured. The issue of personnel training and the formation of unified methodological approaches to the operation of such vehicles is of particular importance.

Thus, the results of the study confirm the feasibility of further scientific study of the use of ATVs and buggies in combat conditions. The conclusions obtained can be used in the development of methodological recommendations, educational materials and promising models of light military vehicles.

IMPROVEMENT OF THE APA-5D AUTOMATIC ALTERNATING CURRENT FREQUENCY CONTROL SYSTEM THROUGH THE USE OF THE LATEST CONTINUOUS MONITORING DEVICES WHEN PERFORMING TASKS

O. Busylko; A. Kulikov; O. Mytsak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The paper investigates the improvement of the reliability of the APA-5D airfield mobile unit by improving the AC frequency diagnostic system of the GT40PCH6 generator. The use of a tachogenerator and measuring devices for more accurate

frequency control is proposed. This solution reduces the risk of failures during aircraft maintenance, extends the generator's service life, and improves the economic efficiency of the unit's operation.

Keywords: airfield mobile power unit, alternating current generator, diagnostic system, current frequency, automatic regulation.

The paper investigates the improvement of the reliability of the APA-5D airfield mobile unit by improving the AC frequency diagnostic system of the GT40PCH6 generator. The use of a tachogenerator and measuring instruments for more accurate frequency control is proposed. This solution reduces the risk of failures during aircraft maintenance, extends the generator's service life, and improves the economic efficiency of the unit's operation.

Improving the quality of the design, manufacture, and operation of airfield mobile power units is the main way to ensure their reliability. Interruption of power supply during aircraft maintenance due to incorrect operation of the automatic current frequency regulation system is highly undesirable.

The practice of using the APA-5D during combat missions shows that the causes of AC frequency jumps can be external disturbances – problems with the engine's fuel equipment, deviations in fuel parameters, diesel engine temperature, as well as internal causes – incorrect operation of the automatic frequency control system components – the BSC block and the RK-2D executive devices.

The object of the study is the APA-5D airfield mobile unit and the GT40PCH6 AC generator frequency diagnostic system. The purpose of the study is to calculate the alternating current generator of the airfield mobile unit, which is used to improve the alternating current generator frequency diagnostic system.

Improvement of alternating current diagnostic frequency by installing a tachogenerator and devices that allow more accurate detection and measurement of frequency to the required standards. This system is new and has not yet been used on the unit, but it would be very useful from a tactical and technical point of view. In practical application, it would be easy to maintain and would not impose high demands during operation, but only during the maintenance of the base engine, which is the drive of the electric unit.

The use of the new frequency diagnostic system would increase the service life of the generator and the vehicle's clutch, which is more cost-effective than previous models.

RESEARCH INTO THE POSSIBILITY OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY ANALYSING EXHAUST GASES, WITH PROPOSALS FOR ITS USE

*O. Busylko; I. Kushka; N. Mazuryk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The paper considers methods of technical diagnosis of internal combustion engines based on gas analysis. Their significance as a non-destructive and comprehensive method of monitoring the technical condition of automotive equipment is substantiated. Particular attention is paid to the assessment of crankcase and exhaust gas parameters for the detection of sudden engine malfunctions. Methods used in military units are investigated and their role in ensuring the reliability and combat readiness of automotive equipment is determined.

Keywords: internal combustion engine, gas analysis, technical diagnosis, crankcase gases, reliability of automotive equipment.

The paper considers methods of technical diagnosis of internal combustion engines based on gas analysis. Their significance as a non-destructive and comprehensive method of monitoring the technical condition of automotive equipment is substantiated. Particular attention is paid to the assessment of crankcase and exhaust gas parameters for the detection of sudden engine malfunctions. Methods used in military units are investigated and their role in ensuring the reliability and combat readiness of automotive equipment is determined.

Methods of technical diagnosis of internal combustion engines based on gas analysis provide non-destructive and comprehensive control of the technical condition of the engine, as well as the systems that ensure its operation.

Therefore, one of the directions for further improvement of methods for assessing the technical condition of automotive equipment is the introduction of modern methods of technical diagnosis into maintenance technology.

In the process of operating automotive equipment, an essential factor in the need to monitor the technical condition of an internal combustion engine (ICE) is the maintenance and control of vehicle reliability, since the experience of the Russian-Ukrainian war and the analysis of combat and everyday activities of troops in modern local wars and conflicts show that the successful completion of tasks depends on the manoeuvrability and mobility of troops. The process of monitoring the technical condition of the engine involves making decisions regarding the technical condition of the object being measured. Thus, the process of monitoring the technical condition of the engine during its operation is a process of technical diagnostics.

The object of the work is to study issues related to the analysis of technical diagnostics of internal combustion engines based on the measurement of crankcase gases. The aim of the work is to identify sudden malfunctions using gas analysis. The research method is the analysis of existing modern methods of technical diagnostics by means of gas analysis.

The work examines the methods of technical diagnostics of engines used in military units of the Armed Forces. The existing points of technical diagnostics of automotive equipment, the main indicators of reliability and measures that allow maintaining the reliability of automotive equipment at the proper level, and the method of assessing the technical condition of the engine based on crankcase gas consumption and the concentration of gas components in the exhaust gases are considered.

RESEARCH ON THE FEASIBILITY OF DEVELOPING A REMOTE MONITORING SYSTEM FOR THE OPERATING PARAMETERS OF THE AKDS-70M2 TO PREVENT EMERGENCY SITUATIONS

*P. Movchan; A. Kryvtsov; K. Pryimachenko; O. Cherednichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The uninterrupted and safe operation of oxygen–nitrogen production stations is critically important for ensuring the operational capability of the aviation units of the Air Force of Ukraine. The reliability of the compressor and process machinery directly affects the stability of the liquid and gaseous oxygen and nitrogen supply.

Operational practice indicates that emergency situations frequently arise due to the human factor, component wear, and equipment defects.

The objective of this study is to substantiate the feasibility of developing an automated remote monitoring system capable of ensuring continuous, real-time monitoring of the station's technical condition. The proposed solution involves integrating a suite of modern sensors to measure temperature and pressure, as well as to monitor the levels of liquefied gases and their percentage concentrations. The data is transmitted via a telemetry system to the operator's console or a central control point.

The system's algorithms facilitate the automatic detection of parameter deviations from established thresholds and identify the specific units where these deviations occurred. Upon detecting such deviations, a protective system is activated, alerting the operator and enabling a proactive response to the issue.

The implementation of the remote monitoring system will enhance the operational reliability of the station and mitigate risks to personnel, thereby ensuring improved efficiency in the station's utilization and a higher level of operational safety.

RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF POWER PLANT PERFORMANCE IN AIRCRAFT AIR CRAFT TECHNICAL MAINTENANCE

*O. Petrenko; M. Kovalchuk; I. Semko; V. Kudriashov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

With the start of hostilities on the territory of Ukraine, the question arose of increasing the efficiency of the use of existing airfield technical support for flights, aimed at increasing traction and speed characteristics without reducing reliability and without significant design changes to the basic units. After analyzing these aspects, one of the solutions is to use a turbocharger on the internal combustion engines of the diesel group, which makes up the lion's share of the entire fleet.

An analysis of literary sources shows that the use of a supercharging system can increase the effective power of an engine by 20–35 % and improve fuel efficiency compared to similar technical means without this system.

The use of a turbocharger increases the air filling coefficient of the cylinders, ensuring more complete fuel combustion and an increase in effective pressure in the cylinders. As a result, the specific power of the engine increases without a proportional increase in its mass and dimensions. For, this is especially important in conditions of intensive operation and the need to quickly complete tasks.

At the same time, the introduction of a supercharging system requires an assessment of the thermal stress on the cylinder-piston group components, the crankshaft service life, and the cooling system efficiency. It is also necessary to adjust the fuel system parameters to the new engine operating conditions.

Thus, modernizing the power plants of airfield ground support equipment by installing a turbocharger is a technically feasible way to improve their operational efficiency, allowing for increased traction and speed characteristics without radically changing the design of the base units.

**DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION
OF A BOOSTER-TYPE COMPRESSOR INTO THE DESIGN
OF VARIOUS GAS CYLINDER SYSTEMS, INCLUDING THE BB-12.40.350
CYLINDER UNIT, FOR USE AS A GAS CHARGING MEANS**

*S. Durovych; V. Martynenko; A. Martynenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of the combat employment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of a full-scale war confirms the critical need for mobility and autonomy of airfield technical flight support (ATFS) units. Existing gas charging stations (AKZS-75MIII-131, UGZS.M-131) have several significant drawbacks.

During the research, an analysis was conducted on the possibility of modernizing transportable cylinder units of the BB-12.40-350 type by integrating a pneumatic booster-type compressor, specifically the OV-30 model, into their design. A technical solution is proposed, which involves replacing two oxygen cylinders in the unit with air cylinders (type A-350) to ensure autonomous operation of the booster's pneumatic drive. The OV-30 booster is distinguished by its compactness (weight 23.6 kg) and does not require lubrication or liquid cooling.

The calculation results confirm that the implementation of the OV-30 booster in combination with the BB-12.40-350 allows for the efficient use of the gas supply and provides from 23 to 47 refills of oxygen systems for aircraft such as the Su-27, Su-25, MiG-29, and L-39. This enables the full use of the unit as a gas charging means without the involvement of specialized equipment or a large number of personnel. Thus, the use of booster technologies in the ATFS system is a promising direction for increasing aviation combat readiness, significantly reducing aircraft preparation time and enhancing flight safety in complex conditions.

**REPLACEMENT OF THE AIRPORT TECHNICAL SUPPORT VEHICLE
FLEET AS A DIRECTION FOR THE DEVELOPMENT
OF AIR FORCE LOGISTICS**

*Y. Kotelnyskyi; V. Kudriashova; M. Dolinskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat conditions, there are increasing demands for operational mobility and continuity of the logistics support system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. One of the key elements is the fleet of aircraft ground support vehicles, on which the timely preparation, maintenance, and repair of aviation equipment depends.

A significant part of specialized vehicles is based on outdated platforms, characterized by high wear, low reliability, and limited maintainability. This complicates the dispersal of aviation, maneuvering between airfields, and the deployment of field maintenance equipment.

The replacement of the vehicle fleet should be carried out on the basis of using a single basic platform of the KRAZ type, the introduction of modern power plants, digital diagnostic systems, and the modular principle of building special equipment. The integration of new models into automated logistics management systems will improve the efficiency of resource accounting and maintenance planning.

The implementation of these measures will contribute to increasing the operational flexibility and reliability of the Ukrainian Armed Forces' logistics in the conditions of modern warfare.

IMPROVEMENT OF THE AC SYSTEM OF THE APA-5D MOBILE AIRFIELD POWER UNIT THROUGH MODERNIZATION OF THE GENERATING EQUIPMENT

O. Busylko; O. Mytsak; N. Mazuryk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The operational experience of airfield equipment confirms the need to improve the reliability and efficiency of ground-based aviation power supply systems. One way to enhance this is through the modernization of the APA-5D mobile power unit, which is widely used to supply aircraft with electricity during ground servicing.

This study examines the replacement of the standard GT40PCh6 (40 kW) alternating current generator with the more powerful GT60PCh8ATV (60 kW) generator to improve the technical and operational characteristics of the unit. The powertrain is based on a KAMAZ-740 diesel engine mounted on a Ural-4320 chassis, which, via a transfer gearbox, transmits torque to the PR600×2 direct current generator and the alternating current generator, providing the required rotational speeds.

Due to increased requirements for the GT60PCh8ATV generator shaft speed, a new transfer gearbox was developed, and the powertrain's performance was analyzed, including calculations of power balance and the strength of shafts, bearings, and gear drives.

The unit's size and weight allow integration of the new gearbox without modifying the overall design. An improved lubrication system has also been proposed, enhancing the unit's reliability.

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING MODERN TOOLS AND METHODS FOR THE INSPECTION OF PRESSURE VESSELS

O. Busylko; N. Mazuryk; O. Mytsak

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Pressure vessels are widely used in aviation airfield technical support units—namely gas cylinders intended for the transportation and storage of gases in compressed, liquefied, or dissolved states at ambient temperature.

To verify that the operational characteristics of such vessels comply with safety requirements, specialized technical inspection equipment is used. During operation, cylinders undergo mandatory technical inspection at designated testing facilities within established time intervals. Cylinders used in military units, including those installed on airfield technical support equipment, are also subject to periodic inspection carried out at specialized service centers.

In order to simplify and optimize the inspection process, this work considers the application of the ultrasonic flaw detection method. This approach makes it possible to examine a cylinder directly at its installation site or near ground support equipment for aircraft and to promptly determine its suitability for further operation.

RESEARCH INTO THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE SPECIAL EQUIPMENT OF THE UNIFIED COMPRESSOR STATION UKS-400V-P4 IN ORDER TO ENHANCE ITS OPERATIONAL PERFORMANCE

S. Durovych; I. Netiaha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report examines the experience of using an airfield compressor station of the UKS-400V-P4 type in the process of airfield technical support for Air Force aviation flight operations under conditions of full-scale war. An analysis is presented regarding the feasibility and possibility of integrating into the station's pneumatic circuit a modern air-drying system and humidity monitoring instruments that would make it possible to observe the quality of compressed air supplied to the consumer.

At present, the unified compressor station of the UKS-400V-P4 type remains a basic asset of airfield technical support for flight operations, providing the delivery of dry compressed air for charging aircraft onboard systems directly at the airfield.

Operational experience with the UKS-400V-P4 station in the course of airfield technical support of aviation combat operations indicates that frequent reasons for deterioration in compressed air quality include limited time for performing station maintenance, the absence in the station design of means for objective control of the dew point of the delivered air, as well as an imperfect technology for regenerating the adsorbent in the drying block cylinders. The quality of this regeneration depends significantly on the personnel's level of training and requires substantial time and fuel.

It is proposed to use in the station's pneumatic system a modern drying unit with automatic switching of adsorbers and built-in dew-point temperature monitoring instruments, which would allow real-time verification that the compressed air meets the requirements of current standards. This, in turn, will reduce the risk of using low-quality gases during airfield technical support of flight operations.

ЩОДО РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ АЕРОДРОМІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Д.І. Дуленко, к.т.н.; В.І. Іванов;

Б.Й. Семон, д.т.н., проф.; Ю.П. Целіщев, к.т.н., доц.

Національний університет оборони України

Відомо, що аеродроми Повітряних Сил Збройних Сил України експлуатуються понад встановлені нормативними документами строки. Зміни експлуатаційного стану жорстких покриттів аеродромів є дуже гострою проблемою. Основним фактором, якій сприяє виникненню пошкоджень жорстких аеродромних покриттів вважається інтенсивний вплив літаками на покриття в результаті багатоциклічних динамічних навантажень.

Зараз аеродромна мережа ПС ЗС України налічує 26 аеродромів, 21 з них з жорсткими покриттями. При цьому 90 % аеродромів з жорсткими покриттями були побудовані більше 60 років тому та експлуатуються понад граничні терміни експлуатації без проведення капітальних ремонтів.

Відомі у практиці методики забезпечення безпеки експлуатації бойової авіаційної системи, які базуються на основі оцінки експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів, дають можливість провести оцінку стану

покриття тільки в момент моніторингу та не дозволяють спрогнозувати зміну його експлуатаційного стану в часі. Таким чином актуальність полягає в необхідності розробки методики, яка дозволить спрогнозувати зміну експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів в процесі його експлуатації, надасть можливість передбачати момент його руйнування та ризик виникнення інцидентів з бойовою авіаційною технікою в залежності від експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів та в цілому забезпечити безпеку експлуатації бойової авіаційної системи.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ ПРОЦЕСІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТА СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ АРМІЙСЬКОЇ АВІАЦІЇ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

*В.П. Диптан, к.військ.н., доц.; П.В. Опенько, к.т.н., ст.д.; С.В. Іващенко
Національний університет оборони України*

Сучасні умови ведення збройної боротьби, зокрема інтенсивне використання і різноманітність завдань, що покладаються на армійську авіацію в складі Сил Оборони України під час відсічі збройної агресії РФ, в значній мірі визначається можливостями їх системи логістичного забезпечення.

Невід'ємною складовою цієї системи є система забезпечення матеріальними засобами (ЗМЗ) процесів експлуатації і відновлення автомобільної та спеціальної техніки (А і СТ).

Одним із ключових викликів для сучасної системи є необхідність забезпечення технічної готовності А і СТ в умовах розосередженого базування вертолітних загонів, коли підрозділи діють в польових умовах з кількох майданчиків одночасно.

В доповіді на підставі вивчення умов функціонування системи ЗМЗ процесів експлуатації і відновлення А і СТ встановлено проблеми в забезпеченні готовності вертольотів до бойового застосування під час дій з кількох майданчиків одночасно.

Для вирішення питання оцінювання функціонування системи ЗМЗ процесів експлуатації і відновлення А і СТ визначені основні оперативнотактичні вимоги до зазначеної системи, яким вона повинна відповідати; запропоновані критерії та показники оцінювання для вирішення математичної задачі оптимізації.

НАПРЯМИ ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВГОВІЧНОСТІ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ КІЛЬКОСТІ ДАНИХ ПРО ВІДМОВИ

*П.А. Плахотнюк; П.М. Яблонський, к.т.н., доц.;
О.О. П'явчук, Ph.D.; Ю.О. Саранін
Національний університет оборони України*

Проблема достовірного і своєчасного визначення показників довговічності в сучасних зразках засобів ураження авіаційної компоненти (ЗЗУАК), за умов обмеженої кількості даних про відмови, залишається досить актуальною.

Високий рівень надійності сучасних ЗЗУАК зумовлює малу кількість відмов під час випробувань чи експлуатування, що ускладнює достовірне оцінювання показників довговічності.

На практиці виникають ситуації, коли результати оцінювання необхідної точності можуть бути отримані тільки при проведенні тривалих випробувань або на стадіях життєвого циклу “використання” та “підтримка”, тобто, коли їх практичне застосування для досліджуваних систем не має сенсу.

В доповіді запропоновано використовувати методи математичного аналізу при обробці невеликого обсягу початкової інформації з обмеженою кількістю даних про відмови, зібраних у ході попередніх експериментів, що дозволить отримати результати оцінювання показників довговічності та прийняти рішення. Це дозволяє прискорити прийняття рішення без втрати часу на отримання достовірних статистичних даних.

Наступним етапом пропонується розробити методики оцінювання показників довговічності в умовах малої кількості відмов та з урахуванням кількості зразків, що поставлені на випробування, або тих, що перебувають на стадіях життєвого циклу “використання” та “підтримка”.

ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПОВІТРЯНОЇ КОМПОНЕНТИ В ОПЕРАЦІЯХ СИЛ ОБОРОНИ

*А.Г. Салій, к.військ.н., проф.; В.П. Диптан, к.військ.н., доц.;
В.В. Тюрін, к.військ.н., доц.; Б.К. Слізаров
Національний університет оборони України*

Докорінні зміни в характері сучасних бойових дій та досвід застосування угруповань авіації Повітряних Сил (ПС) під час російсько-української війни, засвідчують постійне зростання ролі логістичного забезпечення (ЛЗ). Аналіз поточного стану показує, що ефективність існуючої системи ЛЗ повітряної компоненти є критично низькою.

У практиці військ сформувалися невідповідності, що потребують вирішення: між стрімким зростанням потреби угруповання авіації у МтЗ та обмеженими можливостями підрозділів ЛЗ щодо їх своєчасної подачі; між жорсткими часовими лімітами на підготовку різних типів літаків до повторного вильоту та недостатністю засобів аеродромно-технічного обслуговування; між оперативною необхідністю маневру на інші аеродроми та обмеженою спроможністю підрозділів ЛЗ щодо швидкого переміщення.

Незважаючи на наявність ґрунтовних наукових праць у галузі воєнного мистецтва щодо підвищення готовності логістики, існуючий науково-методичний апарат виявився недостатньо адаптованим до сучасних умов. Головним недоліком наявних методик є їх вузька спрямованість на оцінювання ефективності лише окремих підсистем ЛЗ, а не оцінювання системи загалом.

Тому, виникає нагальна потреба в удосконаленні методики оцінювання ефективності ЛЗ виконання завдань повітряної компоненти в операції сил оборони. Створення комплексного науково-методичного апарату дозволить розробити дієві рекомендації щодо підвищення ефективності системи ЛЗ до потрібного рівня.

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ЗАСОБІВ НАЗЕМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ АВІАЦІЇ СИЛ ОБОРОНИ ДО РЕМОНТНИХ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН

*Є.О. Смиченко; О.В. Авраменко, д.т.н., доц.;
В.В. Поліщук, к.військ.н., доц.; О.І. Шапран
Національний університет оборони України*

Забезпечення боєготовності та безперебійного функціонування авіаційних частин Сил оборони значною мірою залежить від ефективності системи відновлення засобів наземного забезпечення польотів (ЗНЗП). Проблема оперативного відновлення ЗНЗП вимагає впровадження науково обґрунтованих механізмів управління ремонтним фондом, які дозволяють мінімізувати часові витрати на логістику та ремонт. Це обумовлює необхідність розроблення методики, що забезпечує перехід від базових схем відновлення до математично оптимізованих моделей розподілу техніки за критерієм оперативності.

Запропонована методика базується на використанні апарату лінійного програмування для розв'язання транспортної задачі, що дозволяє визначити найбільш раціональні маршрути та обсяги розподілу ремонтного фонду ЗНЗП авіації Сил оборони до ремонтних військових частин. Алгоритм методики передбачає формування цільової функції мінімізації загального часу перебування ЗНЗП поза строем, враховуючи при цьому спроможності стаціонарних ремонтних військових частин.

ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ УГРУПОВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

*О.С. Савченко; В.В. Бондар, Ph.D.; Є.А. Юфа, к.військ.н., доц.;
С.Е. Попов, к.військ.н., доц.
Національний університет оборони України*

Аналіз досвіду бойового застосування радіотехнічних військ (РТВ) в російсько-українській війні засвідчує, що в умовах сьогодення парк радіоелектронної техніки (РЕТ) є суттєво гетерогенним. Специфікою використання за призначенням такого різноманіття РЕТ є те, що інтенсивність їх відмов не є постійною величиною, а суттєво залежить від напружування (строків експлуатації) виробів, умов експлуатації, якості та своєчасності технічного обслуговування.

Існуючі методики розрахунку можливостей системи відновлення часто базуються на детермінованих підходах, ігноруючи мережевий ефект взаємодії між різними рівнями ієрархії.

Метою роботи є побудова комплексної ієрархічної багаторівневої імітаційної моделі функціонування системи відновлення РЕТ угруповання РТВ в рамках єдиної замкненої мережі масового обслуговування. Така модель повинна явно враховувати процеси технічної розвідки, евакуації, ремонту та кілька рівнів пріоритетності заявок на ремонт, відповідно до важливості зразка РЕТ для виконання бойового завдання та ступеню пошкоджень. Використання методу аналізу середніх значень з апроксимацією “Віртуальних вузлів” є ефективним обчислювальним інструментом для вирішення задач з

пріоритетним обслуговуванням у замкнених мережах масового обслуговування.

Запропонована модель дає можливість провести оцінювання ефективності функціонування системи відновлення РЕТ угруповання РТВ.

АНАЛІЗ УМОВ ТА ЧИННИКІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ БОЙОВИХ ДІЙ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

*Д.А. Стояновський; О.М. Коцюр
Національний університет оборони України*

Бойовий досвід відсічі широкомасштабної збройної агресії російської федерації проти України свідчить, що ефективність застосування авіації Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України значною мірою залежить від рівня організації та функціонування системи управління аеродромно-технічним забезпеченням (АТЗ).

Основними чинниками, які впливають на систему управління АТЗ є: уразливість аеродромної інфраструктури від ударів противника, що зумовлює необхідність постійного маневрування авіації та розосередження сил і засобів; недостатня стійкість систем зв'язку та управління в умовах активного застосування противником засобів радіоелектронної боротьби; обмеженість матеріально-технічних ресурсів, складність логістичного забезпечення та необхідність швидкого відновлення аеродромної інфраструктури; рівень підготовки особового складу та його здатність діяти в умовах високої динаміки бойових дій і дефіциту часу на прийняття рішень.

Таким чином, підвищення ефективності системи управління АТЗ потребує комплексного підходу, який включає підвищення живучості аеродромної мережі, удосконалення систем зв'язку та автоматизації управління, оптимізацію логістичних процесів та підвищення рівня підготовки персоналу. Реалізація зазначених заходів дозволить забезпечити належний рівень функціонування системи АТЗ та підвищити ефективність бойового застосування авіації ПС ЗС України в сучасних умовах ведення війни.

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ НРК В ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧАХ

*Р.В. Кузьменко, к.т.н., доц.; Д.Л. Парацук, к.т.н., доц.; О.М. Голубовська
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

В умовах повномасштабної збройної агресії російської федерації проти України питання збереження особового складу та забезпечення логістики лежать в одній площині та набувають критичного значення.

Практика бойових дій свідчить, що протягом останніх шести місяців роль наземних роботизованих комплексів (далі – НРК) у логістиці бригад зросла до домінуючої. Станом на теперішній час до 70 % логістичних завдань виконуються саме із застосуванням НРК.

Поряд з цим противник активно адаптується до нових умов ведення бойових дій, здійснюючи полювання на НРК, застосовуючи дистанційне мінування, FPV-дрони тощо. Як наслідок, у січні поточного року в окремих

бригадах було зафіксовано подвоєння втрат НРК порівняно з попереднім місяцем. Окрім цього ще одним фактором зваженого підходу до використання НРК є економічний аспект, так як середня вартість одного логістичного НРК становить близько 400 тис. грн. і за умов обмеженого фінансування, це створює суттєве навантаження на систему забезпечення.

Таким чином досвід застосування вказує, що з практичної точки зору НРК доцільно розглядати як стандартний елемент оснащення кожного підрозділу, окрім того під час планування логістичних маршрутів враховувати маскування та складність руху особливо в нічний час та за несприятливих погодних умов, впроваджувати уніфікований модульний підхід до конструкції з метою швидкого відновлення, а також поєднувати застосування НРК із БПЛА-розвідкою для зниження ризиків ураження.

Подальший розвиток і наукове обґрунтування застосування НРК у логістиці є важливою умовою підвищення стійкості Збройних Сил України в сучасній війні.

ЗРОСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ З УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПРОДОВОЛЬЧОЇ СЛУЖБИ

С.І. Задерієнко, к.військ.н., доц.; П.В. Ткачук

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

З початком російської агресії проти України активні зусилля українських розробників програмного забезпечення були спрямовані в першу чергу на автоматизацію обліку продуктів, формування заявок і звітності.

Однією з перших у цій сфері з'явилась програма "Прод 2022", а її технічні можливості використовувались для створення меню-розкладок, формування та подачі заявок на постачання продуктів, обліку їх надходжень до військових частин і калькулювання витрат. В подальшому усі напрацювання лягли в основу багатоцільової програми "ZSU Prod", для якої Сили територіальної оборони на інформаційному ресурсі Sprotyv G7 розмістили 90-сторінкову інструкцію з користування програмою.

У вересні 2024 року ДП "Державний оператор тилу" вводить нову систему для управління тиловими потребами "DOT-Chain", а вже 27.06.2025 Кабінет Міністрів України своєю Постановою № 798 затверджує Порядок функціонування інформаційно-комунікаційної системи управління постачанням товарів і послуг для потреб Збройних Сил України "DOT-Chain".

Станом на сьогодні Центр масштабування технологічних рішень проводить апробацію спеціальної комп'ютерної програми "Управління процесами продовольчої служби", скорочено – СКП УППС. Мета апробації – упевнитись в тому, що програма відповідає сучасним потребам продовольчої служби та повністю забезпечує необхідні процеси: від формування розкладки продуктів до складання звітності. Відомо, що СКП УППС повністю сумісна з попередньою системою "DOT-Chain".

Таким чином, можливості з управління продовольчим забезпеченням постійно зростають, а перспективні рішення й інновації масштабують після повноцінної перевірки.

**РОЗРАХУНОК ВАРТОСТІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ З ВРАХУВАННЯМ
ІНТЕГРАЛЬНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ВПЛИВУ
ФАКТОРІВ РЕАЛЬНИХ УМОВ**

Є.В. Шинкар

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що питання покращення організації перевезень матеріально-технічних засобів в підрозділах тактичної ланки досі залишаються не повністю розкритими.

Актуальним та своєчасним є питання правильного управління витратами і пошук шляхів оптимізації та покращення процесу, так як не завжди реально витрачені кошти відповідають плановим розрахункам витрат на здійснення перевезень автомобільним транспортом.

Один з шляхів вирішення цього питання це проведення розрахунків загальної вартості транспортування вантажу автомобільним транспортом, які відповідають реальним умовам виконання завдань, які диктує оперативна обстановка (ведення бойових дій, повсякденна діяльність, тощо).

Так як, вантажні перевезення автомобільним транспортом – це не тільки перевезення вантажу з точки А в точку Б, а й процес на який здійснюють вплив різноманітні фактори. Фактори реальних умов – це сукупність об’єктивних обставин, які впливають на діяльність військових підрозділів.

В роботі пропонується введення та врахування інтегрального коефіцієнту впливу факторів реальних умов при проведенні розрахунків загальної вартості перевезення вантажу автомобільним транспортом. Це підвищить точність та дозволить здійснювати коригування планових розрахунків вартості транспортування, для реальних умов здійснення перевезень матеріально-технічних засобів у підрозділах тактичної ланки.

Таким чином, отримані результати можуть бути використані для вдосконалення планування й організації вантажних автомобільних перевезень з метою підвищення їх економічної ефективності.

БПЛА ТА ВИЯВЛЕННЯ ПРОТИВНИКА НА МІСЦЕВОСТІ

К.М. Хом'як

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасна війна на території нашої держави показала неоціненну роль БПЛА. Дані засоби використовуються і для спостереження і для розвідки і, однозначно, для ураження. Проте для нанесення високоточного ураження необхідні якісно провести розвідку та визначити ціль. Певною завадою, а іноді і суттєвою перешкодою, на цьому шляху стають добре замасковані позиції противника. Особливої актуальності набуває дане питання в лісистих місцевостях, густих чагарниках де природне забарвлення місцевості посилює маскуючі ознаки форми та камуфльоване покриття техніки противника.

Одним зі шляхів вирішення даного питання, на нашу думку, можливе застосування БПЛА із розпилюючими пристроями типу засобів для внесення фунгіцидів в сільському господарстві. Звісно використання хімічних засобів впливу на рослинну складову не передбачають використання фітотоксикантів

як складових бойових токсичних хімічних речовин, проте рідини нахшталп гербіцидів можуть мати успіх у використанні. При цьому слід додатково врахувати що цивільні сільськогосподарські засоби не дають такого ефекту швидкості як фітотоксиканти, тому, певно, слід застосовувати дані засоби із врахуванням часу його впливу на рослинну складову (листя, трава). Ще один аспект, це додаткове введення в розчин клейової основи для кращої адгезії суміші, яка буде застосована.

Таким чином, є спроба використовувати БПЛА для здійснення впливу на процес фотосинтезу певними хімічними речовинами і сумішами, та, як наслідок, перетворення маскуючи ознак камуфляжу на демаскуючі з метою більш якісного виявлення та ідентифікації цілі.

ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНОСТІ БЕЗПІЛОТНИХ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ПОКАЗНИКОМ ПАРЦІАЛЬНОГО ПРИСКОРЕННЯ

*М.А. Подригало, д.т.н., проф.; А.І. Нікорчук, к.т.н., доц.
Національна академія Національної гвардії України*

Безпілотні наземні комплекси (БпНК) відіграють важливу роль при виконанні бойових, розвідувальних та логістичних завдань, де вирішальне значення має здатність до адаптації в динамічному середовищі. Досвід їх застосування показав, що БпНК повинні мати високі динамічні характеристики, що в свою чергу, забезпечує якісне виконання поставлених завдань.

У контексті зазначеного виникає необхідність в розробленні методу оцінки динамічних властивостей БпНК. Традиційні підходи, що ґрунтуються на показниках часу розгону машин до 100 км/год чи до максимальної швидкості руху, не дають можливості повною мірою оцінити ці властивості. Це пояснюється тим, що різні зразки БпНК мають відмінні один від одного технічні характеристики, які унеможливають їхнє об'єктивне порівняння. З огляду на цей факт, виникає потреба у новому підході, який забезпечить універсальність оцінювання, незалежність його від максимальної швидкості руху БпНК та часу розгону і враховує комплекс факторів, що впливають на динаміку руху платформи. Для оцінювання динамічності БпНК запропоновано застосовувати показник парціального прискорення від рушійної сили. Фізичний зміст цього показника полягає у тому, що він відображає, яку частку максимальної ефективної потужності силової установки БпНК здатен перетворити в поступальний рух, з урахуванням його маси та максимальної швидкості.

Проведений статистичний аналіз технічних характеристик 130 БпНК показав, що розподіл значень показника описується логарифмічно-нормальним розподілом. Використовуючи квантильний підхід визначені межі інтервалів для шкали оцінювання та запропонована класифікація рівня динамічності БпНК.

Розроблена інтервальна шкала оцінювання динамічних властивостей БпНК за показником парціального прискорення від рушійної сили. Використання шкали створює методично обґрунтовану основу для оцінки динамічних властивостей БпНК.

Запропонований метод оцінювання динамічності безпілотних наземних комплексів, що базується на використанні показника парціального прискорення від рушійної сили та квантильного підходу до формування інтервальної шкали оцінювання. Метод, на відміну від відомих, враховує статистичну структуру

вибірки показника та забезпечує оцінювання та порівняння динамічних властивостей БпНК різних масових груп та функціонального призначення.

Практична реалізація отриманих результатів забезпечує формалізований підхід до порівняльної оцінки динамічних властивостей БпНК різних класів і може бути використана при прийнятті інженерних рішень на етапах аналізу, проектування та модернізації.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НАВАНТАЖЕНОСТІ БЕЗПЛОТНИХ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ З УРАХУВАННЯМ МАСШТАБНОГО КОЕФІЦІЄНТА

А.І. Нікорчук, к.т.н., доц.

Національна академія Національної гвардії України

Для оцінювання динамічних властивостей техніки широко застосовувався показник питомої потужності. Проте численні дослідження доводять, що цей критерій не забезпечує коректного оцінювання та порівняння зразків оскільки не враховує вплив максимальної швидкості руху.

Запропоновано альтернативний показник оцінки динамічних властивостей – показник енергетичного навантаження, що є відношенням максимальної ефективної потужності двигуна до максимальної кінетичної енергії поступального руху машини. Максимальна кінетична енергія поступального руху розраховується за повної маси і максимальної швидкості автомобіля. Розглянутий показник може бути застосований для оцінки динамічних властивостей наземних роботизованих комплексів (НРК), проте для об'єктивного оцінювання необхідно враховувати відмінність між їх основними параметрами. Це зумовлено тим, що навіть у рамках однієї масової групи, характеристики БпНК можуть відрізнятися в декілька разів. Наприклад, представниками середньої масової групи є БпНК “Мангал”, з повною масою 170 кг і загальною потужністю двигунів 2 кВт, та БпНК “Cyber Droid” – повною масою 1480 кг, загальною потужністю двигунів 6 кВт. Значний розкид параметрів усередині однієї групи робить пряме порівняння некоректним без урахування масштабних коефіцієнтів.

Масштабування базується на лінійному масштабному коефіцієнті, який є відношенням лінійного розміру зразка (масштабної моделі) до лінійного розміру еталонного зразка.

Отриманий та обґрунтований масштабний коефіцієнт рівня енергетичного навантаження, який визначається через відношення потужності, швидкості та повної маси масштабної моделі до відповідних параметрів натурного (еталонного) зразка.

Запропонований масштабний підхід до оцінювання рівня енергетичного навантаження БпНК дає можливість об'єктивно оцінювати та порівнювати комплекси різних розмірних та масових груп.

Проведений статистичний аналіз показника рівня енергетичної навантаженості легкої, середньої та важкої групи. Встановлено, що величини досліджуваного показника підпорядковуються гамма-розподілу.

Для розглянутих масових груп визначені БпНК-еталони, що є типовими для своїх груп, а їх показники рівнів енергетичної навантаженості є близькими до медіани вибірки відповідних груп.

Запропонована шкала оцінювання рівнів енергетичного навантаження що враховує масштабний коефіцієнт. Визначено чотири рівні енергетичного навантаження (низький, помірний, підвищений та високий) для кожної масової групи.

Отримані результати дозволяють визначити технічний рівень БпНК, здійснювати вибір основних параметрів БпНК на етапі попереднього проектування а також підбір комплексів з близькими показниками для виконання завдань у складі груп.

АДАПТАЦІЯ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДО СУЧАСНИХ ЗАГРОЗ З ПОВІТРЯ

Є.О. Балта; Ю.О. Сичевський, к.пед.н., доц.

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Актуальні реалії збройних конфліктів формують абсолютно інакші критерії щодо системи матеріально-технічного постачання підрозділів Збройних Сил України. Практика крайніх років доводить, що класичні шляхи забезпечення виявляються надто чутливими до атак ворожої високоточної зброї та нальотів ударних дронів. Така ситуація зумовлює нагальну потребу трансформувати підходи, невідкладно впроваджуючи децентралізовані моделі керівництва процесами тилового забезпечення військ.

Використання методики розосередження матеріальних резервів у тактичній ланці дає змогу суттєво знизити ризики втрат від вогневого впливу противника. Не менш значущим кроком стає інтеграція новітніх автоматизованих комплексів контролю майна, адаптованих до повноцінного функціонування під впливом ворожих засобів РЕБ та за відсутності сталого зв'язку.

Поряд із цим, результативне тилове постачання не може існувати без злагодженої координації з підрозділами охорони та прикриття. Шляхи підвезення ресурсів мають обов'язково прокладатися, зважаючи на межі дії засобів протиповітряної оборони. Системне бачення алгоритмів транспортування вантажів, регулярне технічне обслуговування машин і раціональне використання наявних запасів виступають фундаментальними передумовами для стабільної життєдіяльності військових формувань та успішного виконання бойових місій.

ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ СИЛОВИМИ УСТАНОВКАМИ ЯК СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ЛОГІСТИКИ

*І.М. Нікітченко, к.т.н., доц.; А.О. Нечаус, к.т.н., доц.; Д.О. Трофіменко
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Застосування транспортних засобів з силовими установками, відмінними від двигунів внутрішнього згорання або електричних, може бути єдиним способом досягти необхідної безпеки при експлуатації у приміщеннях або на територіях, які потребують особливих заходів з пожежної безпеки. Безпечними транспортними силовими установками можуть бути такі, що мають у складі пневматичний двигун. При роботі на стисненому повітрі немає викидів

шкідливих речовин у навколишнє середовище, відсутні високі температури, які можуть вплинути на легкозаймисті та вибухонебезпечні предмети. Пневматичний двигун легко отримати шляхом конвертації ДВЗ зміною роботи механізму газорозподілу, відмови від системи живлення паливом та встановленням балонів зі стисненим повітрям.

Невисокі робочі тиски стисненого повітря на впуску у пневматичний двигун та у балонах, де запас повітря зберігається, сприяють підвищеній безпеці експлуатації, простоті обслуговування та високій ремонтпридатності.

Поповнення запасу енергоносія легко організувати від компресора високого тиску, які мають невеликі габарити і масу. Запас енергоносія можна варіювати об'ємом і кількістю встановлюваних балонів та вибором матеріалу, з якого вони виготовляються.

У доповіді наведено результати досліджень роботи силової установки з тисками стисненого повітря до від 0,5 до 1,1 МПа, що забезпечує необхідний запас енергії на борту транспортного засобу, достатнього для забезпечення логістичних потреб підприємства впродовж досить тривалого часу.

ПЕРСПЕКТИВИ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ЛОГІСТИЧНОГО КОНТРОЛЮ (ТИПУ LOGFAS) У ПРАКТИКУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЧАСТИН ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ

Х.М. Гурман; А.О. Кочеулов

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасна війна – це не лише змагання пілотів чи ракет, це війна ресурсів. Повітряні Сили сьогодні працюють у надшвидкому темпі: літаки мають злітати, ракети – заряджатися, а запчастини – замінюватися миттєво. Проте стара система обліку (“папір-телефон-звіт”) створює “інформаційний туман”: командування не завжди бачить реальні залишки на складах у режимі реального часу.

LOGFAS – це не просто база даних, це глобальна екосистема. Вона дозволяє бачити логістичний ланцюжок від заводу в США чи Європі прямо до конкретного українського аеродрому. Без автоматизації цього процесу ми ризикуємо отримати ситуацію, коли сучасний літак простояє через відсутність одного копійчаного болта, який насправді є на сусідньому складі, але про нього “забули” в паперовому звіті.

Коротко про те, як працює система LOGFAS для авіації:

- ADAMS (Планування переміщень) – допомагає швидко перемістити авіаційну частину на інший аеродром. Розраховує все: від кількості вантажівок до графіку руху колон, щоб техніка і боєприпаси прибули вчасно.

- EVE (Облік у реальному часі) – ви бачите конкретно де зараз знаходиться потрібна вам частина до F-16 чи ракети(на складі, в дорозі чи вже в літаку).

- LOGREP (Звітність) – замість того щоб годинами малювати звіти в Excel про залишки бомб чи палива, система робить це сама. Один клік – і штаб бачить готовність усієї частини.

Отже, впровадження перспективних автоматизованих систем логістичного забезпечення типу LOGFAS, один з ключових елементів підтримання боєздатності наших Повітряних Сил.

ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВІАЦІЙНИМ ПАЛЬНИМ ТА КОНТРОЛЬ ЙОГО ЯКОСТІ

*Д.О. Дудко; О.А. Пономаренко, к.педаг.н., доц.
Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Військова логістика авіаційного пального – це особлива система, де головним завданням є забезпечення в бойових умовах паливом. Логісти розподіляють запаси по мережі прихованих підземних сховищ та мобільних складів, які можна швидко перемістити. Головне тут – зробити так, щоб літаки отримували паливо навіть тоді, коли основна інфраструктура пошкоджена.

Доставка здійснюється залізничними ешелонами до безпечних зон, а звідти – потужними паливозаправниками підвищеної прохідності, які здатні доїхати до польових аеродромів чи прихованих ділянок. Військова логістика працює за принципом максимальної мобільності: паливопроводи розгортаються просто на землі, а заправка часто проводиться “гарячим” способом, тобто з працюючими двигунами, щоб літак міг миттєво злетіти після поповнення.

Перевірка якості діє навіть у найважчих умовах як захисний бар'єр. Оскільки пальне часто перевозять у польових умовах, ризик потрапляння бруду, піску чи вологи дуже високий. Військові використовують мобільні лабораторії для миттєвих тестів. Найсуворіше стежать за наявністю води, адже на висоті вона спричиняє утворення кристалів льоду, які забивають паливні фільтри. Для захисту від цього в пальне завжди додають спеціальні противодні хімічні добавки. Перед тим як пальне потрапить у винищувач чи гвинтокрил, воно проходить через потужні пересувні фільтри-сепаратори. Отже тому це налагоджений механізм, де кожна ланка працює на те, щоб пальне було доставлено вчасно, приховано та у бездоганному стані.

ЕНЕРГЕТИЧНА ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЇХНЬОЇ СКРИТНОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ

*А.І. Куртов, к.т.н., доц.; А.С. Москвітін
Військово-юридичний інститут Національного юридичного університету*

Сучасний досвід ведення бойових дій підтверджує, що централізовані енергомережі аеродромів є критично вразливими до високоточних ударів противника. Для забезпечення безперебійної роботи пунктів управління (ПУ), систем РЛС та зв'язку Повітряних Сил виникає гостра потреба у переході до автономних гібридних систем енергозабезпечення. Згідно із законодавством України щодо захисту критичної інфраструктури, енергетична незалежність військових об'єктів є базовою умовою їхньої стійкості. Основним інструментом досягнення цієї мети є впровадження концепції тактичних мікромереж (Tactical Microgrids), які поєднують відновлювані джерела енергії (ВДЕ), системи накопичення на базі LiFePO₄ акумуляторів та мобільні дизель-генератори в єдину інтелектуальну екосистему.

Ключовою перевагою таких систем є радикальне підвищення живучості та скритності ПУ. На відміну від традиційних генераторів, робота від

аккумуляторів, заряджених сонячною енергією, дозволяє об'єкту залишатися "холодним" в інфрачервоному спектрі та безшумним, що ускладнює його виявлення засобами тепловізійної та акустичної розвідки ворога. Використання інтелектуальних систем управління енергією (EMS) дозволяє пріоритизувати живлення бойових систем над допоміжними, автоматично підключаючи резервний генератор лише за критичної потреби, що економить до 50 % палива.

Підсумовуючи, децентралізація енергопостачання через інтеграцію ВДЕ є не лише екологічним трендом, а стратегічною необхідністю, що гарантує безперервність управління авіацією навіть у разі повного руйнування енергосистеми регіону.

ЛОГІСТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІНОЛОГІЧНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

М.О. Сап'яненко

Військова частина А4983

Логістичне забезпечення кінологічних підрозділів Повітряних Сил Збройних Сил України відіграє важливу роль при виконанні службових (бойових) завдань.

Забезпечення кінологічних підрозділів доцільно розділити на наступні групи:

1. Матеріальне забезпечення – корми (продукти харчування та сухі концентровані корми), кухонне приладдя та посуд (використовуються для приготування їжі, годівлі та напування службових тварин), амуніції для тварин та захисту кінолога (нашийники, шлеї, повіді, захист для собак), обладнання для тимчасового утримання (розбірні вольєри та бокси для транспортування).

2. Технічне забезпечення – наявність дронів для дистанційного контролю роботи службових собак, відеореєстратори, мобільні кондиціонери для створення необхідного мікроклімату для тварин.

3. Ветеринарне забезпечення та проведення ветеринарно-санітарних заходів (проведення щеплень, профілактичних протипаразитарних обробок тваринам, дезінфекція, дезінсекція та дезінвазія приміщень для утримання тварин, щорічна диспансеризація тварин, а у разі захворювання – лікування).

4. Транспортне забезпечення – спеціально обладнаний автомобіль для транспортування кінологічних розрахунків та майна для виконання службових (бойових) завдань.

5. Експлуатація військової інфраструктури (облаштування та ремонт складових кінологічних містечок, постів для вартових собак на об'єктах, що охороняються).

Сучасне забезпечення кінологічних підрозділів вимагає вдосконалення та приведення до стандартів НАТО.

Таким чином, розроблена методика забезпечує перехід до якісно нового рівня управління ремонтним фондом ЗНЗП, де ключовим критерієм прийняття рішення стає математично доведена мінімізація часових витрат. Практичне застосування запропонованого підходу дозволяє реалізувати гнучке та адаптивне маневрування ресурсами системи відновлення.

РОБОТИЗОВАНІ ПЛАТФОРМИ ЯК ЗАСІБ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ ІНЖЕНЕРНИХ БОЄПРИПАСІВ ТА ПММ

*Р.П. Кравчук; В.В. Іваничко
Військова частина А4983*

Трансформація логістики Повітряних Сил в умовах сучасних загроз вимагає виведення людини з найбільш небезпечних зон підвезення ресурсів. Наземні роботизовані комплекси (НРК) стають незамінною ланкою в забезпеченні підрозділів інженерними боєприпасами та засобами ППО.

Сучасні логістичні платформи з вантажопідйомністю до 1000 кг здатні автономно або напів-автономно здійснювати підвезення важких ракет, мінних засобів та палива безпосередньо до пускових установок або місць встановлення загороджень.

Головною перевагою НРК перед вантажним автотранспортом є їхня низька помітність у тепловому та акустичному діапазонах, що вкрай важливо при роботі в зоні дії ворожих розвідувальних дронів. Використання електричних приводів та низького профілю дозволяє цим системам непомітно пересуватися складним рельєфом або вузькими шляхами.

Впровадження таких комплексів у структуру аеродромних баз дозволить автоматизувати процеси завантаження та розвантаження, зменшити логістичне плече та уникнути скупчення особового складу на складах, які є пріоритетними цілями для ворога.

Перспективним є створення “роїв” логістичних роботів, що керуються одним оператором, що дозволяє одночасно розосереджено доставляти майно на різні позиції, значно підвищуючи гнучкість та скритність логістичних операцій.

СЕКЦІЯ 13

РОЗВИТОК, ЗАСТОСУВАННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ Й ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Керівники секції: полковник Бритов М.П.;
д.т.н. проф. пр. ЗС України Кобзєв А.В.
Секретар секції: майор Коломійцев О.В.

MATHEMATICAL APPARATUS FOR THE DESCRIPTION OF THE PROCESSES OF PROCESSING AIR INTELLIGENCE MATERIALS IN INTELLIGENCE INFORMATION PROCESSING CENTERS

M. Brytov¹; V. Hrydyn², Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

To justify the organizational and staff structures of the subdivisions that will process aerial reconnaissance (AR) materials, a mathematical apparatus is needed that accounts for the peculiarities of processing intelligence information (II) obtained from modern reconnaissance means. The analysis of the existing scientific and methodological apparatus that can be used to form the organizational structure of intelligence information processing centers (IIPC), and the analysis of tasks and information flows, shows that this apparatus cannot be used to fulfill the task in its entirety.

To develop the necessary mathematical apparatus, a system of indicators and criteria characterizing the organizational structure of intelligence information processing units was selected. It is proposed to use two main criteria for evaluating their effectiveness:

- the number of tasks that the structure (subdivision) is capable of performing;
- reduction of the time of execution of tasks of II processing by the proposed structure (subdivision).

A model of the IIPC's operations and a reasonable list of capabilities for processing AR materials have been developed. The use of this model enables the development of a methodology for determining the optimal forces for the processing cycle, as well as rational variants of the organizational and staff structures of IIPC units and subdivisions of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. This will increase the effectiveness of IIPC by reducing processing time for II and bringing the intelligence support system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine closer to NATO requirements and standards.

A NONPARAMETRIC METHOD FOR SIGNAL DETECTION USING THE INDEX SG

K. Vasiuta, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Slobodyanuk, Candidate of Technical Sciences; R. Kachailo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern radio monitoring, radar, and communication systems, the problem of signal detection in the presence of interference remains one of the key challenges. Classical detection methods, in particular energy detectors, are effective only under

the assumption of a known Gaussian distribution of interference, which significantly limits their practical applicability.

A new nonparametric method for signal detection based on the index SG (Savit-Green) in combination with surrogate data technology implemented using the ATS-algorithm (attractor trajectory surrogates) is proposed. The proposed method does not require a priori information about the signal type or the probability density distribution of interference (noise), which fundamentally distinguishes it from classical statistical detection methods.

The efficiency of the proposed method was investigated through simulation modeling for signals with linear frequency modulation, amplitude shift keying (ASK), phase shift keying (PSK), and frequency shift keying (FSK) under various signal-to-noise ratios and types of interference (noise), including logistic distribution noise. The simulation results demonstrate that the probability of correct signal detection using the index SG and surrogate data technology is higher compared to the classical energy detection method.

The proposed nonparametric signal detection method can be recommended for application in radio intelligence and radio monitoring systems operating under complex and uncertain signal–interference environments.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SPECTRAL AND CORRELATION METHODS FOR DETECTING CONTINUOUS SIGNALS OF UNKNOWN FORM

*A. Kobzev, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Hridin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
M. Murzin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

At present, signal detection automation primarily relies on two methods: the spectral method, implemented by comparing spectral analysis results against a threshold, and the correlation method, based on the cross-correlation processing of signals received via two channels.

This paper presents a comparative analysis of these detection methods under conditions of a priori uncertainty regarding the frequency parameters of the received signals against a background of internal receiver noise. We examine the statistical characteristics of the processes at the output of the processing algorithms when the receiver bandwidth exceeds the signal spectrum width.

Performance metrics are calculated as a function of detection probability versus the input signal-to-noise ratio (SNR) for various signal bandwidths. It is demonstrated that the correlation detector is inferior to the spectral detector in terms of threshold signal magnitudes, with the performance gap widening as the signal spectrum width decreases. A disadvantage is also observed regarding SNR performance. It is further shown that when the processing bandwidth of the correlation detector is matched to the signal spectrum width, both detection methods exhibit identical efficiency indicators.

The study concludes that for the detection of continuous signals with unknown parameters in wideband search mode, the spectral method offers superior efficiency, provided that incoherent integration of spectral components is implemented. Cross-correlation processing should be utilized exclusively for measuring relative signal delay (phase difference) after the frequency bands occupied by the signals have been identified through spectral analysis.

DISPLAYS OF HOSTILITY AMONG POWs IN A RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*Yu. Shyrobokov, Doctor of Psychological of Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The usage of illegal methods of warfare in the context of a Russian-Ukrainian War led to the escalation of hostility among all parties of the conflict, which contributed to the formation of different types of it among prisoners of war.

The conditions of detention of prisoners in pits and cellars, which were characterized by: small size, large density of people, lack of hygiene, lighting, air circulation, beds, etc., have contributed to the displays of various types of hostility with characteristic strong negative reactions against the enemy, one's comrades and oneself.

Prisoners of war experiencing overall distrust displayed hostility in the form of a willingness or desire to harm in various forms: reaction of intense and prolonged animosity; impulse to hurt someone who is perceived as the enemy; perception of neutral or well-intentioned comrades as their personal enemies.

In the conditions of feeling inferiority and envy, hostility is displayed in the form of self-assertion through violence by bullying and shootings one's comrades.

In the conditions of experiencing the sense of injustice, malevolence of the world, negative subjective evaluation of the future, hostility is displayed in the form of depression: apathy, self-aggression and suicidal behavior.

A promising direction for further scientific research, in our opinion, is the study of methods of diagnostics of hostility of military personnel in various types of modern captivity.

Thus, these indicators allow to objectively evaluate the reasons for the displays of different forms of hostility among soldiers who survived captivity for the identification of possibilities of conducting their medical and psychological rehabilitation. Based on the foregoing we can conclude about the prospects of the proposed research and about the possibility of its implementation in the course of the war.

SYSTEM FOR COUNTERING ENEMY UNMANNED AERIAL VEHICLES

*D. Karlov, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher;
G. Safarova; S. Manoilo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current stage of the war has demonstrated that unmanned aerial vehicles (UAVs) are no longer an auxiliary tool but has become one of the key factors of combat operations. The enemy employs UAVs at all levels – from the tactical echelon to strategic strikes, deep inside the state's territory. So, countering them cannot be fragmented. It must be organized as a comprehensive, multi-layered system.

Previously the air threat was primarily associated with aircraft or missiles, nowadays the majority of daily risks are formed by drones. These concerns are not only physical destruction. UAVs provide reconnaissance, fire correction, information influence, psychological pressure, and continuous attrition of personnel.

Therefore, countering them is not only a matter of fighter aviation, air defense missile, anti-aircraft artillery, and anti-aircraft machine-gun protection, but also a component of employing interceptor UAVs.

The system for countering enemy UAVs is a set of measures aimed at detecting, identifying, suppressing, or destroying hostile drones (DISH).

Main components of the system:

detection: radar systems, radio-technical intelligence (interception of control signals), electro-optical systems (thermal imagers, cameras, sensors), acoustic detectors, etc.;

identification: determining the UAV type (reconnaissance, strike, FPV), threat assessment (altitude, speed, flight direction);

suppression (soft kill): electronic warfare – jamming control channels and GPS, spoofing (substitution of navigation channels), takeover of control;

destruction (hard kill): fighter aircrafts, light aircrafts and helicopters, air defense missile systems, heavy machine guns, MANPADS, interceptor UAVs.

In modern conditions of combat missions, the integration of detection, identification, suppression, and destruction of UAVs create a unified system for organization the fight against enemy UAVs and provide real resistance to the mass enemy UAVs attacks.

INPUT DATA FOR THE DEVELOPMENT OF GENERAL REQUIREMENTS FOR AN AVIATION COMBAT SURVIVAL RADIO

Ye. Zhylin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

A. Rybiak, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

V. Aktyanov; A. Zemlianska; V. Zynchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The availability of emergency radio communications constitutes a key factor influencing the effectiveness of combat search and rescue (CSAR) operations. Statistical data demonstrate that the employment of emergency radio communication means by isolated personnel increases the probability of recovery by 30–50 percent and reduces evacuation time by a factor of two to three, depending on the operational environment.

This report addresses methodological aspects of selecting baseline data sources that comprehensively account for potential operational employment conditions, user needs, and the capabilities to implement requirements for the research object.

The report examines the main sources of baseline data used to formulate general requirements for an aviation combat survival radio:

- experience gained from the conduct of combat search and rescue (CSAR) operations and operational environment conditions;

- requirements of international and national regulatory documents related to aviation search and rescue support (Personnel Recovery, SAR) and the use of the radio-frequency spectrum;

- data on existing and emerging emergency radio communication technologies, including the results of a comparative analysis of the tactical and technical characteristics and functional capabilities of modern aviation emergency radio communication equipment;

- results of mathematical modeling of the processes of reception and detection of radio signals from aviation emergency radio stations by electronic means of search and rescue forces, as well as by the adversary's electronic intelligence (ELINT) assets.

IMPROVING ASPECTS OF SEARCH AND RESCUE SECUREMENT IN THE CONDITIONS OF MODERN WARFARE

*S. Logachov, Candidate of Technical Sciences; S. Bielov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, which is characterized by the widespread use of high-precision weapons, unmanned aerial vehicles (UAVs), air defense systems (ADS) and electronic warfare (EW), the risk of losing aircraft and isolating crews has increased significantly. Therefore, in modern warfare, the improving traditional aspects of search and rescue securement (SRS) becomes of great importance.

SRS is a component of the combat support of troops and directly affects the level of combat capability of aviation units. The features of carrying out SRS in conditions of modern combat operations are characterized by: high saturation of ADS, active use of UAVs (constant aerial surveillance), deep echeloning of enemy defense, information transparency of the battlefield. In this regard, traditional air evacuation operations urgently need to be replaced by combined manners. SRS should be implemented in close interactions with ADS, EW, artillery, and reconnaissance units. An integrated approach increases the chances of successful completion of the operation.

Currently, the Ukrainian SRS system is in the process of active development, taking into account the combat experience gained in modern warfare and gradually adapting to NATO standards. Moreover, the experience of past operations with successful NATO SRS is not always useful to more skillful Ukrainian specialists who have passed the crucible of the modern full-scale Russian-Ukrainian war.

Thus, improving the aspects of the SRS for the Air Force of the Armed Forces of Ukraine is of strategic importance, allowing to save a trained (with great difficulty) flight crew and maintain the combat capability of aviation units.

CAPABILITIES FOR RE-EQUIPMENT OF MOBILE FIRE GROUPS WITH UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

*O. Musienko, Candidate of Technical Sciences;
Y. Vorobiov, Candidate of Technical Sciences; O. Kolomiitsev
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Combat experience on the territory of Ukraine indicates a rapid increase in the enemy's intensity of using reconnaissance and strike Unmanned Aircraft Systems (UAS) for conducting aerial reconnaissance and launching strikes against both military targets and critical infrastructure.

Mobile Fire Groups (MFGs) are among the primary elements of air defense in Ukraine, ensuring high efficiency in combating aerial threats, specifically Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and other hostile targets. They are capable of reacting quickly to changing combat conditions thanks to their mobility and ability to operational relocation, which allows for the effective neutralization of threats.

Currently, the enemy is technologically updating its fleet of Shahed-type strike UAVs; modernization and re-equipment of unmanned aircraft systems (UAS) are underway. Existing weapon systems in service with Mobile Fire Groups (MFGs) do not always demonstrate effectiveness in destroying UAVs. The active transformation of methods for countering enemy UAVs has led to significant

development and dynamic production of interceptor UAVs by domestic and foreign enterprises.

Based on this, the development prospects for MFGs involve the implementation of new technologies. One of the key directions is the gradual re-equipment of MFG engagement assets with air defense unmanned systems of multirotor (“anti-aircraft drones”) and fixed-wing types.

THE MANNER OF SEARCHING FOR CASUALTIES (INJURED) ON THE BATTLEFIELD IN AN URBAN AREA

*V. Kyrpenko, Candidate of Sciences in Physical Education and Sports, Associate Professor;
S. Bielov*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern search and rescue operations require rapid response, vigilance and operational coordination, especially on the battlefield in an urbanized area. For this purpose, it is advisable to use trained personnel and unmanned aerial vehicles (UAVs) with long range and flight speed, capable of transporting cargo, with high sensitivity and resolution of the camera, equipped with infrared and thermal imaging cameras, high-quality optics, optimal viewing angle and minimum noise, capable of resisting enemy electronic warfare (EW) equipment, and which will allow for a short time to search and determine the location of the injured (wounded).

The manner of searching for casualties (injured) on the battlefield in an urban area is proposed, which initially uses small UAVs with high flight speed and a sensitive sensor. When flying over the intended area, these UAVs should easily slow down and stop near the affected building, and if necessary, change the height and angle, which will allow fixing the location of the casualties with the transmission of the image to the search and rescue operations control point.

After identifying the casualties (injured), a UAV is sent to them, which capable of resisting enemy EW, possibly of flying in difficult conditions and abled of transporting medium-sized cargo (a set of medicines, water, food etc).

During this time, the head of the search and rescue operation develops a plan and begins rescuing the casualties (injured). This manner of searching for casualties (injured) on the battlefield in an urban area will allow to reduce the search time and quickly carry out their evacuation.

ANALYSIS OF THE USE OF “DELTA” ECOSYSTEM MODULES FOR GATHERING INTELLIGENCE INFORMATION

*D. Kozlov; S. Lukianov; M. Kholodniak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The use of military products from the “DELTA” ecosystem in battle planning provides the capability to observe real-time battlefield developments, exchange information with adjacent units and higher command, and effectively organize command and interaction.

For a well-founded and timely decision-making process, a unit commander needs to have complete and reliable information about the combat situation, specifically intelligence data. Fully understanding the enemy's intentions can be

challenging when the situation patterns, composition, and disposition of the enemy are unclear.

In the operational environment, the primary data about the enemy that require detailed analysis include: the combat and numerical composition of forces and means, the enemy's unit and subunit records; typical organizational and staffing structure; maneuver capabilities, counteraction capabilities, and survivability; probable and most dangerous courses of action of the enemy, and other intelligence information.

An important result of analyzing and patterning the enemy is determining its phase in the operational environment.

For working with intelligence data, the “DELTA” ecosystem platform includes:

- The “MONITOR” situational awareness module, designed to create layers of force and asset locations in the operational environment with the capability to predict future enemy actions.

- The “VEZHA” module, which provides online monitoring of enemy actions in the task execution area using UAVs and other sensors, with the ability for collective decryption and dissemination of obtained data.

- The “ORBIT” module, for maintaining, structuring, and ensuring quick access to centralized, up-to-date, and verified information about the organizational structure, personnel, and armament of enemy units.

- The “ANALITICS” module, for recording and analyzing current information on the enemy's recent active actions (RECENT ACTIVITIES) (currently under development).

- The “INTELLIGENCE” module, for the analytical activities of ISTAR specialists.

A study is proposed to explore the potential use of the “DELTA” ecosystem modules for intelligence data analysis, with recommendations for developing the analytical capabilities of the “ANALITICS” module and creating assumption templates. This will enable the use of both the standard “intuitive” decision-making method and the “DATA-DRIVEN-DECISION-MAKING” method based on generated analytical templates.

The relevance of this consideration is driven by the implementation of the “DELTA” platform for training cadets-students in the educational program of the L-1A professional military education course, tactical-level officers, within the study of the “INTELLIGENCE TRAINING” discipline.

NEW DOCTRINAL APPROACHES TO PERSONNEL RECOVERY IN NATO OPERATIONS

R. Yatsko¹; R. Korol²; I. Bohushev³; V. Lavrinenko³;

Ye. Zhylin⁴, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

¹Head Office of State Aviation of Ukraine;

²Air Force Command of Ukrainian Armed Forces;

*³Command and Control Centre for SAR Support to Flight Operations
of Armed Forces of Ukraine;*

⁴Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The determining mechanism for ensuring the effectiveness of any complex system is the set of organizational principles and foundations underlying its functioning, the definition of its goals, tasks, and methods of their implementation.

The practical implementation of such principles is regulated by the normative and legal framework of the relevant field of activity.

The primary NATO document concerning Personnel Recovery is the AJP-3.7 doctrine – Allied Joint Doctrine for Recovery of Personnel in a Hostile Environment. Considering the importance of monitoring global trends in the development of search and rescue activities, the review of the latest edition of AJP-3.7, published in June 2025, is of considerable professional interest.

The report discusses the results of a comparative analysis of the new edition of AJP-3.7 with its previous version, as well as with the European Union's EU Military Concept for Personnel Recovery and the Search and Rescue Doctrine SP 3-00(03).01, adopted by the Armed Forces of Ukraine at the end of 2021.

Conclusions have been drawn regarding the shift in focus of the new edition of the AJP-3.7 doctrine toward the position and role of isolated personnel in the conduct of combat search and rescue operations, as well as toward the adaptation of search and rescue principles to the capabilities of different units of NATO Joint Force.

METHODOLOGICAL ISSUES OF IMPLEMENTING A NATO STANDARD STANAG 3295 ED. 8 / APRP-3.3.7.9 HORSE COLLAR / RESCUE STROP TYPE HELICOPTER HOISTING GEAR IN THE ARMED FORCES OF UKRAINE

Ye. Zhylin¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

Yu. Dobrovolskyi², Ph.D., Senior Researcher, Associate Professor;

M. Yarmolchuk², Ph.D.; O. Boichenko³

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Department of Military Training State University "Kyiv Aviation Institute";

*³State Scientific Research Institute for Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

NATO standards are implemented on the basis of rational expediency, where the application of their norms and provisions contributes to the development of the capabilities of the Armed Forces of Ukraine and the achievement of interoperability with NATO member states.

Notwithstanding the clearly defined general regulation of this process in the Armed Forces of Ukraine, the implementation of each individual NATO standard has specific features that extend beyond the provisions of military standardization regulatory documents.

The report, using the development of a Military Standard that implements NATO STANAG 3295 / APRP-3.3.7.9 'Horse Collar/Rescue Strop Type Helicopter Hoisting Gear' as an example, examines the key aspects of this process that may pose certain practical challenges. The identified features relate to the material nature of this standard, as well as to the limitations imposed by the customer regarding the required level of compliance.

The methodological approach proposed by the authors consists in a comprehensive analysis of the object of standardization, which makes it possible to adapt the requirements of a NATO standard to the needs of the Armed Forces of Ukraine, taking into account regulatory, technical, and technological factors, while ensuring the required level of compliance with the standard.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ВЕДЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ, ХІМІЧНОЇ РОЗВІДКИ

Г.А. Матвеев; Р.В. Казмірчук, к.військ.н., с.н.с.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Доцільність використання БПЛА з метою ведення повітряної РХ розвідки, моніторингу та контролю сьогодні не викликає сумнівів у розробників систем моніторингу. Це обумовлено наявністю типових умов проведення моніторингу в яких БПЛА забезпечують необхідні тактико-технічні вимоги.

Типовими обставинами виникнення таких умов є: 1) необхідність забезпечення безпеки особового складу при проведенні моніторингу з гранично малих висот та швидкостей польоту, в умовах складного рельєфу або при недостатності інформації про характеристики місцевості, в умовах ведення бойових дій тощо; 2) більша економічна ефективність при виконанні окремих завдань моніторингу. При чому номенклатура типів таких завдань постійно підвищується; 3) низькі, порівняно з пілотованими технічними засобами, експлуатаційні витрати; 4) технічна та тактична спрощеність вирішення цілої низки завдань моніторингу; 5) у ряді випадків виконання завдання моніторингу можливо лише за умови використання БПЛА. Наприклад, при виникненні необхідності проходження первинних хмар розповсюдження небезпечних отруйних речовин та виконання робіт у зонах з високими значеннями потужностей експозиційної дози. Технічні засоби ведення повітряної радіаційної, хімічної розвідки на БПЛА мають забезпечувати максимально широкий діапазон вимірювання (виявлення) на різних висотах польоту з одночасно мінімальними масогабаритними характеристиками та енергоспоживанням.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ НАЗЕМНИХ ДРОНІВ В ІНЖЕНЕРНІЙ РОЗВІДЦІ

О.В. Ємельянов, Ph.D.; Т.Д. Погребняк

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

З поширенням безпілотних технологій на сучасному полі бою, інженерна розвідка зазнала кардинальних змін. Застосування наземних роботизованих платформ значно підвищило безпеку саперів, адже ці системи, обладнані мультисенсорними компонентами, можуть збирати та аналізувати дані про ворожі позиції та місцевість, не наражаючи людей на небезпеку.

Вони можуть виконувати багато функцій, але ми розглянемо одну із них, а саме створення деталізованих тривимірних моделей місцевості за допомогою лідарів (LiDAR) та високоточних камер. Лідар – це технологія дистанційного зондування, яка використовує лазерні імпульси для точного вимірювання відстані до об'єктів. В результаті сканування формується так звана “хмара точок”, що є основою для майбутньої 3D-моделі. Існують різні методи збору даних залежно від масштабу і точності проекту: авіаційне лазерне сканування за допомогою літаків, гелікоптерів або дронів (БПЛА), оснащених лідарними сканерами, для зйомки великих територій; наземне лазерне сканування стаціонарними сканерами на штативах, застосовуються для отримання високоточних моделей конкретних об'єктів або невеликих ділянок та мобільне

лазерне сканування сканерами, встановленими на транспортних засобах (автомобілі, рюкзаки) для швидкого збору даних з високою точністю.

Український досвід підтверджує, що наземні роботи, що постійно вдосконалюються, рятують життя та дають перевагу на полі бою, замінюючи людей у найнебезпечніших ситуаціях. Модернізація інженерних військ полягає в активному впровадженні робототехніки, яка зможе автономно виконувати завдання в екстремальних ситуаціях.

БІОГІБРИДНІ ДРОНИ – НОВІТНИЙ НАПРЯМОК ВИЯВЛЕННЯ ХІМІЧНИХ ЗАГРОЗ

Р.В. Казмірчук, к.військ.н., с.н.с.; Г.А. Матвеев

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

У світі, де хімічні загрози стають дедалі витонченішими виникає потреба у новому поколінні засобів виявлення. Одним із найсучасніших рішень є біогібридні безпілотники, пристрої, що поєднують біологічну чутливість із точністю роботизованих систем.

Ці дрони здатні виявляти широкий спектр небезпечних речовин, завдяки природним сенсорам, таким як антени комах або модифіковані білки. Біоелементи реагують на молекули в повітрі, а електроніка перетворює ці сигнали на дані для аналізу, забезпечуючи точність навіть у складних умовах довкілля.

Прикладом є японська розробка біогібридного дрона, оснащеного справжніми антенами шовкопрядів. У поєднанні з алгоритмами навігації, дрон здатен рухатися за запахом, що відкриває нові можливості для виявлення джерел хімічної небезпеки. У 2025 році в Японії протестували біогібридний дрон, який виявив сліди аміаку в концентрації 0,1 ppm, еквівалент однієї краплі на басейн. Це вже не концепція, а впроваджена технологія, що проходить випробування в реальних умовах.

Біогібридні дрони – це не просто технічна інновація, а новий етап у розвитку систем безпеки. Їхня здатність “відчувати” небезпеку на молекулярному рівні дозволяє оперативно реагувати на загрози, зберігаючи життя людей. У цьому контексті “нюх війни” – не метафора, а реальність, де дрон із біологічним сенсором стає першим, хто “чує” загрозу ще до того, як її побачить людина.

ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ РОЗВІДКИ МІСЦЕВОСТІ ТА ВИЯВЛЕННЯ ІНЖЕНЕРНИХ ОБ’ЄКТІВ ПРОТИВНИКА

Б.В. Демченко; Ю.К. Новосьолов, к.пед.н.;

Р.Р. Шикун; Б.О. Стреляний

*Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”*

Сучасні бойові дії характеризуються високою динамікою та необхідністю оперативного отримання достовірної інформації про місцевість і дії противника. Одним із найбільш ефективних засобів повітряної розвідки є безпілотні літальні апарати, які забезпечують швидке отримання актуальних

просторових даних, їх обробку та використання в інтересах прийняття рішень органами військового управління.

Основним методом отримання розвідувальної інформації є аерофотозйомка за плановими маршрутами польоту з нормативним перекриттям знімків, що створює умови для подальшої фотограмметричної обробки. На основі отриманих матеріалів формуються ортофотоплани місцевості, щільні хмари точок та цифрові моделі рельєфу, які дозволяють визначати висотні характеристики місцевості, ухили, природні та штучні перешкоди, оцінювати прохідність території, а також обґрунтовувати вибір позицій підрозділів і маршрутів їх переміщення.

Важливим напрямом застосування БПЛА є виявлення інженерних споруд противника. Аналіз аерофотознімків і тривимірних моделей місцевості дозволяє ідентифікувати траншейні системи, бліндажі, укриття, позиції вогневих засобів, а також ознаки інженерного обладнання позицій.

До демаскувальних ознак належать порушення природної структури ґрунту, регулярність геометричних форм, зміни текстури поверхні, тіньові ефекти та сліди руху техніки. Порівняння матеріалів спостереження у часі підвищує ймовірність виявлення нових позицій та інженерних робіт.

Підвищення ефективності розвідки досягається за рахунок використання тепловізійних та мультиспектральних сенсорів. Тепловізійні системи забезпечують виявлення живої сили, працюючої техніки та місць нещодавнього інженерного втручання незалежно від умов освітлення. Мультиспектральні сенсори дозволяють аналізувати спектральні характеристики поверхні, що підвищує ймовірність виявлення замаскованих об'єктів та змін рослинного покриву.

Таким чином, комплексне застосування БПЛА, фотограмметричних методів обробки та багатоспектрального дистанційного зондування формує ефективну систему отримання розвідувальної інформації, що сприяє підвищенню обґрунтованості рішень командирів, скороченню часу оцінки обстановки та підвищенню ефективності застосування сил і засобів розвідки у сучасних умовах ведення бойових дій.

АНАЛІЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОЛАЗНИХ АПАРАТІВ

К.Г. Борисюк; В.В. Гейко; О.В. Акімова, к.ю.н.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Нормативно-правове та методичне забезпечення експериментального оцінювання характеристик водолазних апаратів (ВА) для пошуково-рятувальних робіт в Збройних Силах України та державній авіації.

Потреба в удосконаленні методичного апарату є актуальною через відсутність уніфікованих процедур експериментального визначення ВА та потребує створення єдиного методичного підходу, адаптованого до стандартів країн-членів НАТО.

Систематизовано перелік чинних стандартів НАТО, що застосовуються в оборонній сфері. Регламентовано порядок виконання водолазних робіт, вимоги до підготовки ВА, безпеки та технічного забезпечення пошуково-рятувальних

робіт, що є основою для формування професійної компетентності водолазів-підривників і водолазів-рятувальників.

Розглянуто особливості адаптації національної системи випробувань озброєння та військової техніки до вимог Альянсу, акцентовано увагу на модернізації випробувальної інфраструктури та гармонізації нормативної бази.

Проаналізовано загальні підходи до інтеграції стандартів НАТО у Збройних Силах України, виокремлено напрями розвитку військової стандартизації та підкреслено важливість міжвідомчої взаємодії в умовах євроатлантичної інтеграції.

Визначено технічні параметри, які підлягають контролю під час експлуатації ВА, а також регламентовано порядок проведення технічного обслуговування та періодичних перевірок його справності.

УЧАСТЬ МОРСЬКИХ БЕЗЕКІПАЖНИХ КОМПЛЕКСІВ У ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ

*Л.М. Синицький; Г.М. Гапоненко; Б.С. Григорян
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Під час ведення бойових дій повітряних суден над морською акваторією існує ймовірність їх втрати та катапультивання пілота (екіпажу) на воду. У таких умовах пошуково-рятувальне забезпечення (далі – ПРЗ) Повітряних Сил потребує швидкого реагування, високої точності пошуку пілота (екіпажу) та мінімізації ризиків для рятувальних підрозділів. Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності ПРЗ є використання морських безекіпажних апаратів (далі – МБеА) які є складовою морських безекіпажних комплексів.

МБеА здатні виконувати широкий спектр завдань у системі ПРЗ Повітряних Сил. До основних функцій належать: оперативний пошук місця падіння повітряного судна або катапультивання льотчика; виявлення та ідентифікація потерпілих за допомогою оптико-електронних засобів, тепловізійних систем і радіолокаційних сенсорів; ретрансляція сигналів аварійних радіомаяків; забезпечення зв'язку з постраждалими; доставка рятувальних засобів (надувні плоти, жилети, аптечки, засоби зв'язку); моніторинг обстановки та передача даних у режимі реального часу до пунктів управління. МБеА підвищеної вантажопідйомності можуть також забезпечувати евакуацію постраждалих із водної поверхні.

МБеА мають значний потенціал для підвищення ефективності пошуково-рятувального забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розроблення концепції застосування, уніфікацію технічних рішень та створення міжвидової системи взаємодії.

СПЕЦІАЛІЗОВАНА ІНЖЕНЕРНА РОЗВІДКА МІННИХ ЗАГОРОДЖЕНЬ У ХОДІ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

*Р.П. Кравчук; В.В. Іваничко
Військова частина А4983*

Проведення пошуково-рятувальних операцій (ПРЗ) у районах активних бойових дій супроводжується ризиком зіткнення рятувальних груп із мінно-вибуховими загородженнями, зокрема встановленими дистанційно.

Інженерна розвідка в інтересах ПРЗ має бути максимально швидкою та безпечною, що досягається шляхом широкого впровадження безпілотних систем. БпЛА, оснащені високочутливими магнітометрами та камерами з мультиспектральним аналізом, здатні виявляти як металеві міни, так і пластикові боєприпаси на поверхні ґрунту.

Використання таких дронів дозволяє групі ПРЗ отримати “карту безпечних проходів” ще до входу в район пошуку льотчика. Крім того, інженерна розвідка з повітря дозволяє виявити дистанційно встановлені протитанкові та протипіхотні міни, які ворог часто розкидає навколо місця падіння літака для унеможливлення евакуації екіпажу.

Важливою технологічною перевагою є можливість передачі координат виявлених загроз безпосередньо в систему ситуаційної обізнаності (наприклад, Delta), що дозволяє рятувальникам коригувати маршрут у реальному часі.

Інтеграція засобів безпілотної інженерної розвідки в алгоритми дій груп ПРЗ значно підвищує шанси на успіх місії та мінімізує втрати серед фахівців рятувальних служб, забезпечуючи швидкий та безпечний доступ до особового складу, що потребує допомоги.

СЕКЦІЯ 14

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ ТО РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТБЫ

Керівники секції: полковник Марков О.С.;
д.т.н. проф. прац. ЗС України Сотніков О.М.
Секретар секції: підполковник Порохончук О.М.

DEFINITION OF BASIC REQUIREMENTS FOR THE ELECTROMAGNETIC WARFARE SYSTEM OF THE AIR FORCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE FOR THE PROTECTION OF STATE OBJECTS

I. Pavlenko¹; O. Markov²;

V. Lupandin³, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

*¹Main Directorate of Electronic and Cyber Warfare
of the Armed Forces of Ukraine;*

*²Electronic and Cyber Warfare Directorate of the Air Force Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

³Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The high intensity of air attack weapons (AAW) usage during the Russian-Ukrainian war, characterized by their high technological level and saturation with electronic equipment, necessitates a revision of approaches to the development of the Air Force's (AF) electromagnetic warfare (EMW) system. This system is considered an integral component of the airspace security and air defense framework for critical state infrastructure. The research findings suggest that the AF EMW system should comprise four subsystems: management, electromagnetic attack, electromagnetic protection, and electromagnetic (electronic) support. The effective operation of this system involves performing several key tasks, including reducing the efficiency of enemy AAW through electromagnetic impact on navigation guidance systems, control and data links, and satellite communication channels. Furthermore, it involves creating a distorted navigation field within the operational electromagnetic environment and generating artificial regions of increased ionization in the atmosphere. The system also seeks to prevent enemy technical and aerial visual reconnaissance conducted via unmanned aerial vehicles.

the primary requirements for the AF EMW system regarding the protection of state objects are defined as follows:

expansion of EMW capabilities across all domains of the multi-domain operational environment, including land, sea, air, and space.

Comprehensive and coordinated application of diverse EMW assets with various basing modes within the multi-domain environment.

Systemic integration of EMW forces, kinetic fire, and cyber warfare tools under a unified operational concept. Simultaneous impact on enemy electronic systems at both energetic and informational levels. Conducting electromagnetic attacks across a wide range of the electromagnetic spectrum.

Utilization of nature-like technologies and physical mechanisms to ensure effective absorption, reflection, and distortion of the electromagnetic environment, as well as the development of new protection methods based on these principles.

SYNTHESIS OF A SYSTEM FOR FORMING A DECISION FUNCTION BY A COMBINED NAVIGATION SYSTEM WITH RESTRICTIONS ON INFORMATIVE SIGNS

*O. Sotnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
R. Sydorenko¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Ye. Karmannyi¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Tiurina¹, Ph.D.; A. Lupandin²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²V.N. Karazin Kharkiv National University

A solution to the problem of synthesis of a decision function in a combined correlation-extreme navigation system with a deficit of informative features is proposed. Forecasting of navigation errors at the moments of loss of informativeness of the main channels of the combined system is proposed to be carried out using neural network synthesis under the assumption that compensation for the lack of data from one channel occurs at the expense of another, and the formation of the decision function occurs in real time taking into account the speed of the UAV and the computing capabilities of the on-board computer. The maximum value of the cross-correlation coefficient is chosen as the criterion of the decision function. When the cross-correlation coefficient is below the selected threshold, the threshold is dynamically adapted by switching to neural network forecasting. The logic of the transition between the deterministic calculation of the cross-correlation coefficient and the predictive neural network model based on the analysis of the signal/noise ratio of the correlation analysis field has been developed. To predict the coordinates of the UAV at the moments of the deficit of informative features, neural network extrapolation of the flight trajectory is carried out. Real-time optimization for calculating the cross-correlation coefficient is carried out using fast Fourier transform algorithms, which allows maintaining the required navigation data update frequency with limited resources of the on-board computer. Neural network correction eliminates geometric and background-target distortions of the current image, and ensures the steepness of the main maximum of the cross-correlation coefficient.

CONCEPT OF PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES AND WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT FROM AUTONOMOUS HIGH-PRECISION AIR ATTACK MEANS

*O. Sotnikov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. Bespalko; O. Kolomiitsev*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A multi-level concept of protection of critical infrastructure facilities and weapons and military equipment from enemy air attack means (AAM) has been developed. The concept is adapted to modern threats, in particular autonomous high-precision weapons equipped with artificial intelligence and machine vision. According to the developed concept, the last stage (the boundary of direct protection) consists in creating conditions for disruption of the functioning of guidance systems (GS) and homing in different wavelength ranges and using different physical fields. This stage is the last and most responsible, at which it is necessary to ensure the formation of a multimodal decision function (DF), which will not allow correction of the flight trajectory of AAM.

The informative features (invariants) used by GS to form current images and DF have been analyzed. The ways of software distortion have been determined. The mathematical relationship between the probability of localization of GS of the reference object (target) and the characteristics of DF have been established. Analytical relations have been obtained for the asymptotic assessment of the probability of localization of objects that are numerically related to the DF parameters. The necessary changes in image invariants, at which GS loses its functionality, were estimated. The research was performed in the MATLAB software environment using images taken from Google Earth.

PROTECTION OF OBJECTS FROM AIR ATTACK WEAPONS BY FORMING A DISTORTED NAVIGATION FIELD

V. Lupandin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

H. Mehelbei, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

D. Berdochnyk, PhD; O. Bepalko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of repelling the armed aggression of the Russian Federation involves the massive use of high-precision air attack weapons (AAW) equipped with combined guidance systems based on Global Navigation Satellite Systems (GNSS). Traditional electronic suppression methods, which rely on the energetic signal blocking, require the creation of interference zones spanning hundreds of kilometers. Such requirements present a significant challenge when protecting objects located in border regions. The study justifies an approach to object protection by forming a distorted navigation field (spoofing) to impact the AAW guidance systems. A stochastic model and protection method have been developed to allow the injection of false coordinates into the navigation computer of a GNSS receiver. Unlike energetic blocking, the proposed method operates at the informational level by deploying simulative interference. These interferences are identical in characteristics to authentic GNSS signals but contain specifically distorted coordinates. The information-energetic protection model has been improved to be stochastic, accounting for changes in the radio wave propagation environment at both the energetic and informational levels. The results obtained provide a foundation for developing advanced electronic warfare systems capable of countering high-speed AAW with inertial-satellite correction.

VARIATION OF ACCEPTABLE INFORMATION SIGNS TO BE USED BY TECHNICAL SAW SYSTEMS WHEN NAVIGATING MOBILE ROBOTS

O. Sotnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; O. Bepalko¹;

O. Kolomiitsev¹; Yu. Samsonov², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Academy of the National Guard of Ukraine

Determining the permissible limits of distortion of information features (IF) used in the navigation of autonomous mobile robots (MRs) equipped with a machine vision system (MVS) is a critically important task. This is due, on the one hand, to the need to ensure high-precision MRs performance in the minds of the background-

target environment, and, on the other hand, in times of need to solve the problem of protecting the MRs, the need the importance of minds, in the face of such miscalculation it will be impossible. The totality of IF and its occurrence as a result of stochastic factors in flow, as well as other methods and approaches to determining acceptable inter-conversion IF, have been analyzed.

Based on the international approach, an analytical connection has been established between the indicator of the effectiveness of MRs and the consistency of the localization of the binding object (BO) in the image. The validity of the value of the characteristics of the virtual function (VF) with the ongoing significance of the relationship with acceptable changes in IS has been determined. Abstraction of analytical relations for an asymptotic assessment of the reliability of object localization, which is numerically related to the VF parameters. Acceptable changes to the image have been assessed, in which case the TVS preserves efficiency. The tracking was compiled in a MATLAB software environment with selected images taken from Google Earth. It is shown that acceptable changes, considerations, laziness, for example, the linear flow behind the indicator of changes in the BO area, are within (10...15) % of their target areas, depending on the type of sighting surface.

COMPARATIVE ANALYSIS OF AEROBALLISTIC CHARACTERISTICS OF CRUISE MISSILES WITH TRADITIONAL AND PROSPECTIVE FUSE FORMS

*Y. Ahafonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Borysenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; V. Tishkin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ways for further development of long-range cruise missiles, which are built on the basis of the use of the latest technologies in the direction of modeling the conditions of combat use in order to improve the effectiveness of this weapon and reduce the cost of performing typical combat missions.

A methodology for assessing aerodynamic characteristics has been developed and adapted to a certain range of tasks, namely: calculating the aerodynamic characteristics of different variants of aircraft designs similar in application. For this analysis, a methodology for calculating aerodynamic characteristics based on the finite element method has been proposed. Comparative calculations of aerodynamic characteristics allowed us to conclude that it is possible to use cruise missiles, the fuselage designs of which differ from those that are widely used at the moment. Possible types of hull forms of cruise missiles for deterrence forces were substantiated, based on the experience of combat operations and achievements in the field of modeling the process of movement along given trajectories of certain products for a comparative analysis of their flight characteristics. The task was set to manufacture a significant number of missile weapons, organize their storage, maintenance and simultaneous use of such weapons while ensuring minimal costs for the entire group, which would ensure high combat effectiveness with a minimum number of personnel involved. This can improve certain important operational characteristics without deteriorating flight and technical characteristics.

EVALUATION OF THE PREDICTED PROBABILITY OF PROTECTING OBJECTS AND MILITARY EQUIPMENT BY ELECTRONIC WARFARE MEANS UNDER CONDITIONS OF A PRIORI TARGET UNCERTAINTY

*V. Lupandin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
H. Mehelbei, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
Ye. Karmannyi, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The large-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine is characterized by the massive use of high-precision air attack weapons (AAW), the majority of which utilize combined guidance systems based on Global Navigation Satellite Systems (GNSS). In dynamic combat conditions, the lack of a priori information regarding specific objects chosen as targets by the enemy is a critical problem. This condition makes it impossible to use traditional performance evaluation methods based on the analysis of the object's state before and after a strike. This study substantiates a methodological approach for evaluating the effectiveness of electronic warfare (EW) means based on a predicted probability of electronic suppression. This integral indicator is defined as the product of three probabilistic components: the presence and timely functioning of EW assets in the strike area, the technical capability to impact the guidance system of a specific AAW type, and the probability of a munition deviating from the target by a distance exceeding three circular error probables. The proposed methodology does not require a complex mathematical apparatus. Consequently, it allows EW command units to rapidly assess the results of enemy strikes and make informed decisions to optimize the composition of forces and means for protecting critical infrastructure.

MODELING THE OPERATION OF VISUAL NAVIGATION SYSTEMS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES USING SIFT AND ORB ALGORITHMS

*O. Hrichaniuk, Candidate of Technical Sciences;
A. Avilov; S. Artiunov; M. Kapashyn
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of repelling armed aggression by the Russian Federation, it is extremely important to equip unmanned aerial vehicles (UAVs) with modern visual navigation systems that are resistant to radio interference. Such systems determine the coordinates of UAVs by comparing current images of the Earth's surface obtained during flight with pre-prepared reference images of ground landmarks whose coordinates are known.

Unlike traditional visual navigation systems that use correlation image processing, modern systems compare images by searching for scale-invariant image features and matching corresponding important points. Modern visual navigation systems are much more resistant to image scale changes and rotations.

The report presents the results of modeling the operation of visual navigation systems that use Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) and Oriented FAST and Rotated BRIEF (ORB) algorithms. High-resolution satellite images of the Earth's surface, differing in time and shooting conditions, were used to form current and reference images. During the modeling, the quality of navigation systems was evaluated in the presence of rotations and scale changes in current images.

The reliability of navigation systems was also evaluated when the UAV was located above different types of Earth's surface.

As a result of the modeling, it was concluded that the ORB algorithm has an advantage in terms of speed. The limitations within which such systems can operate were also identified, and recommendations were made for the practical application of UAV visual navigation systems using SIFT and ORB algorithms.

IMPROVEMENT OF THE INFORMATION SUPPORT SYSTEM FOR THE ACTIONS OF THE AIR FORCE RADIO ELECTRONIC WARFARE UNITS

A. Adamenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

O. Porokhonchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The growth of types, manufacturability and combat survivability of enemy unmanned air attack vehicles, the constant improvement of methods of their combat use substantiates the relevance of the problem of ensuring that the Air Force of the Armed Forces of Ukraine effectively counters their use with the existing arsenal of weapons and military equipment, in particular, electronic warfare equipment.

The report analyzes the information support system for countering enemy unmanned aerial vehicles by electronic warfare units of the Air Force and substantiates the relevance of the scientific and technical task of improving it.

This task can be solved by integrating disparate means and systems for obtaining and processing relevant information about the use of enemy unmanned air attack vehicles within the framework of an automated air situational awareness system, as well as by promptly providing relevant information directly to the workplaces of combat control operators using electronic warfare means.

This is possible by improving the methods and means of using existing information and communication systems in the Armed Forces of Ukraine and appropriate special software.

Variants of improved schemes for building information networks with their use for electronic warfare units of the Air Force are proposed, taking into account possible tasks regarding their combat use, composition, and equipment.

The feasibility of limited information coupling of the air situational awareness system with information systems of existing and promising electronic warfare means using the electronic communication network of the Armed Forces of Ukraine is substantiated.

THE METHODOLOGY FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF COUNTERMEASURES AGAINST FPV UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH FIBER-OPTIC CONTROL CHANNELS

O. Musienko, Candidate of Technical Sciences; O. Kolomiitsev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of development of unmanned aircraft systems is characterized by the widespread use of FPV-UAVs with a fiber-optic control channel, which ensures their high noise immunity and practical insensitivity to electronic warfare. As a result, the effectiveness of traditional electronic warfare methods is

significantly reduced, and the emphasis of countermeasures is shifted to the plane of engineering, organizational and procedural measures, which requires a revision of approaches to assessing the effectiveness of the protection of objects and units.

Analysis of combat experience shows that the decisive factors for successful countermeasures are timely threat detection and minimizing response time. A methodology for phased assessment of the effectiveness of FPV-UAVs countermeasures is proposed, which involves the formation of typical threat scenarios, the implementation of a set of survivability enhancement measures, and a comparative assessment of the results before and after their implementation.

The assessment is carried out using the response time Tr , the probability of attack failure Ps and the survivability coefficient of the object Kj . The integral indicator is determined by the function $E = f(Tr, Ps, Kj)$, where a decrease in Tr and an increase in Ps and Kj indicate an increase in the level of protection. The method can be used both in scientific research and when planning practical protection measures.

COUNTERACTING ELECTROMAGNETIC WARFARE IN THE GROUP USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

*A. Avilov; S. Artiunov; M. Kapashyn;
O. Hrichaniuk, Candidate of Technical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The group use of unmanned aerial vehicles increases the effectiveness of reconnaissance and target engagement, but at the same time increases the radio-electronic visibility of the system. In conditions of active use of electromagnetic warfare (EW) means, the stability of the UAV group becomes a key factor in the performance of combat missions.

Resilience is increased by transitioning to a distributed control structure. The use of network topology, local decision-making, and automatic task redistribution allows for maintaining operability in the event of partial loss of communication. The functional division of aircraft (reconnaissance, relay, strike elements) further increases survivability.

Radio engineering measures include adaptive frequency tuning, transmitter power control, the use of directional antennas, and reduction of transmission time. Event-driven data exchange instead of continuous telemetry reduces the likelihood of direction finding.

Resistance to navigation jamming is ensured by inertial systems, visual position correction, and relative navigation between devices. Behavioral adaptation—switching to autonomous mode and temporary radio silence—allows the task to continue when the radio situation deteriorates.

Thus, the key conditions for countering EW are decentralized control, reduced radio emissions, and increased autonomy of the UAV group.

CONCEPT AND POTENTIAL OF KINETIC WEAPONS SYSTEMS

*M. Popov, Ph.D.; O. Porokhonchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Kinetic weaponry represents an innovative type of armament that outperforms traditional artillery systems relying on chemical explosive energy in many respects. The primary advantages of such systems include the elimination of the need for

propellant charges, a significant reduction in the cost per launch, and an extended firing range.

The principle of operation is based on the mechanical destruction of a target due to the colossal velocity of the striking element (be it a metal rod, bullet, or projectile). In effect, the destructive force is provided solely by the kinetic energy of the solid body. Depending on specific characteristics, these systems can be utilized for both high-precision destruction of single objects and the neutralization of group targets.

The employment of kinetic strike assets offers several strategic advantages:

- high penetration capability (the projectile can strike even heavily fortified underground structures and bunkers);
- enhanced safety and environmental friendliness (there are no risks of accidental projectile detonation during storage or transportation);
- mass optimization (the absence of a warhead reduces the initial launch weight of the projectile);
- difficulty of interception (high velocities make these projectiles extremely hard to counter);
- economic efficiency (for example, in electromagnetic railguns, the cost per shot is minimal because the projectile is a simple metal slug rather than a complex guided device filled with explosives).

Despite the obvious benefits, there are limiting factors: the significant dimensions of power systems, the heavy weight of the installations, and the high cost of research and development.

IDENTIFICATION OF TARGETS IN MILITARY OPERATIONS BY A DECENTRALIZED UNMANNED AIR VEHICLES GROUP

A. Avilov; S. Artiunov; M. Kapashyn;

O. Hrichaniuk, Candidate of Technical Sciences

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern military operations require a high level of responsiveness and adaptability, making decentralized groups of unmanned aerial vehicles (UAVs) a promising technology. Such groups function on the basis of collective behavior, where each UAV agent acts autonomously but within the framework of a common task. This is achieved through the use of artificial intelligence (AI) and machine learning, which allow real-time data analysis and decision-making without centralized control. The absence of a single center makes the system resistant to communication jamming or the destruction of individual elements, which is especially important in conditions of active countermeasures.

For target detection tasks, each UAV agent in the group is equipped with optical, infrared, and radar sensors that collect information about the terrain and objects. The data obtained is analyzed using computer vision and AI algorithms, which allows targets to be identified, classified, and prioritized for engagement. Coordination within the group is ensured through the exchange of information between UAV agents, which increases the accuracy and speed of task execution.

Decentralized UAV groups are a new dimension in military operations, combining speed and accuracy. Thanks to their autonomy, collective interaction, and use of artificial intelligence, they are capable of effectively detecting and engaging targets in modern conflicts. The future of military operations lies in intelligent systems capable of acting quickly and adaptively, providing an advantage on the battlefield.

ON THE ISSUE OF PROVIDING COVER FOR COMBAT FORMATIONS AGAINST THE IMPACT OF ENEMY UNMANNED SYSTEMS

*V. Borodavka¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Ushan¹, Candidate of Technical Sciences; S. Artiunov²; M. Kapashyn²*

*¹Military Institute of Tank Troops of the National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Under modern conditions of combat operations conducted by combined-arms units (subunits), one of the key elements of combat support is protection against reconnaissance and strike unmanned aerial systems of tactical and operational-tactical levels, as well as the coverage of logistical routes and combat formations of individual combined-arms units (short-range air defense). One of the methods of countering enemy unmanned aerial vehicles (UAVs) is the use of FPV quadcopters of the classical configuration (capable of flight speeds up to 200 km/h) and rocket-type configurations (capable of flight speeds up to 450 km/h). Considering that the enemy continuously monitors the battlefield and actively searches for UAV crew positions, ensuring the survivability of UAV operators on the battlefield becomes a critical issue.

The use of digital communication technologies (Starlink, LTE, mesh networks) together with elements of artificial intelligence systems enables stable remote control of both unmanned ground vehicles (UGVs) and interceptor UAVs. The integrated employment of several different types of unmanned systems facilitates the transition to network-centric warfare principles at the tactical level, which, in turn, imposes higher requirements on the tactical training level of unit commanders.

Thus, the development of unmanned systems represents a factor that transforms all aspects of military affairs and contributes to strengthening national defense capabilities while preserving personnel lives.

WAYS OF REDUCING THE EFFICIENCY OF THE AIR ATTACK GUARDING SYSTEMS OF THE ADVERSARY USING RADIO ELECTRONIC WARFARE

O. Porokhonchuk¹; N. Popova¹; A. Shulezhko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification*

The main feature of the Russian-Ukrainian war is the complex use by the enemy of high-precision weapons (HPW) against ground civilian and military objects on the territory of Ukraine.

An analysis of the existing guidance systems of HPW of the Russian Federation, which are used to destroy ground objects on the territory of Ukraine, was carried out: the guidance system of guided (corrected) aerial bombs, where the principle of operation of the unified planning and correction module is analyzed; combined cruise and ballistic missile guidance systems Kh-101, Kh-55/555, Kh-22/32, “Kalibr”, “Iskander” and “Kinjal”; unmanned aerial vehicles “Shahed-136/131” (“Geran-2”); anti-aircraft guided missiles. An assessment of the possibility of suppressing specified means of enemy air attack by means of electronic

warfare (EW) by degrees of vulnerability is provided: with high (guided (corrected) aerial bombs, unmanned aerial vehicles “Shahed-136/131”) and partial (cruise/ballistic missiles). The most likely methods of targeting the enemy’s HPW and methods of countermeasures by means of EW have been determined.

It is emphasized that EW means are an effective tool for countering Russian HPW. It is emphasized that the creation of dense EW “domes” for suppression and spoofing is a priority for the protection of critical infrastructure facilities and troops, especially against the massive use of guided (corrected) aerial bombs and kamikaze drones. At the same time, it is indicated that anti-aircraft missile systems are only an element of complex anti-aircraft defense against complex cruise missile guidance systems.

INCREASING THE CONTRAST OF OBJECTS OF INTEREST IN OPTICAL-ELECTRONIC IMAGES FROM SURVEILLANCE UNMANNED AIRCRAFT

A. Hurin¹, Ph.D.; A. Ponomar¹; Y. Borovenskyi¹; F. Ahmad²

¹*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;*

²*Kharkiv National University of Radio Electronics*

The report considers a method for increasing the contrast of mines (objects of interest) based on the use of spectral features of differences from the surrounding background, which adds additional capabilities for performing the task of searching for mines in the absence of a magnetometer (metal detector) or with unsatisfactory efficiency of its use. A feature of the method is the calculation of the vector of the hardware function, the scalar product of which with the brightness vectors of each image element provides: a decrease in the brightness of image elements, the spectral characteristics of which correspond to the spectral properties of the background; an increase in the brightness of image elements, the spectral characteristics of which correspond to the spectral properties of the object of interest (mine).

A mathematical model has been developed and computer simulation of increasing the contrast of objects of interest by spectral features in optoelectronic images from reconnaissance unmanned aerial vehicles has been conducted. It has been proven that the use of the developed mathematical model allows to significantly (more than an order of magnitude) increase the contrast value of the image of the object of interest in optoelectronic images from reconnaissance unmanned aerial vehicles.

USE OF SURROGATE DATA IN THE INTERESTS OF SOLVING THE PROBLEMS OF DETECTION, IDENTIFICATION AND TRACKING OF AIR ATTACK MEANS

O. Kolomiitsev; O. Bespalko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Methods and means of detection, identification and tracking of air attack means are analyzed. It is determined that the current trend is to develop the integration of existing methods and approaches and the use of surrogate and synthetic data, which allows to increase the adaptability of reconnaissance systems to new types of threats (kamikaze drones, cruise missiles) and the detection of camouflaged objects at different times of the day.

Types of surrogate data that can be used in reconnaissance and target tracking systems, such as visual, radar and trajectory and signal, and the method of their generation are analyzed. Their comparison is carried out.

Simulation of synthetic images of various samples of equipment in the optical range, as well as simulation of reflected radio signals, is performed.

It is established that the use of surrogate and synthetic data allows to achieve an accuracy of identification of equipment samples of more than 90 % in conditions when real data is practically absent and there is no extraneous noise.

The tracking process of low-visibility objects was also simulated. For the purpose of the study, data were generated for multispectral analysis (effective scattering area (ESA)), thermal footprint in the infrared range by simulating the temperature contrast between the aircraft skin and rarefied air at high altitudes, as well as synthetic shadows.

It was found that in the absence of noise, the tracking accuracy can exceed 98% for targets with an ESA of less than 0.01 m².

JUSTIFICATION OF OPERATIONAL AND STRATEGIC REQUIREMENTS FOR THE AIR DEFENSE INTELLIGENCE SYSTEM

*M. Oleshchuk, Candidate of Technical Sciences
National Defense University of Ukraine*

An analysis of modern enemy air attack means was conducted. The trends in their development and tactics of application were determined. Modern methods of detecting, identifying and tracking enemy air attack means were analyzed, as well as the main characteristics and capabilities of the automated air defense control system, methods of processing and combining data used to form target designations for fire weapons.

Ways of building an enemy air intelligence system in the interests of air defense and missile defense were formulated, which are determined by the following strategic directions:

- transition to a network-centric architecture;
- implementation of a multi-level sensor system; intellectualization of data processing processes;
- integration of missile defense means into the general intelligence system.

Operational and strategic requirements for a promising enemy air intelligence system were substantiated, which primarily include:

- globality and continuity;
- survivability and noise immunity;
- efficiency (timeliness);
- reliability and accuracy;
- integration.

The ways of implementing these requirements when building an intelligence system are determined, which will allow not only to detect threats, but also to anticipate the enemy's actions:

- echelonization;
- control automation;
- multispectral;
- mobility;
- network-centricity.

АНТЕНА З КЕРОВАНОЮ ДІАГРАМОЮ СПРЯМОВАНOSTІ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗАХИЩЕНИХ СИСТЕМ ВИСОКОТОЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

А.А. Засядько¹, д.т.н., проф.; О.В. Юла¹; І.А. Нос², к.т.н.

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Особливе місце в дослідженнях займають антени з керованою діаграмою спрямованості прийому (CRPA). Корекція діаграми спрямованості у напрямку джерел завад дозволяє суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум на вході приймача. При цьому CRPA розглядаються не лише як засіб подавлення широкосмугових завад, а і як інструмент просторової селекції сигналів. Для високоточного позиціонування виникає проблема метрологічної достовірності фазових спостережень: просторові фільтри CRPA можуть змінювати фазу сигналу так, що фазові виміри вже не відповідають уточненим навігаційним даним, отриманим по даним технології високоточного позиціонування RTK. Тому CRPA є ефективною доти, доки її адаптивна корекція не починає вносити неконтрольовані диференційні фазові зсуви, що погіршують навігаційне рішення. Цей ефект можна віднести до індукованої фазової похибки: під час застосування сліпого просторового фільтрування у фазових вимірюваннях опорної фази спостерігається внесення додаткових, некерованих комплексних зсувів у вимірювальний тракт.

Отже, для систем геодезичної прив'язки, куди інтегрується CRPA як елемент завадостійкого позиціонування, CRPA не можна оцінювати лише у категорії підсилення сигналу, її слід оцінювати у категорії збереження фазових або часових налаштувань певної точності. Тому засоби протидії завадам CRPA не мають спотворювати засоби отримання навігаційних даних.

ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ПРИВ'ЯЗКИ МАЛОГАБАРИТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ

А.А. Засядько¹, д.т.н., проф.; В.В. Стригун¹; Р.Д. Барвінок¹; В.С. Чорний²

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Для геодезичної прив'язки малогабаритних радіолокаційних станцій (МРЛС) використовуються захищені системи позиціонування. Відомо, що похибка у визначенні координат і орієнтації МРЛС безпосередньо трансформується в похибку визначення координат цілі. Навігаційний вузол для геодезичної прив'язки МРЛС має забезпечувати не лише точність, а й відтворюваність орієнтації та прозорість бюджетів похибок. Паралельно потрібен контроль достовірності вхідних навігаційних параметрів: якщо просторові координати підмінені спуфінгом або “попливли” під завадами, МРЛС може продовжувати вимірювання, але геодезична прив'язка стане хибною без очевидних симптомів. Тому до складу МРЛС доцільно додати антену з керованою діаграмою спрямованості прийому (Controlled Reception Pattern Antenna, CRPA). У контексті МРЛС CRPA доцільно розглядати не як

“радарний” елемент, а як елемент завадостійкого GNSS-вузла (підсистема просторового позиціонування, навігації, синхронізації часу), який часто інтегрується в один комплекс із МРЛС для забезпечення стабільної часової шкали, підтримання позиціонування (орієнтації) МРЛС-поста без втрати працездатності при перешкодах.

Отже, якщо МРЛС - комплекс потребує точної геоприв'язки, то додана CRPA до складу навігаційної підсистеми має бути також сумісною з засобами високоточного позиціонування за фазовими критеріями.

МЕТОД ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БПЛА, ЩО ОСНАЩЕНІ КОРЕЛЯЦІО-ЕКСТРЕМАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ НАВІГАЦІЇ, В УМОВАХ ДІЇ ЗАСОБІВ РЕБ ТА ППО ПРОТИВНИКА НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Я.М. Кожушко¹, к.т.н., ст.д.; В.М. Биков³, д.т.н., проф.;

О.М. Грічанюк², к.т.н.; О.С. Калмиков³; Д.А. Спірін¹

*¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба;

³Харківський національний університет радіоелектроніки

Сучасний досвід ведення бойових дій висуває зростаючі вимоги до навігаційних систем безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які можуть зазнавати втрати точності внаслідок постановки перешкод або інших обмежень прийому навігаційного сигналу, рішенням чого може бути застосування на борту БПЛА кореляційно-екстремальних систем навігації (КЕСН). Планування одночасного застосування великої кількості таких БПЛА, особливо при польотах на дальні відстані та множинними групами, вимагає вибору великої кількості районів прив'язки, в яких забезпечується максимальна (необхідна) ймовірність місцевизначення БПЛА, при обов'язковому врахуванні можливого впливу ППО та РЕБ противника, який в загальному вигляді на мапі місцевості можна представити як радіус або сектор вогневого (радіоелектронного) впливу відносно розвіданої (виявленої задалегідь) точки їх стояння. Тобто, задача вибору маршрутів польоту БПЛА, що оснащені КЕСН, в умовах дії засобів РЕБ та ППО противника зводиться до пошуку оптимального маршруту в умовах багатовимірного пошуку. Наразі для вирішення подібних завдань широко використовуються мурашині алгоритми, генетичні алгоритми, бджолині алгоритми, алгоритм пригаючих жаб, тощо. Аналіз вказаних алгоритмів показав, що застосування генетичного алгоритму під час побудови маршруту польоту ЛА у вказаних умовах є більш прийнятним та ефективним тоді, коли простір пошуку великий і складний, а цільова функція може бути багатовимірною, та може знаходити оптимальні маршрути обльоту району дії РЕБ та ППО противника або визначати, які саме варіанти із множини маршрутів польоту БПЛА є найбільш критичними для виявлення слабких місць при їх плануванні. Під час руху БПЛА за обрахованими маршрутами, при виявленні РЕБ та ППО противника, що не були враховані під час попередніх розрахунків, з метою підвищення ймовірності виконання БПЛА поставленої задачі доцільно проводити повторне її вирішення із подальшою корекцією маршрутів БПЛА під час польоту.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

В.В. Литовченко¹; В.В. Братко¹; М.Ю. Гусак¹, к.т.н.; Р.В. Древенчук²

¹Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Методологічною основою експериментальних досліджень рухомих об'єктів виступають приймачі глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), які за функціональними можливостями класифікуються на одноконстеляційні та мультисистемні. На відміну від вищевказаних, багатоконстеляційні системи дозволяють мінімізувати ризики втрати сигналу, оптимізувати геометрію супутникового сузір'я та суттєво підвищити коефіцієнт доступності навігаційного сервісу. Для досягнення заданих показників достовірності використовуються системи функціонального доповнення у виді мереж наземних станцій та геостационарних супутників. Поеднання ГНСС з інерціальними навігаційними системами (ІНС) дозволяє формувати робастне навігаційне рішення, стійке до короткострокової деградації супутникового сигналу. ІНС забезпечує безперервну генерацію параметрів вектору стану (курсу, кутових швидкостей, лінійних прискорень, тощо), нівелюючи розриви в даних ГНСС та виконуючи функцію короткочасного еталона. Зазначена інтеграція є критично важливою при проведенні високодинамічних випробувань, де ключовими параметрами оцінки виступають латентність та стабільність обчислювальних алгоритмів. Узагальнена архітектура такого типу є базовим компонентом сучасних PNT (ПНТ) – комплексів (Positioning – Позиція; Navigation – Навігація; Timing – Таймінг;), що позиціонуються як референтні вимірювальні системи в процесі випробувань.

ENHANCING RECONNAISSANCE EFFECTIVENESS VIA GIS-INTEGRATED UAV SENSING AND MACHINE LEARNING

V.A. Jahangirov¹; S.M. Babayev¹; E.G. Hashimov^{1,2}

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

This study investigates an integrated Geographic Information Systems (GIS) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) approach for efficient detection and localization of surface and shallow subsurface objects in complex operational environments. The core premise is that UAVs act as mobile, low altitude data acquisition platforms that deliver high spatial and temporal resolution imagery, while GIS provides a robust analytical environment for spatial data management, multi-source fusion, and decision-oriented visualization. By combining these capabilities, the proposed framework aims to improve object detectability under camouflage, clutter, partial occlusion, and heterogeneous terrain conditions where traditional observation and single sensor workflows are often insufficient.

The methodology is organized as a modular processing chain. UAV missions are planned to ensure adequate ground sampling distance, overlap, and georeferencing quality, enabling the generation of orthomosaics and elevation products suitable for spatial analysis. Data streams may include true color orthophotos, multispectral

imagery, and thermal imagery, selected according to the expected object signatures and environmental constraints. UAV outputs are then ingested into a GIS environment to construct topographic models, perform change detection across time stamped acquisitions, and produce anomaly maps that highlight deviations in terrain texture, vegetation indices, and thermal patterns. Feature engineering is implemented through spatial filters and contextual operators such as edge and texture measures, neighborhood statistics, slope and aspect derivatives, and multi scale segmentation. For automated detection, machine learning classifiers are applied to the engineered feature stack to discriminate suspicious patterns from background variability. Training and validation are executed using labeled samples derived from controlled test areas and expert annotation, with performance assessed by standard detection metrics including precision, recall, and localization error, as well as operational metrics such as processing time and analyst workload.

Results indicate that embedding UAV derived products within a GIS based analytical workflow increases operational awareness and improves detection reliability compared with nonintegrated processing. Orthophotos support fine scale visual confirmation and geometric measurement, multispectral layers enhance discrimination of vegetation and soil disturbances, and thermal layers contribute complementary evidence under specific diurnal conditions and concealment scenarios. GIS based change detection and anomaly mapping reduce the search space by prioritizing regions of interest, while machine learning based classification further refines candidate targets and supports repeatable decision rules. The integrated framework also reduces time to detection by streamlining data preparation and enabling rapid iteration between automated outputs and analyst review.

The proposed integration has strong applicability in military reconnaissance and surveillance, border security monitoring, and disaster response operations requiring rapid mapping of hazardous or critical objects. Limitations include sensitivity to georeferencing errors, variable illumination and weather conditions, and the need for representative training data when machine learning is used. Future work should extend the approach toward multi-UAV coordination, uncertainty quantification in anomaly scores, and robust generalization across seasons and terrain types, while improving resilience to deception and adversarial concealment.

References

1. Dergachov, K. et.al. Adaptive algorithm for visual positioning of UAVs in the local environment. / CEUR Workshop Proceedings. 2025. Vol.3981. P.103-114.
2. Hasanov A.H. et al. Hybrid GIS-UAV framework for revealing concealed objects in mountainous landscapes. *In* Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2025, Volume 4: sections 6. p. 60.
3. Hashimov E. G. About one method of navigation task solution // AHMC after H. Aliyev. Scientific Review. – 2013. – T. 1. – №. 20. – C. 45-49.
4. İsmayil, İsmayil et al. Optimization of composite material selection in the design of military UAV wings. *Collection of Scientific Papers "SCIENTIA"*, (October 3, 2025; Berlin), 107–115.
5. Hashimov E. G. The flight dynamics of drones //National security and military sciences. – 2016. – T. 2. – №. 3. – C. 11-16.
6. Muradov S.A. et al. Determining the location of the UAV equipped with a homing device based on radio beacons // Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference. – 2023. – №. 6. – C. 54-56.

7. Hashimov E. G. et al. About some aspects of using a flock of UAVS // Ін Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління. – 2023. – Т. 1. – С. 4-5.

8. Bayramov A. A., Hashimov E. G. Assessment of invisible areas and military objects in mountainous terrain // Defence Science Journal. – 2018. – Т. 68. – №. 4. – С. 343-346.

9. Hashimov E. G. et al. Development of the multirotor unmanned aerial vehicle // National security and military sciences. – 2017. – Т. 3. – №. 4. – С. 21-31.

10. Bayramov A. A. et al. Unmanned aerial vehicle applications for military GIS task solutions // Automated systems in the aviation and aerospace industries. – IGI Global Scientific Publishing, 2019. – С. 273-296.

11. Nasibov Y. A. et al. Modelling of the rationally deployment of observing systems // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – №. 3, № 2. – С. 10-13.

ПЕРЕДУМОВИ ПОЯВИ РОЗВІДУВАЛЬНО-ВОГНЕВИХ КОМПЛЕКСІВ

*С.М. Кірій; Д.В. Юнда; Т.П. Якименко; В.П. Годабський
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Розвідувально-вогневий комплекс (РВК) – тимчасово створене формування артилерії, яке організаційно, технічно та функціонально об'єднує засоби розвідки, управління і ураження та призначене для розвідки й ураження найбільш важливих цілей противника у найкоротші терміни.

РВК з'явився не в ХХІ сторіччі, його прообрази виникали значно раніше. Так у Першій світовій війні було застосовано систему контрбатареїної боротьби, яка об'єднала технічну розвідку, передачу даних та вогневе ураження в єдиний цикл. Ключовими елементами цієї системи були: звукометрична, візуальна розвідка та коригування з повітря.

Наприкінці війни британці відмовилися від тривалої пристрілки. Завдяки точним даним розвідки та врахуванню метеоумов, артилерія могла відкривати вогонь на ураження миттєво, не видаючи себе завчасними пострілами. Саме поєднання цих технологій створило “цикл виявлення-рішення-ураження”, який лежить в основі сучасних РВК.

У роки Другої світової війни, а потім і в конфліктах кінця ХХ сторіччя були сформовані організаційно-тактичні прототиби РВК, попри відсутність відповідного терміну та автоматизованих систем управління.

В сучасній війні, за дефіциту боєприпасів, РВК стає ключовим елементом вогневого ураження важливих об'єктів противника.

Одним з важливих та актуальних напрямків досліджень є оцінка ефективності функціонування РВК з в умовах сучасних бойових дій на основі аналізу та інтерпретації кількісних значень основних показників ефективності.

ПРОБЛЕМИ ТАКТИКИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬК І СПОСОБИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

*Я.В. Красник; Р.В. Бубеничков, д.філос.; С.Т. Ніколаєв; С.М. Кірій
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Поява і масштабне застосування нових (БпЛА, наземних роботизованих комплексів і т.п.) і модернізованих (перш за все засобів вогневого ураження) типів озброєння призвели до переходу до позиційних форм ведення бойових

дій. Аналіз ситуації, в якій перебувають сьогодні ЗС України й інші складові сил оборони держави, свідчить про те, що для переходу від позиційної форми ведення бойових дій до наступальних (контрнаступальних) дій необхідно:

- нейтралізація дій БпЛА противника (нарошування спроможностей РЕБ, ураження і подавлення роботи пунктів управління і підрозділів БпЛА противника, застосування БпЛА-винищувачів та ін.), завоювання переваги у повітрі (у застосуванні БпЛА, тактичної авіації);
- забезпечення ефективності функціонування ППО в тактичній ланці;
- підвищення ефективності контрбатареїної боротьби;
- спроможність подолання глибокошелюваної системи інженерних міно-вибухових загороджень противника;
- створення, підготовка та накопичення необхідних для наступальних дій резервів.

Поява БпЛА-винищувачів ворожих дронів, нових ефективних засобів РЕБ, ефективних недорогих комплексів ППО для боротьби з БпЛА в тактичній зоні оборони призведе до зміни тактики застосування військ, в тому числі повернення до традиційних, але більш складних форм і способів ведення бойових дій на новому рівні.

В доповіді розкриваються основні способи підготовки і проведення наступальних (контрнаступальних) бойових дій.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ БЕЗПІЛОТНИХ СИСТЕМ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ

*М.В. Баландин, д.філос.; Б.В. Білокопитов; М.П. Горбач
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Поява, поступове масування на полі бою безпілотних систем призвело до корінної зміни способів і форм ведення бойових дій. Завчасне розгортання підрозділів, рух колон, та взагалі, застосування традиційних способів ведення бойових дій стали неможливими. Будь-які дії противника виявляються завчасно та виконуються їх вогневе ураження за лічені хвилини за допомогою автоматизованих систем ситуативної обізнаності та систем управління вогнем тактичного рівня. Війна стала мережево-централізованою, основною складовою якої стали безпілотні апарати – авіаційні та наземні, розвідувальні, ударні, інженерні та логістичні. На нинішньому полі бою розвідувальні безпілотні літальні апарати стали основою розвідки та фактично перевершили використання всіх інших засобів розвідки. Ударні безпілотні системи стали основою вогневого ураження противника та перевершили показники артилерії ті інших вогневих засобів. Також, безпілотні системи використовуються для здійснення завдань логістики передових підрозділів та штурмових груп, для мінування і задимлення місцевості, евакуації поранених тощо.

Основними перспективами розвитку безпілотних систем тактичного рівня є застосування алгоритмів штучного інтелекту для автоматичного розпізнавання цілей, автономного наведення в умовах дії засобів радіоелектронної боротьби та навігації без використання системи GPS. Також, перспективним завданням розвитку безпілотних систем є їх стандартизація, тобто перехід від десятків різних видів платформ, різних типів боєприпасів до стандартизованих безпілотних систем та систем озброєння, що значно облегшить логістику та процес підготовки операторів.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕМ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ

*В.В. Вознюк; М.В. Баландін, д.філос.; О.В. Вахнін; О.В. Подлесний
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Зміна способів і форм ведення бойових дій у російсько-Українській війні, а саме, масоване застосування безпілотних систем та поява єдиної інформаційно-комунікаційної системи ситуативної обізнаності, призвела до модернізації систем управління вогнем тактичного рівня (далі СУВТР). Головним результатом даної модернізації стало зменшення часу від виявлення цілі до її ураження будь-яким засобом вогневої підтримки. На даний час, основною СУВТР є програмний комплекс “Кропива”, який використовуються як для обліку результатів розвідки, ведення цифрової карти командира, визначення установок для стрільби так і для рішення інших завдань.

Поряд з тим, дана СУВТР являю собою лише програмний продукт для проведення різноманітних розрахунків, і в цілому, дана система технічно не пов’язана з вогневими засобами та засобами підготовки стрільби і управління вогнем.

Перспективами розвитку СУВТР є подальший розвиток автоматизованих систем наведення вогневих засобів та їх інтеграція в систему управління вогнем. Також, актуальним є створення систем сенсорів і датчиків, які будуть здійснювати контроль за умовами виконання вогневих завдань (метеорологічними, балістичними тощо), точністю наведення вогневих засобів, стану вузлів і агрегатів, наявністю паливно-мастильних та експлуатаційних матеріалів.

Крім цього, слід відмітити перспективність застосування в системах управління вогнем елементів штучного інтелекту для автоматизованого розпізнавання об’єктів, оптимального вибору цілей для ураження та підтримки прийняття рішень командиром у реальному часі.

ІНТЕГРАЦІЯ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ КОМПЛЕКСІВ І ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ЯК КЛЮЧОВИЙ ФАКТОР ДОМІНУВАННЯ В ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ

*Б.О. Середюк, к.ф.-м.н., доц.
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Сучасні збройні конфлікти ХХІ століття характеризуються переходом до концепції розвідувально-ударних систем (РУС), що забезпечують повний цикл “виявлення – ідентифікація – ураження” у режимі близькому до реального часу. Особливе місце у таких системах займають безпілотні авіаційні комплекси та засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), які суттєво впливають на ефективність бойових дій у повітряному просторі. Досвід сучасних війн демонструє стрімке зростання ролі безпілотних платформ у розвідці та ураженні цілей. За оцінками військових експертів, у 2024 році до 65–75 % уражень техніки противника здійснювалися за допомогою безпілотних систем, при цьому близько 50 % припадало на FPV-дрони ударного типу. Аналогічні тенденції спостерігаються щодо втрат живої сили, де частка уражень БПЛА зросла з приблизно 20 % до понад 60 % протягом одного року бойових дій. Розрахунки показують, що використання розвідувально-ударного контуру з

часом циклу ураження цілі $T_{\text{ц}} = 2-5$ хв підвищує ймовірність успішного ураження до $P \approx 0,7-0,85$, що у 1,5–2 рази перевищує показники традиційних артилерійських засобів із циклом понад 20 хв. При цьому питомі витрати на ураження однієї цілі за допомогою БПЛА можуть бути у 10–30 разів меншими, ніж при застосуванні високоточної ракетної зброї. Засоби РЕБ відіграють ключову роль у протидії розвідувально-ударним системам противника. Реальні сценарії бойових дій свідчать, що ефективне придушення каналів управління БПЛА дозволяє знизити їх бойову ефективність на 40–80 %, залежно від типу каналу зв'язку та алгоритмів навігації.

ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНО-ВОГНЕВОГО КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЗОВАНОЇ БРИГАДИ

*Р.В. Бубеничиков, д.філос.; О.А. Полоз, д.філос.; С.А. Мартиненко; Н.Ю. Сусол
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Визначення показників а критеріїв ефективності розвідувально-вогневого комплексу (РВК) механізованої бригади доцільно здійснювати з урахуванням реальних умов бойових дій в Україні та специфіки застосування механізованих підрозділів, урахуванням положень національних керівних документів та підходів, викладених у доктринальних документах НАТО і працях вітчизняних науковців.

Отже основним показниками ефективності РВК будуть:

- ймовірність виявлення цілі є базовим інформаційним показником підсистеми розвідки РВК, оскільки саме вона визначає можливість ініціювання циклу “виявлення – рішення – ураження”;
- ймовірність своєчасної передачі даних – характеризує надійність функціонування підсистеми управління РВК в умовах вогневого та радіоелектронного впливу противника;
- ймовірність ураження цілі є основним вогневим показником ефективності РВК та відображає результативність засобів ураження;
- витрата боєприпасів на ціль є ресурсним показником ефективності РВК та відображає економічність досягнення необхідного ефекту вогневого ураження;
- час циклу “виявлення – рішення – ураження” є інтегральним часовим показником, що включає час виявлення, управління та відкриття вогню.

Визначення та інтерпретація показників і критеріїв ефективності РВК дозволить в перспективі прогнозувати ефективність функціонування РВК в різних видах бою бригади.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ

*П.В. Береза; В.С. М'ячиков; Р.О. Атамась
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Досвід ведення російсько-Української війни продемонстрував критичну потребу в зниженні втрат особового складу, підвищенні стійкості підрозділів до вогневого ураження та забезпеченні безперервності бойових дій у складних умовах насиченого мінного середовища, впливу засобів артилерійського ураження та масованого застосування безпілотних систем.

Одним із перспективних варіантів вирішення даної проблеми є застосування малогабаритних гусеничних і колісних наземних роботизованих комплексів, які використовуються для підвозу боєприпасів, евакуації поранених та дистанційного мінування, що знижує ризики для особового складу на передньому краї та під час штурмових дій.

Актуальним напрямом розвитку даних систем стає інтеграція наземних платформ у єдиний розвідувально-ударний контур разом із повітряними безпілотними системами, що забезпечує обмін даними в реальному часі, коригування вогню та координацію маневру.

Але головною тенденцією розвитку є перехід від експериментальних зразків до масового впровадження відносно простих, дешевих і функціонально спеціалізованих платформ – розвідувальних, логістичних, інженерних та ударних, досвід застосування яких підтвердив свою ефективність. Особлива увага приділяється підвищенню прохідності й автономності в умовах зруйнованої інфраструктури.

Одним із ключових векторів розвитку є забезпечення модульності конструкції – розроблення уніфікованих шасі з можливістю швидкої зміни бойових модулів, розвідувальних сенсорів або інженерного обладнання, що забезпечить адаптивність до різних типів завдань.

РОЗВИТОК СИСТЕМ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ПІД ЧАС БОЙОВИХ ДІЙ В УКРАЇНІ

Г.Г. Андерсон

Національна академія Служби безпеки України

Повномасштабні бойові дії на території України з 2022 року призвели до якісної трансформації характеру збройної боротьби. Сучасний конфлікт характеризується: масовим застосуванням безпілотних систем; високою насиченістю засобами радіозв'язку; широким використанням супутникової навігації; інтеграцією розвідувальних, ударних і комунікаційних платформ у єдині цифрові мережі.

За цих умов контроль над електромагнітним спектром став критичним фактором успіху. Радіоелектронна боротьба (далі – РЕБ) перетворилася з допоміжного виду бойового забезпечення на один із ключових інструментів оперативно-тактичної переваги.

Постійне використання безпілотних систем зумовило необхідність створення тактичних систем придушення каналів управління, глушіння відеосигналу, нейтралізації супутникової навігації, формування мобільних “радіоелектронних куполів”, що призвело до інтеграції сучасних засобів РЕБ в систему C4ISR – command, control, computers, communication, surveillance, intelligence, reconnaissance.

В короткостроковій перспективі основними напрями розвитку систем РЕБ в Україні є: тактичні системи; інтеграція з радіоелектронною розвідкою (SIGINT/ELINT); перехід від великих стаціонарних комплексів оперативного рівня до тактичних (мобільних, портативних), частотна маневреність, захист власних мереж зв'язку, енергетична ефективність та автоматизація. Довгострокова перспектива подальшого розвитку РЕБ визначатиметься швидкістю інновацій, інтеграцією зі штучним інтелектом та глибокою взаємодією з безпілотними системами.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ ТА РЕБ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ТА РОЗВИТКУ ВПК УКРАЇНИ

*Д.В. Зайцев, к.військ.н., доц.; Я.І. Мельник, к.психол.н.
Військовий інститут Київського національного університету
ім. Тараса Шевченка*

Сучасний характер збройної боротьби демонструє стрімкий перехід до мережево-центричних форм ведення війни, у яких ключову роль відіграють розвідувально-ударні системи (РУС) та засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ). Досвід російсько-української війни підтверджує, що інтеграція засобів розвідки, передачі даних та високоточних засобів ураження в єдину інформаційну систему забезпечує значне підвищення ефективності застосування військ і скорочення часу від виявлення цілі до її ураження.

Перспективи розвитку розвідувально-ударних систем.

Одним із головних напрямів розвитку сучасних збройних сил є формування інтегрованих розвідувально-ударних контурів, які поєднують безпілотні системи, засоби радіоелектронної розвідки, космічні та наземні системи спостереження, а також засоби високоточного ураження. Особливу роль у таких системах відіграють безпілотні літальні апарати різних класів – розвідувальні, ударні, баражуючі боєприпаси та безекіпажні морські й наземні платформи.

Досвід бойових дій засвідчив, що безпілотні системи стали одним із ключових елементів сучасного поля бою, забезпечуючи цілодобову розвідку, коригування артилерійського вогню та нанесення точкових ударів. Український оборонно-промисловий комплекс активно розвиває даний напрям, створюючи нові моделі дронів, автономних наземних платформ та морських безекіпажних систем. Вони вже застосовуються в бойових умовах і довели свою ефективність.

Перспективними напрямками розвитку розвідувально-ударних систем є:

- інтеграція безпілотних систем у єдині цифрові мережі управління військами;
- застосування штучного інтелекту для автоматичного розпізнавання цілей і планування ударів;
- створення автономних роїв безпілотних систем;
- розвиток високоточних далекобійних засобів ураження;
- інтеграція розвідки, управління і вогневого ураження в єдиному інформаційному просторі.

Розвиток таких систем значно скорочує цикл “виявлення – ідентифікація – ураження”, що є критично важливим у сучасних умовах високоманевреної війни.

Перспективи розвитку систем радіоелектронної боротьби

Значне поширення безпілотних систем та високоточних засобів ураження обумовило зростання ролі радіоелектронної боротьби як одного з основних елементів сучасних бойових дій. Засоби РЕБ забезпечують:

- придушення каналів управління БпЛА;
- блокування супутникової навігації;
- радіоелектронну розвідку;
- захист власних систем зв'язку та управління.

Сучасна війна характеризується інтенсивним застосуванням різних типів безпілотних літальних апаратів, що змушує сторони конфлікту активно розвивати системи РЕБ для протидії цим загрозам. Масове застосування БпЛА противником підтверджує необхідність постійного вдосконалення систем радіоелектронної боротьби та їх інтеграції з системами протиповітряної оборони.

Серед перспективних напрямів розвитку РЕБ можна виділити:

- створення мобільних та малогабаритних систем РЕБ для тактичного рівня;
- інтеграцію засобів РЕБ із системами ППО;
- застосування штучного інтелекту для аналізу електромагнітного спектра;
- розвиток засобів радіоелектронної розвідки та кіберелектронної боротьби.

У сучасних умовах РЕБ перетворюється на один із ключових інструментів боротьби за контроль електромагнітного спектра, що є необхідною умовою ефективного застосування високотехнологічних систем озброєння.

Проблемні питання розвитку військово-промислового комплексу України

Попри значні успіхи у створенні нових зразків озброєння, розвиток українського військово-промислового комплексу (ВПК) стикається з рядом системних проблем.

Однією з ключових проблем є обмеженість фінансових ресурсів. Українські підприємства оборонної промисловості мають потенціал виробляти значно більше озброєння, ніж може закупити держава за рахунок бюджетних коштів, що призводить до недозавантаження виробничих потужностей.

Серед інших проблем розвитку ВПК можна виділити:

- недостатній рівень інвестицій у науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи;
- технологічну залежність від імпортних компонентів;
- складні бюрократичні процедури державного оборонного замовлення;
- недостатню інтеграцію приватних компаній у систему оборонної промисловості;
- обмежені можливості експорту озброєння під час війни.

Державна політика у сфері оборонної промисловості спрямована на реформування сектору, підвищення ефективності взаємодії між державними замовниками та підприємствами, а також на створення сприятливих умов для розвитку інновацій та залучення інвестицій.

Висновки.

У доповіді визначено, що розвиток розвідувально-ударних систем та засобів радіоелектронної боротьби є одним із ключових напрямів модернізації Збройних Сил України. Їх ефективне застосування забезпечує підвищення точності ураження противника, скорочення часу прийняття рішень та зниження втрат особового складу.

Водночас подальший розвиток цих напрямів значною мірою залежить від можливостей національного військово-промислового комплексу, який потребує системних реформ, залучення інвестицій, розвитку інноваційних технологій та поглиблення міжнародної кооперації.

У сучасних умовах саме поєднання технологічних інновацій, ефективного управління оборонною промисловістю та інтеграції з міжнародними партнерами може забезпечити Україні стійку перевагу у сучасних та майбутніх збройних конфліктах.

ПОКРАЩЕННЯ МАНЕВРОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК БПЛА ЛІТАКОВОГО ТИПУ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЙОГО СЕРВОПРИВОДІВ

*І.А. Пількевич, д.т.н.; І.А. Омельчук
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Швидкий розвиток військових технологій створює нові реалії ведення бойових дій, та зумовлює застосування в бойовій практиці великої кількості як новітніх дистанційно керованих систем різного призначення так і систем протидії їх застосування. З урахуванням постійного розвитку технічних характеристик систем протиповітряної оборони супротивника проблема збереження літальних апаратів під час виконання завдань вимагає всебічного розгляду. У сучасних бойових умовах велике значення має швидкість зміни положення літального апарату в просторі при його маневруванні.

Метою дослідження є вдосконалення елементів сервоприводів безпілотного літального апарату літакового типу для покращення його маневреності та забезпечення живучості. Для цього запропоновано багатопозиційні поляризовані електромеханічні сервосистеми приводу рулів, з фіксованими кутами повертання рулів та можливістю швидкого повернення їх в нульове положення. Покращення маневрових характеристик пропонується забезпечити шляхом використання приводу, що містить декілька пар обмоток на нерухомому статорі, та можливість зміни полярності струму, що протікає через них. Це дасть змогу покращити його масогабаритні та динамічні параметри і виконувати швидкі коливальні рухи керуючими поверхнями для забезпечення оптимального керування літаком. Такий спосіб приводу рулів літального апарату дасть змогу в повній мірі використовувати його можливості щодо маневрування та точності позиціонування при заході на ціль.

СУМАРНО-РІЗНИЦЕВИЙ МЕТОД ПЕЛЕНГУВАННЯ ДЛЯ БЕЗПОВОРОТНОЇ АНТЕННОЇ СИСТЕМИ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

*М.В. Бугайов, к.т.н., ст.д.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для забезпечення виконання заходів електронної підтримки стимулює розроблення простих і дешевих засобів пеленгування. Серед існуючих методів пеленгування при реалізації антенної системи для розміщення на БПЛА доцільно використати амплітудний сумарно-різницевий метод. При пеленгуванні слабких сигналів оцінки напрямку на джерело радіовипромінювання (ДРВ) будуть зміщеними, особливо при значних відхиленнях від рівносигнального напрямку. Для уникнення зміщення необхідно повертати антенну систему для приймання радіосигналу за рівносигнальним напрямком. Розроблено функціональну схему двоканального амплітудного пеленгатора із використанням сумарно-різницевого алгоритму для двох антен. Показано, що при невідомих значеннях дисперсії шуму в приймальних каналах значення оцінки азимуту буде зміщеним. Дане зміщення буде збільшуватися зі зменшенням відношення

сигнал-шум в каналах та відхиленні напрямку на ДРВ від рівносигнального. Отримано вираз для оцінювання напрямку на ДРВ з компенсацією дисперсії шуму шляхом її віднімання від потужності прийнятої сигнальної суміші. Результати математичного моделювання роботи запропонованого методу показали, що компенсація дисперсії шуму забезпечує практично повну компенсацію зміщення незалежно від напрямку на ДРВ та незначне зростання помилки оцінки азимуту. Це досягається за рахунок додаткових обчислень, пов'язаних із оцінюванням дисперсії шуму в кожному з каналів. Показано, що зі збільшенням кількості спрямованих антен можна досягти зменшення як дисперсії так і зміщення оцінки напрямку на ДРВ.

МОБІЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ АДАПТИВНИХ РАДІОПЕРЕШКОД В ДІАПАЗОНАХ 433 МГц, 2,4 ГГц та 5,8 ГГц

*К.В. Сметанін, к.т.н., доц.; А.В. Нагорнюк
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Сучасна збройна боротьба в електромагнітному середовищі підтверджує ключову роль каналів управління та передачі даних, що функціонують у діапазонах 433 МГц, 2,4 ГГц і 5,8 ГГц. Ці частоти активно використовуються для дистанційного керування, телеметрії та передачі відео з безпілотних систем, що зумовлює необхідність ефективного впливу на них засобами радіоелектронної боротьби.

У роботі обґрунтовано побудову мобільного пристрою створення радіоперешкод на основі SDR із реалізацією принципів когнітивної адаптації. Передбачено спектральний моніторинг, аналіз параметрів сигналів та динамічне управління режимами формування радіоперешкод у реальному масштабі часу, що забезпечує своєчасне реагування на зміну частотної обстановки.

Запропоноване рішення поєднує мобільну апаратну платформу з алгоритмами адаптивного управління енергетичними й частотними параметрами, що підвищує ефективність подавлення при раціональному використанні ресурсу.

Таким чином, концепція мобільного адаптивного пристрою відповідає сучасним вимогам ведення радіоелектронної боротьби та забезпечує гнучке реагування на зміну електромагнітної обстановки в тактичній ланці.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ СХЕМ РОЗМІЩЕННЯ ЗАСОБІВ РАДІОПОДАВЛЕННЯ ПРИЙМАЧІВ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*О.А. Нагорнюк, к.т.н.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Постановка радіоперешкод приймачам апаратури споживачів (АС) супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) засобів повітряного нападу (ЗПН) противника є одним із можливих способів боротьби з ними. Подавлення приймачів радіосигналів СРНС ЗПН приводить до відхилення ЗПН від запрограмованого маршруту польоту, унеможливлення виходу у заданий район для пошуку і захоплення цілі та підвищення ймовірності

ураження ЗПН засобами протиповітряної оборони. Для зменшення впливу радіоперешкод в АС СРНС використовують перешкодостійкі малогабаритні адаптивні антенні решітки (МАОР) побудовані за технологією CRPA (Controlled Reception Pattern Antenna), що здійснюють просторову режекцію радіоперешкод. Постійне збільшення противником кількості елементів МАОР потребує підвищення кількості просторово рознесених передавачів перешкод (ПП) для забезпечення одночасного впливу визначеної кількості ПП на приймачі АС СРНС ЗПН на всьому маршруті його польоту.

У доповіді пропонуються: можливі схеми розміщення та математичний апарат для розрахунку відстаней між ПП з метою забезпечення заданої кратності перекриття їх зон радіоподавлення за мінімальної кількості засобів; алгоритми розрахунку кратності перекриття зон радіоподавлення ПП із круговою та секторною зоною дії; методика розрахунку схем розміщення засобів радіоподавлення приймачів АС СРНС ЗПН для створення заданої зони радіоелектронного прикриття.

Наводяться результати моделювання розміщення ПП для створення зони радіоподавлення із кратністю перекриття 8 та 16 у програмному середовищі MATLAB.

ECHELONIZED SYSTEM OF COUNTERACTION AGAINST ENEMY UACs AT THE BRIGADE LEVEL

*P. Piontkivskiy, Ph.D., Senior Researcher; R. Dzyubchuk, Ph.D., Senior Researcher
Korolov Zhytomyr Military Institute*

According to the latest estimates of military experts, up to 80–85 % of personnel casualties on the front line (on both sides) are carried out by unmanned vehicles. In addition, UACs provide situational awareness, reconnaissance and correction of artillery fire, remote mining. Therefore, the task of creating an effective system to counter enemy UACs is extremely important.

The effective use of UACs by the enemy requires the presence of an extensive infrastructure in a tactical depth of up to 30 kilometers from the front line. The essence of the solution proposed by the authors is the transition from fragmentary defeat of individual elements of the enemy's UAC infrastructure to a systematic, echeloned model of its neutralization, based on the integration of reconnaissance, electronic warfare, strike units of unmanned systems and artillery.

It is proposed to create a multi-level system for countering UACs: the first echelon is the battalion level; the second echelon is the brigade level; the third echelon is the corps level. The effectiveness of the fight is determined not by the number of hits, but by the ability to create an "information track of the target" and a closed control loop, in which intelligence from different echelons is converted into an effective fire solution in real time.

The system provides for both the destruction of control and communication facilities (antennas, repeaters, enemy launch pads using FPV-kamikaze), and the destruction of UAC operators and control points, logistics elements, shelters, which gives a more long-term result, since it destroys the tactical link of the enemy's UAC control.

The proposed model moves from responding to the consequences of the use of UACs to the systematic destruction of their management and infrastructure base. Echeloned organization, analytical integration, and continuity of influence and control allow achieving superiority on the battlefield.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОПОДАВЛЕННЯ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ІЗ СИСТЕМОЮ FPV

*С.В. Журавський; О.А. Нагорнюк, к.т.н.; П.С. Борисов, к.т.н.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Безпілотні літальні апарати з системою First Person View (FPV-БпЛА), не дивлячись на стрімкий розвиток БпЛА з каналами управління та передачі цільової інформації через оптиковолоконний кабель, все ще відіграють важливу роль на полі бою. Для зменшення ефективності впливу радіоперешкод противником постійно здійснюється розширення робочих діапазонів частот радіоканалів передачі відеозображення FPV-БпЛА. Наразі ймовірні робочі частоти передачі аналогового відеозображення знаходяться в діапазоні від 380 МГц до 7200 МГц. Для підвищення ефективності засобів радіоелектронної боротьби у такому широкому діапазоні частот потрібно сумісно використовувати просторово рознесені засоби електронної підтримки та радіоподавлення із узгодженими за часом, напрямом, частотою та структурою радіоперешкодами.

У доповіді пропонуються схема вимірювального стенду та методика проведення лабораторних досліджень впливу структури та параметрів радіоперешкод на ефективність радіоподавлення приймачів радіосигналів відеозображення FPV-БпЛА. Як показник ефективності використовується коефіцієнт подавлення.

Наводяться результати експериментальних досліджень ефективності різних типів радіоперешкод: адитивний білий гаусівський шум, радіоперешкоди з багатопозиційною фазовою маніпуляцією, гармонічне колювання, періодичні ковзні за частотою радіоперешкоди, імпульсні радіоперешкоди, радіоперешкоди узгоджені за структурою із радіосигналом.

Наводяться рекомендації щодо підвищення ефективності радіоподавлення каналів передачі відеозображення FPV-БпЛА.

РОЗРОБКА БАГАТОКАНАЛЬНОЇ КОГЕРЕНТНОЇ SDR-СИСТЕМИ З МЕТОЮ ВИЯВЛЕННЯ FPV-ДРОНІВ ЗА ЇХНІМ ВІДЕОКАНАЛОМ

*С.В. Журавський; О.В. Біховський
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

У сучасних умовах ведення радіоелектронної боротьби з БпЛА із системою FPV особливої актуальності набуває питання розширення смуги оперативного контролю електромагнітного спектра без ускладнення апаратної частини комплексів спостереження, що пов'язано із постійною зміною та збільшенням частот передавання відео з борта дрона на НПУ. Однією із систем, що може використовуватись для моніторингу електромагнітного спектру, виявлення та пеленгування FPV-дронів за їхнім відеоканалом є SDR-система на базі KrakenSDR, яка забезпечує фазово-узгоджений прийом сигналів за допомогою п'яти синхронізованих каналів, що дозволяє вирішувати задачі прийому радіосигналів та радіопеленгації. Водночас обмеження миттєвої смуги кожного приймального тракту значенням 3,2 МГц знижує ефективність виявлення та аналізу широкосмугових сигналів.

З метою підвищення можливостей з розвідки та пеленгування комплексу на базі KrakenSDR розроблено програмний модуль, який забезпечує адитивне поєднання частотних піддіапазонів п'яти приймачів у єдине широкосмугове спектральне полотно. Реалізація частотного зсуву центральних частот сусідніх каналів на 3,2 МГц дозволяє формувати суцільну смугу одночасного спостереження до 16 МГц без модернізації апаратної частини, що є критично важливим в умовах обмежених фінансових та технічних ресурсів.

Запропонована в доповіді модернізація також сприяє підвищенню ефективності систем радіомоніторингу та пеленгації в умовах складної радіоелектронної обстановки і має практичну цінність для підрозділів РЕБ, оскільки дозволяє суттєво підвищити спектральну інформативність та адаптивність комплексу без додаткових апаратних витрат.

ВИКОРИСТАННЯ ПЕРЕДАВАЧІВ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕШКОД ВИСОКОЇ ПОТУЖНОСТІ, ДЛЯ ПОДАВЛЕННЯ ПРИЙМАЧІВ СИГНАЛІВ GNSS

*О.В. Біховський; Ю.О. Смолянець; Н.С. Трегуб
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Навігаційні радіоприймачі мають системи автоматичного регулювання підсилення (АРП). Коли на радіоприймач надходить імпульсна перешкода високої потужності, система АРП миттєво знижує чутливість приймача та відновлює лише через певний час.

Якщо забезпечити період слідування імпульсів перешкоди порівняний з часом реакції та відновлення системи АРП, то навігаційний приймач “не побачить” радіосигнали навігаційних супутників, що мають низьку потужність, і буде постійно знаходитись в перехідних процесах від роботи власної системи АРП спотворюючи їх. Із технічної документації на базовий 72-канальний приймач GNSS фірми Ublox NEO-M8N, що використовується в модулі навігаційних даних та у пілотному контролері Shahed-136, також в системі навігації та позиціонування баражуючого боєприпасу Ланцет, відомо що час відновлення навігаційних даних “hot starts” становить 1 сек. Тому для успішного подавлення приймача сигналів GNSS необхідно постійно його утримувати в промені засобу РЕБ імпульсної перешкоди, для постійного накопичення помилки інерційної системи навігації. Відповідно наявних технічних звітів система CRPA Shahed-136 має 4-х елементну активну антенну. Дослідженням трофейних зразків встановлено, що кожен елемент містить керамічну антену попередній малопотужний підсилювач з своїм контуром АРП і відповідно часом реакції, та смуговий фільтр діапазону L1 сигналів GNSS.

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETECTING RECONNAISSANCE UNMANNED AERIAL VEHICLES USING ACTIVE COUNTERMEASURES AGAINST TECHNICAL INTELLIGENCE

*I. Makovskyi
Korolov Zhytomyr Military Institute*

The increasing use of reconnaissance UAVs with small radar cross-sections and low energy signatures necessitates enhanced sensitivity and interference immunity of detection systems.

Radar detection is based on the analysis of the reflected signal and the application of matched filtering, which maximizes the signal-to-noise ratio at the output. For small-sized UAVs, coherent integration and moving target indication processing are advisable, as well as spectral analysis of micro-Doppler features caused by propeller rotation.

In radio frequency monitoring, cyclostationary analysis methods are effective, since control channel signals exhibit cyclic correlation functions that enable their separation from stationary noise. To mitigate interference, adaptive LMS/RLS algorithms and space-time processing techniques are applied.

A promising direction involves multisensor integration using data fusion algorithms. UAV coordinate estimation can be performed using TDOA and AoA methods by solving systems of hyperbolic localization equations. In addition, the use of Kalman or particle filtering enables dynamic tracking of UAV trajectories under conditions of measurement uncertainty and noise. The integration of heterogeneous sensors (radar, RF, and optical channels) increases detection reliability and reduces the probability of false alarms in complex electromagnetic environments.

Thus, improving methods for detecting reconnaissance UAVs requires the integrated application of matched filtering, adaptive digital signal processing, space-time selection, and intelligent data analysis.

ПЕРСПЕКТИВНІ СИСТЕМИ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ВПЛИВУ НА КАНАЛИ УПРАВЛІННЯ ТА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ РОЗВІДУВАЛЬНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Д.С. Костерев

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Розвиток систем радіоелектронного впливу на канали управління та передачі інформації (далі – СРЕВ на КУПІ) повинні формуватися як високотехнологічні, адаптивні комплекси, здатні діяти в умовах динамічного та насиченого електромагнітного середовища. Їх ключова особливість полягає у переході від суто енергетичного подавлення до інтелектуального, селективного та мережево-центричного впливу.

В доповіді розглянуто основні шляхи розвитку існуючих СРЕВ на КУПІ:

а) інтеграція засобів впливу на канали управління та навігації. Новітні системи повинні поєднувати радіоподавлення каналів передачі даних із впливом на супутникові навігаційні сигнали (GNSS), створюючи комплексну деградацію функціонування розвідувальних безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА);

б) створення мережевих систем активних засобів протидії у яких декілька комплексів об'єднані єдиною системою управління та обміну даними. Такий підхід забезпечить просторову координацію впливу, можливість триангуляції джерел сигналу та формування зон гарантованого радіоелектронного впливу (прикриття);

в) впровадження алгоритмів машинного навчання для розпізнавання типів БпЛА за характеристиками їх радіовипромінювання та прогнозування поведінки каналів зв'язку. Це надасть змогу автоматизувати вибір оптимального режиму впливу та скоротити час реакції системи.

Таким чином, враховуючи вищезазначене подальший розвиток перспективних систем визначатиметься швидкістю обробки спектральних даних та здатністю до автономного прийняття рішень у реальному масштабі часу.

СУМІСНІСТЬ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ШТАТНИХ ЗАСОБІВ ПРОТИДІЇ ТЕХНІЧНИМ ЗАСОБАМ РОЗВІДКИ ТА РАДІОЕЛЕКТРОНОЇ БОРОДЬБИ

В.А. Рачкінда; В.В. Ворон; С.В. Буханевич

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Досвід набутий бойовими підрозділами під час (чергування за призначенням) на засобах протидії технічних розвідок противника та станціях радіоелектронної боротьби під час застосування країною-агресором безпілотних літальних апаратів по всій території України вимагає активної протидії засобам повітряної розвідки та вогневого ураження, що спонукає до постійного вдосконалення сумісності геоінформаційних систем і способів покращення взаємодії між ними.

Головним завданням геоінформаційних систем є оперативне виявлення, візуалізацію та супроводження повітряних цілей в режимі реального часу.

Одним із основних видів відображення цілей в геоінформаційних системах є точкове переміщення з неостаточним визначенням її типу на картах систем, що в свою чергу дає велику похибку точного місця знаходження цілей і суттєво зменшує як час подавлення так і ефективність роботи стаціонарних та мобільних постів подавлення безпілотних літальних апаратів.

Таким чином, для ефективного та якісного визначення та оцінювання цілей на геоінформаційних системах потрібно об'єднати систему відображення цілей шляхом інтеграції та уніфікації систем відображення і візуалізації повітряної обстановки.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В АКТИВНИХ ЗАСОБАХ ПРОТИДІЇ ТЕХНІЧНИМ РОЗВІДКАМ

В.Я. Хомчук; Ю.М. Кулініч

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Стрімкий розвиток технічних розвідок зумовлює необхідність створення інтелектуалізованих систем протидії.

Необхідність використання штучного інтелекту (далі – ШІ) в системі протидії технічним розвідкам (далі – ПДТР), обумовлена тим, що традиційні методи ПДТР базуються на статичних алгоритмах та людських ресурсах і не встигають за швидкістю роботи автоматизованих розвідувальних систем.

Основні напрямки застосування ШІ в системі ПДТР.

Автоматизоване виявлення розвідувальних засобів.

Аналіз радіочастотного спектра з використанням нейронних мереж, класифікація сигналів та типів безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА).

Обробка зображень і відеоданих.

Розпізнавання БпЛА у повітрі, аналіз теплових аномалій.

Прогнозування розвідувальної активності.

Моделювання маршрутів БпЛА, виявлення закономірностей роботи радіоелектронної розвідки, побудова сценаріїв загроз.

Інтелектуальне управління засобами протидії.

Автоматичний вибір типу перешкод, адаптивне регулювання потужності радіоелектронної боротьби, оптимізація використання ресурсів.

Переваги впровадження:

скорочення часу реагування на загрози, підвищення точності класифікації об'єктів, адаптивність до змін у спектральному та інформаційному середовищі, зменшення впливу людського фактору.

Інтеграція ІІІ в систему ПДТР є необхідною умовою її подальшого розвитку. Перспективними є напрями автоматичного виявлення, прогнозування загроз та адаптивного управління засобами протидії.

SECURING TECHNOLOGICAL EDGE THROUGH UAV-BASED DIRECTED ENERGY SYSTEMS

A. Vyntu

*Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State
Border Guard Service of Ukraine*

The modern paradigm of armed conflict is shifting toward total battlefield robotization. The proliferation of autonomous systems – from reconnaissance UAVs to ground platforms – strains conventional air defense. Traditional kinetic interception and standard electronic warfare (EW) are losing effectiveness due to economic asymmetry and the evolution of drones using AI-based autopilots or fiber-optic links immune to jamming. Consequently, developing UAVs equipped with directed-energy and high-power electromagnetic radiation systems has become a strategic priority.

The core of this “functional neutralization” concept lies in radio-frequency weapons. Unlike classical EW, which merely disrupts signals, systems utilizing relativistic magnetrons and gyrotrons produce destructive effects. Magnetrons generate ultra-high-power short pulses suitable for compact airborne platforms. Gyrotrons, leveraging cyclotron resonance maser emission, provide the frequencies necessary to penetrate shielded enclosures. These systems induce parasitic currents in semiconductor structures, causing thermal breakdown of microcircuits and systemic electronic failure without physical destruction of the target's outer shell.

Parallel to this, the integration of solid-state and fiber lasers enables near-instantaneous, high-precision engagement. By focusing coherent photon beams, these systems can disable optoelectronic sensors or degrade airframe structures at significant distances. However, implementing “airborne emitters” requires overcoming size, weight, and power constraints. This necessitates a transition to hybrid propulsion, hydrogen fuel cells, and supercapacitors for high-peak energy discharge. Ultimately, shifting from structural destruction to disabling the “electronic core” is a vital evolutionary step in achieving technological superiority in modern wars of attrition.

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ В СТІЛЕЦЬКИХ БАТАЛЬЙОНАХ

С.В. Поливаний; В.В. Чіпєра

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Відповідно до завдань, які виконує підрозділ в зоні ведення бойових дій, та інтенсивності застосування безпілотних літальних комплексів, засобів радіоелектронної розвідки (РЕР), засобів зв'язку, систем радіолокації та навігації противником, в стрілецьких батальйонах існують різні типи засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ): стаціонарні, мобільні, окопні (портативні) та індивідуальні. Дані засоби можуть застосовуватись одночасно та вибірково, як одного типу так і комбіновано. Їх призначення – прикриття особового складу, позицій, озброєння та військової техніки батальйону від ураження, та протидія засобам розвідки противника. Під час застосування цих засобів в ході ведення бойових дій виникають певні проблемні питання, такі як великі габарити та вага (впливає на доставку до місця використання, маскування засобу під час встановлення на позиції або на техніку), раціонально підібраний тип завад (недостатній вплив на засоби противника), радіоелектронна сумісність (оповіщення, управління, чітке розуміння дистанції (радіусу) дії та місця знаходження, діапазон частот), присутність особового складу біля засобу (вмикання/вимикання, обслуговування, наведення за напрямком на ціль, утримання до подавлення).

Виходячи з проблемних питань, основними напрямками розвитку засобів РЕБ є: зменшення габаритів; раціональний підібраний типу завади; розширення діапазонів частот; автоматизація; створення єдиної системи автоматизованого управління засобами РЕБ; обмін даними між системами РЕР та РЕБ з метою оперативного виявлення, оповіщення та подавлення радіоелектронних засобів противника.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ

С.І. Мільшин

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Сучасні збройні конфлікти характеризуються стрімкою цифровізацією поля бою, широким застосуванням безпілотних платформ та високоточної зброї. Розвідувально-ударні системи (далі – РУС) стають ключовим інструментом досягнення інформаційної та вогневої переваги. Досвід війни в Україні засвідчив трансформацію ролі БпЛА з допоміжного засобу розвідки у повноцінний елемент єдиної розвідувально-вогневої мережі.

РУС інтегрують засоби розвідки, передачі даних, прийняття рішення та вогневого ураження в єдиний контур управління. Якщо раніше розвідка та ураження функціонували відносно автономно, то сьогодні спостерігається перехід до мережево-центричної моделі ведення бойових дій.

Сутність сучасної РУС полягає у скороченні часу між виявленням цілі та її знищенням (sensor-to-shooter loop) до мінімально можливих показників, що підвищує оперативність і точність вогневого впливу.

Ключові тенденції розвитку РУС:

1. Інтеграція штучного інтелекту (використання алгоритмів машинного навчання для автоматичного розпізнавання цілей, класифікації об'єктів та прогнозування їх переміщення).

2. Автономізація платформ (перехід від дистанційного керування до напівавтономних і автономних режимів дії, що забезпечує стійкість до впливу РЕБ).

3. Масове застосування малих БпЛА та роїв (формування ройових структур, здатних діяти за принципом розподіленого інтелекту).

4. Запровадження єдиних стандартів обміну даними між системами (забезпечення сумісності між різними родами військ та технічними системами).

5. Розвиток засобів захисту та протидії (підвищення стійкості каналів зв'язку, шифрування, впровадження альтернативних навігаційних систем).

Технологічні напрями вдосконалення РУС:

– розвиток високоточної малогабаритної зброї;

– застосування супутникових угруповань для оперативної розвідки;

– інтеграція БпЛА у загальну систему управління військами;

– використання енергозберігаючих технологій та нових типів акумуляторів;

– кіберзахист розвідувально-інформаційних мереж.

Проте, перспективний розвиток РУС потребує:

– створення єдиних центрів обробки розвідувальної інформації;

– удосконалення підготовки операторів та дешифрувальників (аналітиків);

– нормативно-правового врегулювання застосування автономних систем;

– інтеграції військових та цивільних технологій (dual-use).

Висновки.

Перспективи розвитку РУС пов'язані з їх подальшою автоматизацією, автономізацією та інтеграцією в єдину цифрову систему управління військами. Майбутнє РУС визначатиметься швидкістю прийняття рішень, рівнем штучного інтелекту та здатністю систем діяти в умовах інформаційної та радіоелектронної боротьби. Таким чином, РУС стають основою сучасної моделі ведення бойових дій, формуючи нову парадигму воєнного мистецтва XXI століття.

ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОМОЖНОСТІ УДАРНИХ БПЛА ВИЯВЛЯТИ, РОЗПІЗНАВАТИ, ІДЕНТИФІКУВАТИ Й СУПРОВОДЖУВАТИ ЦІЛІ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ДАНИХ

*А.М. Пінчук; С.В. Алексєєв, к.т.н., с.н.с.; Л.С. Ясенко; Р.Р. Коханівський
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Виявлення, розпізнавання, ідентифікація та супроводження цілей у складних динамічних середовищах є важливими показниками ефективності сучасних БпЛА. Вивчення досвіду застосування систем розпізнавання об'єктів на основі технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту є першочерговим кроком на шляху удосконалення бортових оптико-електронних систем розпізнавання образів, що, в свою чергу, сприятиме

підвищенню ефективності знищення повітряних та наземних об'єктів противника. Існуючі та кодифіковані станом на 2026 рік модулі автоматичного донаведення на ціль використовують з метою захоплення та супроводження цілей технології комп'ютерного зору та окремі алгоритми штучного інтелекту на стадії супроводження захопленої цілі. Цей напрям є дуже актуальним та потребує подальших досліджень, а модулі автоматичного донаведення подальшого удосконалення.

В доповіді розглядається аналітичний звіт за результатами вивчення та аналізу досвіду застосування на борту розвідувальних та ударних БпЛА систем розпізнавання об'єктів на основі технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту із сформованим переліком недоліків та зауважень до систем розпізнавання об'єктів на основі зазначених технологій.

Практичне значення роботи полягає в розробці математичної моделі для оцінювання ефективності виявлення та розпізнавання об'єктів бортовими оптико-електронними системами БпЛА і її застосування для оцінювання бойової ефективності БпАК.

СИГНАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ БОРТОВОЇ РЛС ПРИ ВИЯВЛЕННІ ЦІЛІ В УМОВАХ РЕП НАЗЕМНИМИ ЗАСОБАМИ РЕБ

Л.В. Білобородова

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Для вирішення завдань обґрунтування вимог до станцій постановки перешкод бортовим радіолокаційним системам засобів повітряного нападу противника було розроблено сигнально-енергетичну модель функціонування бортової РЛС при виявленні цілі в умовах радіоелектронної протидії наземними засобами РЕБ. Модель описує функціонування бортової РЛС управління зброєю літака тактичної авіації при виявленні цілей за дальністю в умовах РЕП наземними засобами РЕБ. Система РЕБ складається з однієї наземної автоматизованої станції перешкод, яка здійснює радіоелектронне подавлення багатфункціональної бортової РЛС літака тактичної авіації.

Модель описується співвідношеннями статистичної моделі виявлення адитивної суміші корисного сигналу та перешкоди (шуму) та згортковим фільтровим алгоритмом виявлення сигналу, які дозволяють аналізувати сигнал, отриманий в результаті узгоджувальної фільтрації сигналу від цілі на фоні перешкод.

Варіювання характеристик станції перешкод дає можливість розрахувати рівень потужності перешкодового сигналу на вході бортової РЛС, обчислити зміну відношення сигнал/шум та відповідне зменшення імовірності виявлення сигналу, що еквівалентно зниженню спроможностей виявлення цілей.

Можливості станції перешкод щодо неприйнятного зменшення імовірності виявлення сигналу обумовлюють просторовий розмах зони радіоелектронного подавлення. При відомих характеристиках сигналів бортової РЛС стає можливим обґрунтовувати потрібні характеристики станції перешкод.

РОЛЬ ШИФРУВАННЯ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ОПЕРАТИВНОЇ СТІЙКОСТІ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ БпЛА В МЕРЕЖОЦЕНТРИЧНИХ ОПЕРАЦІЯХ

*В.Т. Бояров; Н.В. Лада, к.т.н., доц.; О.М. Чередніков, к.т.н., доц.
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Стрімке поширення безпілотних авіаційних комплексів (БпЛА) трансформувало характер сучасних бойових дій, змістивши акцент з платформицентричних моделей до інформаційно-мережових архітектур. БпЛА стали основними носіями сенсорної інформації, ретрансляторами зв'язку та інструментами високоточного ураження. У таких умовах ефективність їх застосування безпосередньо залежить від надійності систем C2 (Command and Control) і ISR (Intelligence, Surveillance, Reconnaissance), а також від здатності інформаційно-комунікаційної інфраструктури протистояти радіоелектронним і кібернетичним впливам. Саме тому інтеграція SAS (Satellite Access System / Secure Access System) та SET-шифрування набуває визначального значення для забезпечення оперативної стійкості угруповання, що активно використовує БпЛА.

БпЛА функціонують як елементи розподіленої сенсорної мережі, генеруючи значні обсяги відео-, радіолокаційних і телеметричних даних у режимі реального часу. Передача цієї інформації до центрів обробки та прийняття рішень вимагає стійких каналів зв'язку, особливо в умовах динамічного маневру та відсутності гарантованої наземної інфраструктури.

У контексті ISR SET-шифрування забезпечує достовірність розвідувальних даних, отриманих від БпЛА. В умовах інформаційної війни противник може намагатися маніпулювати потоками даних або вводити хибні сигнали. Таким чином, криптографічний захист стає основою довіри до результатів розвідки та мінімізує ризик прийняття помилкових рішень.

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗОНИ РЕП ПРИЙМАЧІВ СРНС ЗПН У ЗАДАЧАХ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ

*С.О. Галкин, к.т.н., доц.; Л.М. Германенко, к.е.н., доц.;
Д.А. Іванов; Ю.М. Живець
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Для захисту від ворожих засобів повітряного нападу (ЗПН), що в умовах російсько-української війни становлять значну загрозу по всій території країни, розробляються різноманітні засоби та заходи протидії. Точність влучання ЗПН залежить від часу його перебування в умовах впливу перешкод, зокрема, радіоелектронного подавлення (РЕП) приймачів супутникових радіонавігаційних систем (СРНС), що унеможливує корекцію бортових інерційних навігаційних систем. Це, своєю чергою, викликає необхідність обґрунтування зони РЕП.

Оцінка ймовірності виводу з ладу об'єкта, що захищається від ЗПН, здійснюється відповідно до теорії дослідження операцій та класичної теорії стрільби. У межах запропонованої методики ЗПН розглядаються як уражаючі елементи дистанційної дії з нормальним (гаусівським) законом розсіювання точок падіння у площині земної поверхні. Отримано аналітичну залежність

координатного закону ураження, яка описує взаємодію пари “ЗПН – об’єкт, що захищається” та використовується для розрахунку ймовірності ураження.

Запропонована методика, з одного боку, забезпечує кількісну оцінку ймовірності ураження наземного об’єкта ЗПН в умовах РЕП приймачів СРНС, а з іншого – дозволяє обґрунтовувати вимоги до параметрів і просторових характеристик заходів подавлення приймачів СРНС з метою гарантованого обмеження ймовірності ураження об’єкта заданим рівнем.

Отримані результати можуть бути використані як методична основа для окремих модулів інформаційно-розрахункових систем планування та оцінки ефективності заходів і засобів РЕБ.

ГЕНЕРАТОР ШИРОКОСМУГОВОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ПРИСКОРЮВАЧА ЕЛЕКТРОНІВ ПРЯМОЇ ДІЇ З ПЛАЗМОВИМ КОМУТАТОРОМ СТРУМУ

Д.В. Вінніков, к.т.н.; О.В. Мануйленко, к.ф.-м.н., с.н.с.;

І.М. Оніщенко, д.ф.-м.н., проф.

Національний науковий центр “Харківський фізико-технічний інститут”

Малогабаритний прискорювач електронів ДІН-2К з індуктивним накопичувачем енергії та плазмовим комутатором струму є перспективним дослідним зразком для одержання електромагнітного випромінювання в діапазоні частот від 100 МГц до 6 ГГц. Під час проведення експериментальних та теоретичних досліджень визначені необхідні умови для одержання віртуального катоду, що є джерелом електромагнітного випромінювання. Забезпечено низку технічних рішень, щодо геометрії вакуумного діоду та плазмових гармат, що дозволило збільшити амплітудні значення індукованої напруги та струму пучка. Здійснено модернізацію системи вакуумування. Апробовано практичні принципи збільшення швидкості розмикання комутатора струму. Оцінена енергія пучка після низки вдосконалень склала близько 400 кеВ. Потенційна потужність випромінювання становить близько 400 МВт.

Розроблено принципи вимірювання потужності електромагнітного випромінювання у частотних діапазонах від 2,1 до 6 ГГц за допомогою високочутливого датчика потужності. Розроблено методику усунення перешкод та виділення корисних сигналів. На основі одержаних даних у доповіді наведені рекомендації, щодо перспектив розвитку прискорювача в якості пристрою для забезпечення радіоелектронної боротьби та пригнічення.

Устаткування подібного класу потенційно може бути використано для мобільного захисту об’єктів критичної інфраструктури.

РЕР–РЕБ–ВОГНЕВЕ УРАЖЕННЯ ЯК ЄДИНА БОЙОВА СИСТЕМА

Н.О. Олійник; Л.М. Германенко, к.е.н., доц.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Інтеграція засобів радіоелектронної розвідки (РЕР), радіоелектронної боротьби (РЕБ) та вогневих засобів є ключовим чинником досягнення переваги у сучасних бойових діях. В умовах високої насиченості поля бою

засобами зв'язку, БПЛА, автоматизованими системами управління та високоточною зброєю вирішальним стає не окремий зразок озброєння, а швидкість реалізації циклу “виявлення – рішення – ураження”.

РЕР в якості первинного сенсора забезпечує виявлення, пеленгацію та ідентифікацію джерел радіовипромінювання противника, зокрема засобів зв'язку, управління та каналів керування БПЛА. Отримані дані формують картину радіоелектронної обстановки та передаються до автоматизованих систем управління. Засоби РЕБ здійснюють активний вплив на систему управління противника шляхом подавлення каналів зв'язку, навігації та управління, що дезорганізує бойові дії та створює сприятливі умови для вогневого ураження. Вогневі засоби є завершальним елементом інтегрованої системи, реалізуючи принцип “sensor-to-shooter” та мінімізуючи час між виявленням цілі та її ураженням. Ключовою умовою ефективної інтеграції є максимальна автоматизація процесів обробки даних і розподілу цілей, що зменшує вплив людського фактору та скорочує час прийняття рішень. Водночас зростають вимоги до кіберзахисту, стійкості мереж та кваліфікації персоналу.

Таким чином, інтеграція РЕР, РЕБ і вогневих засобів забезпечує скорочення часу реагування, підвищення точності ураження та ефективності застосування сил. Подальший розвиток пов'язаний з автоматизацією, цифровізацією та впровадженням інтелектуальних методів обробки інформації.

ФОРМУВАННЯ ІМІТАЦІЙНИХ ЗАВАД OFDMA РАДІОЛІНІЯМ ЗВ'ЯЗКУ БПЛА

*В.М. Канцедал, к.т.н., с.н.с.; А.А. Могила, к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Постановка наземним комплексом РЕП імітаційних завад спрямована на внесення хибної інформації в управління роботою OFDMA радіоліній БПЛА для зриву їх цільового завдання або припинення польоту шляхом: маскування під роботу стандартної радіолінії; дезорганізації процедур синхронізації за часом та частотою; маніпуляції оцінкою каналу; прихованого захоплення ресурсних одиниць та ресурсів управління.

Основою формування імітаційних завад є апіорні знання про генерацію структури сигналів, протокольних повідомлень, способів та логіки їх обробки в OFDMA радіолініях зв'язку БПЛА, а також уточнення засобами розвідки поточних параметрів кадрів передачі та протоколу інформаційного обміну. При цьому використовується поєднання радіотехнічного сигнального та системно-інформаційного підходів до придушення радіоліній та дезінформації БПЛА.

Генерація видів імітаційних завад передбачає послідовне і узгоджене в кадрах OFDMA передач і протоколу комбінування прицільної шумової енергетичної завади та імітаційного сигналу з хибними параметрами на фізичному рівні (L1), створення колізій на каналному рівні (L2) і впровадження хибної інформації на мережевому рівні (L3) протоколу.

Різноманітність впливів комбінацій завад, що формуються, залежить також від уразливостей радіоліній зв'язку одиночного БПЛА, скоординованої групи

або рою БПЛА на характерних ділянках маршруту (збір, навігація, атака) їхнього керованого польоту та тактики застосування.

Виділено тактичні, технічні, методичні особливості, а також певні умови застосування деяких видів імітаційних завад.

ТАКТИЧНА ПЕРЕВАГА В КОЖНІЙ КІМНАТІ: ЗАСТОСУВАННЯ МІКРО-БПЛА В БОЮ

*В.В. Салогор; В.О. Іваненко; І.А. Шеремет; Ю.М. Дегтярьов
Навчально-науковий випробувальний полігон
високотехнологічного озброєння та військової техніки*

У сучасних бойових умовах, особливо під час ведення вуличних боїв і штурмових операцій у щільній міській забудові, набуває особливого значення використання мікро-БПЛА для ведення розвідки у середині приміщень. Ці апарати дозволяють підрозділам виявляти противника в укриттях, за барикадами, у кімнатах, коридорах та інших ізольованих просторах без безпосереднього ризику для особового складу.

Мікро-БПЛА, як правило, мають компактні розміри, невелику масу (зазвичай до 50 г), а також захисні елементи навколо лопатей, що унеможливує пошкодження пропелерів при дотику до стін, меблів або інших перешкод у закритому просторі. Вони оснащуються камерою з передачею відеосигналу в реальному часі, що дозволяє оператору дистанційно оцінити обстановку у приміщенні до входу групи зачистки.

Основні технічні характеристики мікро-БПЛА обумовлені їх розмірами: час автономного польоту зазвичай не перевищує від 3 хв до 4 хв, а дальність ефективної дії (особливо в умовах багатошарових стін або перешкод) обмежена – до 500 м у закритих приміщеннях. При цьому важливою перевагою є висока маневреність та здатність діяти в умовах обмеженого простору.

У деяких зразках реалізована можливість інфрачервоної зйомки, що дозволяє фіксувати теплові сигнатури живої сили противника навіть у темряві або за умов недостатньої освітленості. Також ведуться розробки з інтеграції штучного інтелекту для автоматичного розпізнавання силуетів, пересувань і навіть зброї у кадрі.

Враховуючи зростаючу потребу в подібних платформах, на території України вже налагоджено виробництво низки моделей мікро-БПЛА, у тому числі на базі 3D-друку, із можливістю оснащення додатковими сенсорами, ліхтарями, тепловізорами тощо.

ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПІДРОЗДІЛІВ ВІД УДАРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРОТИВНИКА

*В.В. Варава
Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії*

Аналіз досвіду ведення бойових дій Сил оборони України у війні з російською федерацією свідчить про те, що противник активно застосовує ударні БПЛА для знищення засобів вогневого ураження Сил оборони України,

особливо артилерійських систем. Зазначений факт вимагає проведення заходів, направлених на підвищення живучості артилерійських підрозділів від ударних БпЛА противника.

Основними заходами повинні бути:

- радіоелектронне подавлення каналів радіозв'язку та радіонавігації за допомогою комплексів (станцій) радіоелектронної боротьби;
- надсилання хибних сигналів (спуфінг) до системи керування;
- виведення БпЛА з ладу шляхом застосування лазерного чи мікрохвильового випромінювання.

Більш простими, але не менш дієвими заходами, є:

- встановлення захисних екранів (решіток, сіток) на зразки озброєння;
- обладнання районів зосередження, вичікування та ВП захисними сітками тощо.

Крім цього, для протидії ударним БпЛА противника на ВП, у районах зосередження та вичікування необхідно призначати мобільні вогневі групи. До складу мобільних вогневих груп доцільно призначати особовий склад, навчений веденню боротьби з ударними БпЛА. Крім цього, доцільно виставляти засоби РЕБ.

Комплексне виконання зазначених заходів сприятиме підвищенню живучості артилерійських підрозділів, що у свою чергу призведе до підвищення ефективності їх застосування.

РОЛЬ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ У СКЛАДІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ

Ю.Л. Вода

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

В артилерії Збройних Сил України розвідувально-вогневі системи у вигляді розвідувально-вогневих комплексів (далі – РВК) створюються з метою інтеграції засобів розвідки, управління та ураження для максимально швидкого виявлення, розпізнавання та знищення важливих об'єктів противника у режимі реального часу. Комплекс забезпечує точність і високу ефективність ураження, незалежно від умов. До складу РВК включаються артилерійські підрозділи, підрозділи (комплекси) артилерійської розвідки (АР), як правило, радіолокаційні, безпілотні авіаційні комплекси (БпАК). Необхідною умовою якісного функціонування РВК є наявність автоматизованої системи управління (АСУ).

Безпілотні авіаційні комплекси у РВК забезпечують безперервну розвідку, цілевказання в реальному часі та безпосереднє ураження цілей, об'єднуючи розвідку та засоби ураження в єдиний контур. Вони підвищують ефективність артилерії, виявляють об'єкти противника та забезпечують їх ураження.

Отже, до основних функцій БпАК у складі РВК відносяться:

- виявлення та розпізнавання об'єктів;
- цілевказання та обслуговування стрільби;
- оцінювання результатів ураження.

Таким чином, РВК створюються для того, щоб перетворити розвідувальні дані на своєчасний та точний вогонь, знищуючи противника ще до того, як він змінить позицію.

Перевагами включення БпАК до складу РВК є:

- скорочення часу від виявлення до ураження цілі;
- підвищення безпеки основних сил, дозволяючи вести розвідку без ризику для особового складу;
- ефективність в умовах впливу РЕБ.

АКТУАЛЬНІСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ АРТИЛЕРІЇ ТА БПЛА ЯК РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНОЇ СИСТЕМИ

С.В. Лаврик

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Досвід, набутий силами оборони України під час відсічі збройної агресії РФ, свідчить про значне зростання високомобільних цілей на полі бою, що обумовлює необхідність пошуку шляхів забезпечення ефективності ураження вказаних об'єктів противника.

Високомобільними цілями є нерухомі неброньовані, легкоброньовані та броньовані об'єкти, які під час вогневого впливу на них здатні швидко змінити своє місцезнаходження.

Враховуючи характер вказаних цілей, основними чинниками, які впливають на ефективність вогню під час їх ураження, є раптовість та точність вогню.

Виходячи з аналізу бойового досвіду в умовах обмеженої кількості вогневих засобів та боєприпасів, а також активної протидії противника під час ураження високомобільних цілей, дієвим способом досягнення ефективності вогню є комплексне застосування артилерії, ударних та розвідувальних БПЛА як єдиного розвідувально-ударного комплексу.

Аktуальність застосування вказаної перспективної розвідувально-ударної системи полягає у:

- скороченні часу від виявлення цілі до її ураження;
- підвищенні раптовості та точності ураження цілі, а також щільності вогню;
- стійкості до засобів протидії противника, у тому числі застосування ППО та РЕБ;
- зниженні маневрених можливостей цілі;
- скороченні витрат бойових ресурсів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАГАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ КОНТРБАТАРЕЙНОЇ БОРОТЬБИ

С.В. Логвіненко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Аналіз досвіду ведення бойових дій у ході російсько-української війни свідчить про те, що противник постійно намагається завдати втрат артилерії наших військ практично по всій лінії бойового зіткнення.

Важливою складовою збройної боротьби з артилерійськими підрозділами та засобами, які забезпечують виконання ними завдань, є організація та планування контрбатареїної боротьби.

Планування контрбатареїної боротьби має включати:

а) визначення загальних завдань контрбатареїної боротьби в операції (бою), а також під час виконання підрозділами часткових оперативних (тактичних) завдань відповідно до обраного варіанту вогневого впливу;

б) визначення загального обсягу завдань вогневого впливу по артилерійським підрозділам та засобам, які забезпечують виконання ними завдань в операції (бою);

в) визначення важливих (критичних) об'єктів противника;

г) визначення можливостей підпорядкованих сил і засобів щодо ведення контрбатареїної боротьби;

д) визначення необхідної кількості засобів радіоелектронної боротьби, ракет та боєприпасів, у тому числі високоточних, для виконання завдань, їх витрати та необхідного обсягу їх резерву;

е) доведення до виконавців основних завдань з ураження противника та завдань із забезпечення безпеки наших підрозділів;

ж) визначення порядку управління, взаємодії та основних заходів забезпечення дій підпорядкованих сил і засобів;

и) відпрацювання відповідних планувальних та директивних документів.

Отже, ефективність ведення вогню в умовах сучасної війни визначається, насамперед, якістю планування, чіткістю управління та узгодженістю дій усіх її складових. Лише комплексний і системний підхід забезпечує своєчасне ураження противника та досягнення необхідного бойового результату.

НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ РОЗВІДУВАЛЬНИХ БЕЗПЛОТНИКІВ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ БОЙОВИХ ОПЕРАЦІЙ

Ю.М. Майборода

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Як показує досвід ведення бойових дій у війні із російською федерацією, одним із основних шляхів вирішення проблеми надання повної, достовірної та своєчасної інформації про об'єкти (цілі), які можуть бути призначені для ураження, вважається оснащення воюючих сторін розвідувальними БПЛА, які б за своїми можливостями були спроможні вирішувати завдання повітряної розвідки в інтересах різних родів військ.

Проведений аналіз свідчить про те, що основними напрямками підвищення бойових якостей всіх без винятку розвідувальних БПЛА є:

- збільшення тривалості польоту;
- покращення завадозахищеності (захисту від засобів РЕБ);
- збільшення співвідношення маси цільового навантаження до злітної маси;
- розвиток нових способів розвідки за різними фізичними ознаками об'єктів (магнітометричними, акустичними і т.п.);
- створення і широке застосування БПЛА вертикального зльоту та посадки;
- забезпечення можливості встановлення широкого спектру розвідувальної та іншої апаратури в модульному конструктивному виконанні;
- оснащення захищеною цифровою системою дистанційного керування;
- автоматизація процесів виведення БПЛА в район розвідки та повернення на базу в разі втрати керування;
- значне зниження помітності в широкому діапазоні довжини електромагнітних хвиль.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОЇ РОЗВІДКИ, ЯК ОДИН З ПРІОРИТЕТІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ (РОЗВІДУВАЛЬНО-ВОГНЕВИХ) КОМПЛЕКСІВ (СИСТЕМ)

О.В. Майстренко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Аналіз досвіду ведення бойових дій під час відбиття повномасштабного вторгнення РФ показав необхідність розвитку засобів розвідки для створення розвідувально-ударних (розвідувально-вогневих) комплексів (систем). Практика показує, що одним із найбільш затребуваних збройними силами засобів розвідки є повітряна розвідка.

Збройні сили України отримують на озброєння сучасні засоби повітряної розвідки (БпАК) з різними ТТХ. Досвід ведення бойових дій з відбиття повномасштабного вторгнення РФ дозволив виявити ряд суттєвих недоліків цих засобів, які впливають на своєчасність отримання розвідувальних даних і своєчасне та ефективне виконання завдань з ураження виявлених цілей. В основному це: обмежений час перебування БпЛА в режимі ведення розвідки; недостатня якість оптичних приладів; відсутність камер нічного бачення або необхідність їх переустановлення в ручному режимі; недостатня захищеність засобів зв'язку та управління БпЛА від засобів РЕБ противника. Також до недоліків сучасних засобів повітряної розвідки можна віднести їх недостатнє комплексування з іншими засобами розвідки та управління боєм загальновійськових підрозділів.

Шляхами вирішення цих проблем є оснащення артилерійських підрозділів більш сучасними засобами повітряної розвідки та забезпечення розвідувально-ударних (розвідувально-вогневих) комплексів (систем) сучасними системами автоматизованого збору і оброблення отриманої інформації. Це дозволить оптимізувати процес прийняття рішень з визначення необхідних сил і засобів для досягнення поставлених задач підрозділами артилерії з ураження виявлених цілей.

ДО ПИТАННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ ОСНОВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУЧАСНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧНОГО (ТАКТИЧНОГО) ПРИЗНАЧЕННЯ

Д.А. Новак

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

На сьогоднішній день не існує загальноприйнятої та стандартизованої класифікації основних властивостей сучасних зразків ракетного озброєння. У науковій літературі та періодичних виданнях властивості сучасних ракетних комплексів (РК) класифікуються по-різному, що суттєво ускладнює процес визначення вимог до їх якісних і кількісних показників (характеристик).

У Науково-дослідному центрі РВіА в рамках виконання окремої науково-дослідної роботи було сформовано та запропоновано удосконалену сукупність (класифікацію) бойових і експлуатаційних властивостей сучасних оперативно-тактичних і тактичних ракетних комплексів (ОТРК, ТРК).

Відповідно до запропонованої класифікації, до основних бойових властивостей сучасного ОТРК (ТРК) було віднесено бойову могутність, мобільність, застосовність і живучість РК.

До основних експлуатаційних властивостей сучасного РК, у свою чергу, було віднесено його надійність, ергономічність, безпечність і уніфікованість.

Запропонована класифікація, на відміну від інших існуючих, враховує більшу кількість узагальнених і часткових властивостей сучасного ОТРК (ТРК) та надає їм структурованої і змістовної упорядкованості, що в свою чергу значно спрощує процес обґрунтування оперативно-тактичних і тактико-технічних вимог до нових і модернізованих зразків ракетного озброєння для потреб Збройних Сил України.

ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ ПІД ВПЛИВОМ РОЗВИТКУ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ

А.П. П'янтківський

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Сучасне поле бою характеризується високою динамікою, насиченістю сенсорами, засобами ураження високої точності, активним застосуванням безпілотних комплексів та засобів радіоелектронної боротьби. Розвиток розвідувально-ударних систем, які поєднують розвідку, обробку інформації та вогневе ураження в єдиному контурі, суттєво змінює вимоги до систем управління військами.

Традиційна багаторівнева ієрархічна модель управління, побудована на послідовній передачі команд і донесень, не забезпечує необхідної швидкості реакції в умовах скорочення бойового циклу. Це обумовлює необхідність трансформації систем управління військами у напрямку підвищення швидкодії, інтегрованості та стійкості.

Основним критерієм ефективності системи управління стає швидкість замикаання бойового циклу від моменту виявлення цілі до її ураження, що досягається за рахунок автоматизації процесів обробки інформації, впровадження алгоритмів підтримки прийняття рішень та цифрової взаємодії між підрозділами. Зростає роль ситуаційної обізнаності командира, який отримує актуалізовану картину обстановки в режимі, близькому до реального часу, що підвищує обґрунтованість та оперативність управлінських рішень.

Одночасно трансформація систем управління потребує підвищення їх стійкості до впливу засобів радіоелектронної боротьби та кіберзагроз, впровадження резервованих каналів зв'язку, розподілених архітектур обробки даних і автономних режимів функціонування підрозділів. Таким чином, подальший розвиток систем управління військами повинен здійснюватися комплексно, з урахуванням технологічних, організаційних та доктринальних змін, що зумовлені еволюцією розвідувально-ударних систем.

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНО-ВОГНЕВИХ КОМПЛЕКСІВ

О.В. Степаненко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Результати аналізу ведення бойових дій в Україні та інших збройних конфліктів останніх років вказує на те, що подальшим напрямком забезпечення максимального ступеня реалізації бойових можливостей ракетних військ і артилерії (РВіА) в операції (бою) буде створення і

впровадження в їх структуру інтелектуальної системи управління артилерійської розвідки (СУАР). Підвищення ефективності АР можна досягати шляхом технічного розвитку компонентів розвідувально-вогневого комплексу (РВК) за наступними напрямками:

- створення єдиного розвідувально-інформаційного простору (ЄРІП) для гарантованого розкриття об'єктів противника різнотипними засобами АР та формування єдиної бази даних;

- забезпечення необхідної актуальності, точності та повноти розвідувальних даних, що формуються, та оперативності їх доведення до конкретного засобу вогневого ураження РВіА;

- безперервний моніторинг обстановки, контроль ураження та оцінювання збитків, завданих кожному об'єкту та угрупованню противника в цілому;

- забезпечення необхідної глибини АР та необхідного ступеня деталізації викриття об'єктів противника, що приймаються до вогневого ураження;

- розроблення єдиної методики збору, оброблення та оцінювання розвідувальних відомостей.

Обов'язковою умовою роботи інтелектуальної СУАР є поєднання сил і засобів АР з пунктами управління розвідкою загальновійськового угруповання каналами цифрового зв'язку. Це забезпечить реалізацію принципу “розвідав-уразив” та ведення розвідувально-ударних дій РВК у режимі реального часу. Система АР за рахунок інтелектуальної СУАР інтегрується до ЄРІП, що формується в інформаційно-телекомунікаційній системі.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВТОНОМНИХ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

С.М. Усенко

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Сучасне поле бою трансформується в єдиний інформаційно-когнітивний простір, де успіх залежить від швидкості передачі даних. Ключовим фактором є інтеграція розвідувально-ударних систем (РУС) та радіоелектронної боротьби (РЕБ) за принципом “sensor-to-shooter” (від датчика до стрільця).

Перспективними напрямками розвитку інтеграції РУС та засобів РЕБ для досягнення переваги в управлінні військами є:

- впровадження ШІ, автоматизація розпізнавання цілей та пріоритезація об'єктів ураження в реальному часі;

- рої безпілотних систем, використання автономних груп БпЛА, що здатні одночасно виконувати функції до розвідки, ретрансляції та безпосереднього удару;

- ешелонований РЕБ, перехід від потужних стаціонарних станцій до малогабаритних модульних засобів “окопного РЕБ” та систем захисту бронетехніки.

Особливого значення набуває когнітивний РЕБ, який здатний автоматично аналізувати спектр, виявляти нові типи сигналів та адаптувати завади без втручання оператора. Інтеграція РЕБ безпосередньо у склад РУС дозволяє не лише пригнічувати засоби зв'язку ворога, а й створювати “коридори безпеки” для власних високоточних засобів ураження.

Основним вектором розвитку є створення єдиної цифрової екосистеми, де розвідка, ударні засоби та РЕБ працюють як єдиний організм. Майбутнє належить системам з високим рівнем автономності та стійкості до засобів радіоелектронного пригнічення противника через використання псевдовипадкової перебудови робочої частоти та оптичних каналів зв'язку.

ВИМОГИ ЩОДО МОБІЛЬНОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УДАРНИХ КОМПЛЕКСІВ

В.О. Щигло

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

Досвід відбиття широкомасштабної збройної агресії російської федерації свідчить, що одним із факторів, котрий відіграє головну роль є час готовності до виконання завдань з вогневого ураження військових формувань.

Вищезазначені військові формування, як правило оснащуються сучасними високоманевреними, високоточними засобами вогневого ураження, автоматизованими системами збору, оброблення, розподілу і передачі інформації, що значним чином впливає на показник їх мобільності.

Аналіз світових тенденцій вказує, що розвідувально-ударний комплекс ракетних військ і артилерії (РУК РВіА) є перспективним елементом угруповання РВіА, які можуть ефективно виконувати вогневі завдання за рахунок мобільності всіх компонентів та елементів.

Мобільність РУК РВіА ЗС України повинна забезпечувати:

- до початку бойових дій – готовність до виконання завдань з мінімальними витратами часу;

- з початком та в ході ведення бойових дій – постійне домінування над противником в комплексі заходів щодо циклу “розвідка-управління-ураження-забезпечення”.

Особливого значення набуває мобільність підрозділів РВіА у збройному протистоянні проти противника, який перевершує в чисельності та оснащенні. Розвідка, яка ведеться в реальному масштабі часу, система управління, яка функціонує на випередження противника, автономність у поєднанні з високоточним далекобійним вогневим ураженням та мобільністю підрозділів створює необхідні умови для найшвидшого знищення противника.

СЕКЦІЯ 15

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Керівники секції: д.філос. полковник Олексенко О.О.;
д.т.н. проф. прац. ЗС України Карлов В.Д.
Секретар секції: прац. ЗС України Тугай А.В.

THE INFLUENCE OF REAL RADIO WAVE PROPAGATION CONDITIONS ON THE ACCURACY OF MEASURING RADAR SIGNAL PARAMETERS USING THE PHASE METHOD

O. Oleksenko, Ph.D.

Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

High-precision measurement of the coordinates and motion parameters of radar observation objects based on the results of primary processing of radar information is a necessary condition for ensuring the required quality of its subsequent secondary and tertiary processing. The phase method is one of the methods for measuring coordinates and parameters that is widely used in modern radar technology. The effectiveness of its application is directly determined by the regularity of changes in the phase front of the radar signal, i.e., ensuring its spatial and temporal coherence.

Real conditions of radio wave propagation lead to random distortions of the phase front of the radar signal due to the influence of corresponding destabilising factors. Such factors include the presence of stratospheric and turbulent atmospheric inhomogeneities, multipath propagation of radio waves, and changes in the position of bright spots of the radar observation object during its movement.

Due to the influence of the above factors, the accuracy of measuring radar signal parameters and, consequently, the coordinates and motion parameters of the radar observation object may be significantly lower than potentially possible.

The results of assessing this reduction are considered, which are useful from a practical point of view, as they allow determining the feasibility of optimising existing algorithms for spatio-temporal processing of radar signals.

FURTHER DEVELOPMENT OF FIBER-OPTIC DRONES AND METHODS OF COMBATING THEM IN THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR

*V. Karlov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. Kopylov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The use of FPV drone control technology via fibre optics in the second half of 2024 changed the nature of combat operations, and this technology subsequently became one of the key factors on the battlefield. Its main advantages are: absolute resistance to radioelectronic warfare, stealth for radar systems due to the absence of radio emissions, and the transmission of clear images in real time until the moment of impact on both stationary and manoeuvrable targets, as well as low-altitude flight and the ability to fly into trenches, bunkers and inside buildings beyond direct visibility without losing contact with the operator. By the end of 2025, the flight

range of such FPV drones had increased from 5–10 km to 20–40 km, and by the beginning of 2026, their maximum declared flight range had reached 50–65 km. The main disadvantages of fibre optic drones are the exposure caused by the cable stretching to the operator's position and the fragility of the fibre optic cable when bent, which leads to limited drone manoeuvrability and the risk of the cable breaking if it gets tangled in tree branches, power lines, or caught on buildings. To overcome the first drawback, less noticeable dark-coloured cables have begun to be used, and to overcome the second drawback, flexible Kevlar braiding is used to reinforce the fibre optic cable, although this increases the weight of the cable reel and reduces the flight range due to the drone's limited payload. High-strength Kevlar absorbs mechanical stress and reduces the likelihood of thin fibre optic cables breaking when the cable catches on objects in the terrain or during intense drone manoeuvres. Kevlar has also begun to be used to counter both radio-controlled and fibre optic drones. Drones are physically intercepted using strong nets made of Kevlar cords, as they are resistant to tearing and mechanical stress. The lightness of Kevlar allows protective long barrier nets to be installed without heavy supports. These cords are also used to weave traps and light nets, which can be thrown at drones using special devices. The plastic propellers of drones cannot cut through Kevlar netting, which guarantees that they will become entangled. Special interceptor drones can be used to carry these net-throwing devices. Previously, the authors proposed a concept of a topological approach to methods of combating drones on fibre optics: an imaginary plane ("protective wall") is created in the path of their possible trajectories by the movement of a long thin line pre-positioned on the ground. As is now clear, it can be made of a thin Kevlar cable that would cover all the optical fibres of drones that crossed this line. Then this plane, together with the fibre optic cables crossing it, is pulled together to the point where the bundle of fibre optic cables is cut by a special laser "optical cutter" that cuts through the Kevlar-reinforced fibre optic cable.

ANALYSIS OF PASSIVE RADAR INTERFERENCE MODELS IN THE "X" AND "C" FREQUENCY BANDS FOR UAV DETECTION IN CONDITIONS OF DENSE BUILDINGS AND OVER FOREST AREAS

*I. Leonov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; S. Leushyn
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern conditions, during combat operations, unmanned aerial vehicles (UAVs) operate at low altitudes, which significantly reduces their detectability, and in areas with dense buildings or over forested areas, additional reflections of radar probing signals (RS) occur. Such passive interferences (PI) that are correlated with RS have high intensity. This requires equipping radars with PI suppression systems, for the synthesis and analysis of which a priori information is needed regarding the temporal, frequency, or correlation characteristics of PI. Experimental data on PI parameters are always limited, and the significantly different physical nature of PI sources complicates the construction of their general mathematical model. To build adequate models, PIs are usually divided into separate types:

- "artificial" PIs – reflections of RS from deliberately created sources;
- "natural" PIs – reflections of RS from natural sources.

The report analyzes the characteristics of "natural" PIs, which are divided into:

- "point" PIs – reflections of RS from a single source located in a separate resolution element of the radar;

– “multiple” PIs – reflections of RS from multiple sources located in a single resolution element of the radar.

Both “point” and “multiple” interference patterns can be divided into:

– “spatially concentrated” interference patterns – reflections of sound waves from spatially concentrated sources (buildings, towers, chimneys, trees) that have different shapes, surfaces, and construction materials;

– “surface-distributed” interference patterns – reflections of sound waves from sources distributed across a surface (land or water surfaces, roads, hills, mountains) that have different structures and surface geometries;

– “volume-distributed” interference patterns – reflections of sound waves from sources distributed throughout a volume (clouds, hydrometeors, “echo signals,” and other inhomogeneities of the troposphere).

Currently, for the “X” and “S” frequency ranges, separate radar propagation models are being considered, each with its own features and limitations. For example:

- geometric;
- probabilistic;
- vector;
- fluctuation;
- frequency–spectral;
- correlation.

FEATURES OF CORRELATION AND FILTRATION TREATMENT MULTI-FREQUENCY SIGNALS IN THE REAL INTERFERENCE VIRONMENT

I. Leonov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Korzhov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Leushin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report discusses the features of correlation and filtering processing of multi-frequency (MF) signals in a real interference medium. The peculiarity of the correlation-filtration machining scheme with a multi-frequency local oscillator is that information about air targets is contained in the ratio of amplitudes and phases of range channels. Therefore, the main causes of modulation interference can be considered the scattering of the components of a multi-frequency signal.

The analysis of the effect on the coherence time was carried out for the case when the initial phase of the local oscillator coincides with the initial phase of the echo signal using the example of a multi-frequency LFM signal. This allows you to estimate the effect of scattering a multi-frequency signal on coherence time.

Three possible cases are considered when there is a scattering of the initial phases, medium frequencies and amplitudes of the frequency components of a multi-frequency signal separately.

It is shown that the coherence time monotonically decreases with an increase in the scattering value of the frequency components of the multi-frequency signal. The decay rate is inversely proportional to the number of frequency components of the signal being processed.

Thus, scattering in a real interference medium when using correlation-filtering schemes for processing MF signals leads to fluctuations in amplitudes, initial phases and average frequencies of frequency components of the signal, and therefore to a decrease in the coherence band of MF signals.

ACTIVATION OF LEARNING ACTIVITIES FOR EXTRAMURAL STUDENTS THROUGH MODERN PEDAGOGICAL TECHNOLOGIES

*L. Kornienko, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The challenges of extramural (distance) education at the university are not only related to the shortage of time, lack of regular contact with the instructor, and detachment from full-time study and laboratory facilities, but also to the weak theoretical background of students, the discrepancy between their military duties and their chosen field of study, and the reduction of scheduled classes during training sessions. Low motivation often hinders regular independent academic work. The purpose of the pedagogical experiment was to identify methods and tools that activate students' cognitive activities during the inter-sessional period. The hypothesis suggested that academic work could be revitalized through a comprehensive combination of pedagogical techniques and digital tools, facilitating a transition from passive knowledge acquisition to active self-education under the instructor's guidance. The preparatory stage involved the creation of an electronic information and educational environment within the Moodle platform, consisting of: an electronic library; course Syllabus; video library; lecture notes including methodological recommendations, self-control questions, tests, and examples of typical problem-solving; laboratory report templates with experimental results for independent processing and analysis; individual modular control assignments (MCA) with specific deadlines throughout the semester. In the methodological guidelines for the MCA, emphasis was placed on the necessity of theoretical substantiation for the tasks and the formulation of an execution plan. The possibility of completing MCAs within small groups was also provided. Mobile communication, chats, and video conferencing were utilized for interaction. The most effective (and challenging) stage proved to be the remote online phase of "individual consultation-control-evaluation" conducted according to an agreed schedule, both during the execution of each MCA and for discussions regarding the deficiencies identified in report reviews. The evaluation of each MCA component was performed according to the national and 100-point scales, establishing a ranking. The pedagogical experiment proved the viability of this methodology and identified ways for its further improvement.

IMPROVEMENT AND OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF REMOTE CONTROL SYSTEMS FOR THE ANGULAR POSITION OF OBJECTS

*A. Kovalchuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Prysiashnyi, Candidate of Technical Sciences; O. Biesova, Ph.D.; O. Tkachuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National University of the Air Force*

In the tasks of automation of control and guidance, electromechanical rotation drives have been widely used, which are designed to ensure automatic rotation of a fire weapon or radar antenna to a given azimuth and elevation angle. The modern element base allows you to create remote control systems with an error not exceeding several arcminutes, which is sufficient to guide fire weapons in the presence of high-quality coordinate information. This is especially true when

using small arms and small-caliber anti-aircraft artillery to combat unmanned, low-altitude, small-sized, and high-speed targets.

Remote control systems allow you to aim at a ground or air object and fire over a wire line or radio link. To replace classic electric motors, the so-called stepper motors have been proposed for use, which have been used in positioning systems for a long time and have certain advantages and ease of technical implementation in guidance systems. The remote control works on modern microcontrollers with the appropriate software, and the actuators of the system are stepper electric motors with feedback. The dynamic and static characteristics of the analog-digital control system are largely determined by the capabilities of the mechanical part.

To optimize the parameters of the electromechanical control system, it is proposed to use the MATLAB application package. The analysis of the obtained graphs allows you to quickly estimate the characteristics of rotation and, by changing the parameters of the elements, estimate their impact on the characteristics of rotation.

ANALYSIS OF SPEED CHARACTERISTICS OF AUTOMATIC DECISION-MAKING OF TARGET DETECTION STATIONS IN COMPLEX INTERFERENCE CONDITIONS

*A. Kiiko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;
O. Karpenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The paper analyzes the implementation of the adaptive Bayesian criterion (BC), which consists in choosing a solution for target selection and detection with minimal risk of missing a specific target in the pulse volume of the radar resolution. It is shown that the Bayesian criterion in modern radars is not just a theoretical concept, but the basis for creating intelligent, adaptive and highly efficient systems capable of operating in conditions of high uncertainty and complex interference conditions.

Target detection in the case of a priori uncertainty is a modern anti-air combat task that arises in conditions when nothing or almost nothing is known in advance about the target information: range to the target, azimuth, elevation angle, flight altitude and course speed, as well as the spectral characteristics of the signal received from the target. This is a typical situation for real radar systems, passive infrared detection, and surveillance in conditions of massed moving targets against a background of combined interference. As is known, the implementation of adaptive BC ensures the fulfillment of the main provision of BC, which consists in choosing a solution with minimal losses, taking into account the adaptation of the selection algorithm and stable detection of targets in the presence of combined interference.

The paper discusses modern problems of target detection, selection, and tracking in a complex interference environment, as well as requirements, including those for network-centric systems, the use of which can contribute to solving the tasks set.

The problems include: 1) Combined interference (a combination of active noise, imitation and passive interference) that create a dynamic background that overloads the target detection station systems, 2) Data transmission delays - in network-centric systems, the bottleneck may be the bandwidth of the communication channels between the sensor and the command post, 3) active maneuvering of the target, especially at high speeds.

The solution to the problematic issues is achieved through: a) automatic operation of the target detection station, which minimizes the influence of the

“human factor”, b) the introduction of non-parametric statistics and machine learning methods (neural networks) for pattern recognition, c) the need for adaptive change of filtering parameters (through Doppler shifts) in real time, d) the use of multi-model filters (e.g. Kalman) for automatic tracking in interference conditions.

GENERAL REQUIREMENTS FOR THE TEST RANGE RADAR SYSTEMS OF TRAJECTORY MEASUREMENTS

*M. Barkhudaryan, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Lukashuk, Ph.D., Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In accordance with the capabilities and objectives of radar-based trajectory measurement systems, the test complex of test range must:

- to detect and track all types of aerodynamic flight vehicles (both guided and unguided), surface-to-air guided missiles (SAMs) of all air defense systems, tactical and operational-tactical missiles (with flight speeds up to 3200 m/s), as well as munitions of multiple launch rocket systems, including those currently in service and advanced (modernized) models, across all flight phases, altitudes, and speed ranges, either autonomously or based on target designation from the range command post, with transmission of trajectory information to the command post;
- to employ radar systems operating in various frequency bands and perform signal processing at the proving ground command post (CP) in order to obtain more comprehensive, objective, and reliable information;
- simultaneously to detect and track the required number of SAMs, several of which may be employed as targets, providing for each of them the information necessary to assess the miss distance;
- to carry out documentation of trajectory information and the time of its acquisition for all targets and SAMs that were being tracked, while simultaneously transmitting this information to the test range CP;
- to ensure coordinated operation of two or more spatially separated positions operating within the same frequency band, with joint processing of the acquired information at the test range CP.

PILOTS ADVANCED PHYSICS TEACHING BY MEANS OF AVIATION ENGLISH

*O. Karpenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Kiiko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Physics in Aviation English for Ukrainian pilots involves understanding core principles like lift, drag, thrust, and weight, alongside specific terminology for flight dynamics, the weather, and emergency procedures, all taught through the ICAO-standard English language to ensure the efficiencies during the educational and training process of the NATO standardize aircraft, clear communication and control procedure, crucial for flight safety in the real combat environment.

Advanced physics concepts for future pilots are taught by the physics and radioelectronics department including modern aviation applications, directly linked to aircraft systems, flight operations, and modern combat missions during the

Ukrainian Russia war by means of aviation English are discussed in the presentation. During the lessons teacher's emphasis is placed on understanding physical principles and cause-and-effect relationships rather than rote learning of formulas. Terminology, phraseology, and technical references align with NATO, ICAO, and combat aviation documentation to ensure interoperability during the combat application of the NATO standardized aircraft. Cadets apply physics knowledge in Aviation English to analyze situational awareness, calculate physical parameters of maneuverability, assess risks, and making right decisions during combat.

In conclusion, pilots practice explaining physical phenomena, technical system behavior, and maneuverability clearly and accurately in the aviation English language. The advanced physics teaching by means of aviation English, considers the combat operational environment, aircraft types, and training requirements is crucial for the Ukrainian pilots.

ENGINES AND FUELS FOR UNMANNED AIRCRAFT

*T. Mukhina, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor;
Z. Kovalchuk; V. Gavrylova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have proven to be extremely effective in modern warfare. Small and medium-sized drones, particular FPV drones, operate on simple, silent, *brushless electric motors with Li-polymer batteries*. Longer flight times are provided by *hydrogen fuel cells*, in which hydrogen is oxidized at the anode and oxygen from the air is reduced at the cathode. Instead of hydrogen, methanol or butane are also used in fuel cells. In hybrid systems fuel elements that provide power for long-range flight are combined with batteries that provide additional energy for takeoff and acceleration.

Large powerful UAVs require *piston internal combustion engines* (ICE). Piston gasoline engines use standard gasoline, while diesel engines in large military UAVs use diesel fuel or aviation kerosene. The turbocharging system increases the power of the ICE, saves fuel, is definitely effective for diesel engines, but increases the likelihood of detonation in gasoline engines.

Large military UAVs are equipped with turbojet and turboprop aircraft engines. Small-sized turbo-shaft engines are being developed for helicopter-type UAVs as marching ones.

In the future, it is planned transition to ultra-small gas turbine engines, liquid (LRE) and solid-propellant (SPRE) rocket engines, and over time – to power devices that use new types of energy (nuclear, energy of electric and magnetic field, etc.).

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF IDENTIFICATION FRIEND OR FOE SYSTEM

*O. Strutsynskyi, Ph.D.; A. Prysyzhnyi, Candidate of Technical Sciences;
A. Nos, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The physical principles of Identification Friend or Foe in Module four involve interrogation, coded pulse transmission, transponder reply, and signal processing, using encrypted challenge-response mechanisms to distinguish friendly assets from

threats, relying on specific radio frequencies and cryptographic keys, for authentication, with principles focusing on signal integrity, encryption strength, especially against jamming or spoofing, and robust decoding in noisy environments.

There are five core physical principles: the band of electromagnetic waves, interrogation and reply modes, multiple pulses modulation and coding algorithms, frequency agility and cryptography. Identification Friend or Foe systems use radio frequency signals both S-band and L-band, to communicate, exploiting properties like propagation, reflection, and attenuation of electromagnetic waves. The interrogator sends a coded radio frequency pulses (the “challenge”) at one frequency; a friendly transponder receives this, processes it, and sends back a coded pulses (the “reply”) at a different frequency. Signals are coded using pulse positions, width, and timing, creating unique patterns that represent correlated data. Systems operate on specific, often different, frequencies for interrogation and reply to avoid self-interference and allow direction finding. In conclusion, Identification Friend or Foe Mode 4 uses secure, time-varying digital codes (crypto keys) within the reply, changing with each interrogation to prevent spoofing.

The advanced identification friend or foe system is crucial for the development of the Air Force of Ukraine.

STOICHIOMETRY AND SURFACE CONDITIONS IN THIN FILMS

S. Solnyshkova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;

V. Dzhus, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The properties of thin films of lead telluride have been studied in many works, with particular interest in the effect of oxidation, since oxygen, being an acceptor impurity, significantly changes the electrophysical characteristics of PbTe. The degree of oxidation is determined by the thickness of the film, with a decrease in which the contribution of the surface layer increases. Another important parameter affecting the type of conductivity is the substrate temperature, an increase in which leads to the enrichment of the films with a metallic component and a transition to the electronic type of conductivity.

In this work, thin PbTe films obtained by thermal evaporation in a vacuum on mica substrates at temperatures of 380 and 530 K were studied. It was found that for films obtained at 380 K without a protective coating, hole-type conductivity is realized in the entire studied thickness range, which is associated with the influence of oxygen. In the presence of an Al₂O₃ coating, with an increase in thickness, a transition to electron-type conductivity is observed, caused by a change in stoichiometry due to the re-evaporation of tellurium.

For films obtained at a substrate temperature of 530 K, an inversion of the sign of the Seebeck coefficient was observed at low thicknesses. With increasing thickness and substrate temperature, the films become enriched with lead, which leads to the preservation of n-type conductivity in thick layers. In this case, the Al₂O₃ coating has practically no effect on the values of the kinetic coefficients, indicating an insignificant contribution of surface states.

It has been shown that the conductivity type of thin PbTe films is determined by the combined action of surface oxidation processes, deviations from stoichiometry during tellurium re-evaporation, and substrate temperature.

PHYSICS BASED PRINCIPLES OF SYNTHETIC APERTURE RADAR DEVELOPMENT

O. Karpenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Kiiko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;

A. Nos, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The synthetic aperture radar is a coherent active microwave imaging method. The targeting sensors in the NATO standardized aircraft are designed to assure that the pilot concentrates on the combat environment, not on the onboard systems with high level of systems integration and data fusion. Key integrated systems providing targeting data include: electronically scanned array radar, electro-optical targeting system, distributed aperture system, electronic warfare suite, and the communication, navigation and identification capabilities.

For example, the fighter F-35 uses Synthetic Aperture Radar, primarily through its AN/APG-81 active electronically scanned array radar, to generate high-resolution, digital ground maps for precise targeting and navigation by processing radar reflected burst of coherent wideband signals from its own movement to create a “virtual” larger antenna, offering unparalleled situational awareness by identifying targets with detailed shape and size information. This capability allows for detailed ground mapping and target detection, complementing its electronic warfare. The APG-81 completed with a synthetic aperture radar terrain mapping function for air-to-surface surveillance, detection and tracking targets and weapon control modes.

In conclusion, pilots can select from the radar’s many software-driven modes: target identification and tracking, air-to-air, air-to-ground, air-to-sea surface target detection and electronic warfare. It can designate both ground targets and airborne targets simultaneously.

PROFESSIONAL DISCIPLINES IN ENGLISH

T. Mukhina, Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor;

A. Rud; Ye. Hubchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Cooperation with the armed forces of other countries requires serious knowledge of foreign languages, of which English is currently the international one. Its study is now an integrate part of military education.

At our university, teachers from many professional disciplines conduct classes in various specialties in English and, in particular, lectures, group, practical and laboratory classes in individual modules of the disciplines “Chemistry” in the specialty “Information and measurement technologies”, “Chemistry and fuels and lubricants” in the specialty “Aviation transport” and the module “Aviation fuels and lubricants” in physics in the specialty “Military Management (by types of armed forces)” in the amount of 8 academic hours in the study group.

In order to develop speaking skills British Council specialists strongly recommend switching to interactive (communicative) methods of organizing classes. A similar suggestion was made by our cadets during a survey after 4 chemistry classes in English.

Collective work in small group is very effective, when cadets have the opportunity to receive help from each other, without addressing the teacher and

without demonstrating once again their ignorance. And also cadets' true interest in a lesson arises when they take a direct, active part in its implementation. The use of the interactive "question competition" technique, which is essentially a variant of the widely used "Language Learning through Tasks" approach ("Task-based learning and teaching"), during the final practical classes on the study of aviation fuels and lubricants, these expectations were confirmed.

It is clear that this work needs to be improved. Particular attention should be paid to establishing effective independent mastery of English and its use for professional and everyday communication.

PHASE NOISE OF TRANSMISSION MODULES WITH QUADRATURE MODULATORS OF ACTIVE PHASED ANTENNA ARRAYS

*M. Kandyrin, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Dzhiora
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern active phased array antennas (APAA) are widely used in radar, telecommunications, and satellite communication systems. One of the key requirements for the transmission modules of such systems is high spectral purity of the signal, which is largely determined by the level of phase noise. Phase noise in antenna array transmission modules negatively affects the spatial and spectral characteristics of radiation.

Quadrature modulators are widely used in modern transmission modules, providing flexible signal formation with different types of modulation, as well as digital control of the amplitude-phase characteristics of each APAA channel. However, the use of quadrature modulators leads to the appearance of additional sources of phase noise caused by the instability of reference generators, amplitude and phase imbalances in quadrature channels, as well as noise from mixers and amplifiers.

The report considers the main sources of phase noise in transmission modules with quadrature modulators. The results of mathematical modeling of the noise characteristics of such a transmission module are presented, and a comparative analysis of the contributions of its individual functional elements to the resulting level of its phase noise is performed.

Possible ways to reduce the level of phase noise in APAA transmission modules are discussed, in particular the use of highly stable reference generators, calibration of quadrature channels, synchronization of modules, and the use of digital algorithms for phase distortion compensation.

ACTIVE HOLOGRAPHY WITH ELECTRONIC CONTROL OF THE WAVE FRONT OF LIGHT

*D. Ustinov; O. Kopylov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; L. Vasylenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The growing interest in holographic displays, augmented and virtual reality systems, adaptive optics, and high-precision metrology makes it relevant to study the possibility of creating electronically controlled active holography. Controlling the wavefront of light is a key element in the creation of the next generation of optical

systems capable of forming realistic three-dimensional images and compensating for optical distortions in real time.

The paper considers the concept of using a charge-coupled device (CCD) matrix as a control element of a phase modulator. The proposed system combines digital hologram synthesis with electronic formation of the spatial distribution of electrical voltages transmitted to transparent electrodes. Under the action of the created electric field, the orientation of liquid crystal molecules changes, leading to a controlled change in the phase of light passing through the proposed phase modulator.

The spatial discretisation of the wavefront, the influence of pixel size and the number of control elements on the quality of holographic image reconstruction are analysed. It is shown that increasing the resolution of the matrix allows for more accurate reproduction of complex phase profiles and reduces parasitic diffraction effects.

DETECTION AND TRACKING MEANS BEHIND THE DIRECTION OF THE LASER BEAM IN THE STARLINK INTER-SATELLITE COMMUNICATION LINKS

V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. Kalnyi, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;

Ye. Zhydko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

Compound located at different space devices optical transmitter and receiver in laser systems between satellites connections low-orbit satellite groups STARLINK constellation, due to the narrow width of the laser beam, due to the fast changes mutual provisions space devices and various relative speed satellites, is complex task.

Laser communication is significant degrees depends on precise control beam. For effective a laser beam emanating from one satellite hitting another satellite platforms it is necessary to know the position satellites relative to each other. Also, guidance system required beam, orientation, capture optical beam and tracking provisions beam between satellites.

For effective a laser beam emanating from one satellite hitting another satellite laser transmitter platform required Very precision control system beam and guidance beam according to calculations data.

In the reception area terminal, in accordance with the data ephemeris orbits and orientations satellite platforms, it is necessary to carry out initial guidance, capture of transmitted optical radiation. As rough guidance and control unit orientation can be used ourselves satellites.

Analyzed as choose the field of view optical receiver (FOV) to determine directions where arrives beam, and also which it is appropriate choose for laser terminals in orbit algorithms scanning and tracking.

Given architecture optical interface, wireless laser communication terminal, diagrams detection and implementation high-precision position tracking beam.

MEANS OF PROVIDING HIGH-SPEED DATA TRANSMISSION CHANNELS IN LASER COMMUNICATION INTER-SATELLITE LINKS OF THE STARLINK CONSTELLATION

*V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Kalnyi, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;*

Ye. Zhydko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At present time steadily is growing demand for high- speed data transmission via large low-orbit satellite groups that potentially capable provide transoceanic access to users worldwide communication, high-speed Internet access with low delay.

For increase pass capabilities satellite network, plays an important role implementation optical inter satellite channels connections (ISL) that improve communication characteristics, allow to obtain high speed transmissions data. Low signal delay conditioned by architecture ISL, transfer whose information and between satellites directl , without her retransmission via terrestrial stations.

Determined requirements that m should satisfy cosmically e laser e transceivers terminals, optical transponder.

Studied, how it is appropriate build an easily integrated satellite platforms bidirectional laser transceiver communication terminal. The transmitter uses the signal from the transmitted information for modulating the laser transmitter; at the receiver the resulting signal is processed for recovery original signal

Considered using the dense method length division multiplexing waves (DWDM) allows use advantages wide stripes laser channel transmission communications. (DWDM) reduces availability unused frequency bands between various lengths waves, interval between various lengths waves that Maybe raise coefficient spectrum use.

The modulation modes of the laser transmitter and multiplexing, which allow achieving high communication speeds, are analyzed.

APPLICATION OF AN ACTIVE OPTOELECTRONIC SYSTEM WITH COORDINATED DYNAMIC SPECTRAL FILTERING FOR SEARCHING FOR OBJECTS BY SPECTRAL CHARACTERISTICS

*A. Hurin, Ph.D.; B. Lisohorskyi, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;
O. Goorin, Candidate of Technical Sciences; O. Snitsarenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report considers a method for searching for objects by spectral features using an active optoelectronic system that performs coordinated dynamic spectral filtering, followed by computer processing of the resulting image. A feature of the method is the use of an active optoelectronic system that uses a system of multispectral laser emitters that change the radiation intensity based on a priori information about the spectral characteristics of the radiation signals reflected from the search object and the background, in such a way as to reduce the magnitude of the spectral components of the signal reflected from the surface belonging to the background, with minimal attenuation of the intensity of the signal reflected from the object. At the final stage, computer processing of the resulting image is performed, which involves dividing it into areas of equal size and determining the area with the object of interest by elements with the highest brightness value.

A mathematical model has been developed that searches for objects in an image based on spectral features. The decision about the presence of an object of interest in the image areas is made for the area with elements that have the highest brightness value.

APPLICATION OF THE MODIFIED STEFAN CONDITION IN MILITARY ENGINEERING

D. Bielykh, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The use of a modified Stefan condition for the moving-interface phase-transition problem is important in military engineering, since many processes in materials used for military equipment are governed by diffusion and phase transformations in surface and contact layers. Mathematical modeling of such processes makes it possible to predict component lifetime, optimize technological regimes, and reduce the need for costly experiments.

Within the transition layer, the diffusion coefficients of both phases are summed, which leads to a modified Stefan condition obtained by an integration method. It is shown that, as in the standard Stefan problem, the displacement of the interphase boundary is proportional to the square root of time. In the classical formulation, under the Stefan condition for a moving boundary, the diffusion coefficients $\alpha(\beta)$ of the phases are multiplied by the derivative of concentration with respect to the $\alpha(\beta)$ coordinate of the corresponding phases.

The summation of diffusion coefficients in the transition layer changes the boundary condition and results in a modified Stefan condition. The modified condition consists in the fact that the diffusion coefficient of phase $\beta(\alpha)$ is multiplied by the derivative of concentration along the opposite coordinate of phase $\alpha(\beta)$. This form of the condition is important for describing real contact layers in joints and coatings, where the interface is not ideally sharp but has a finite thickness and a complex structure.

The effectiveness of the modified condition can be validated using experimental data for diffusion bonding of dissimilar metals and for the growth of interphase layers, which are typical tasks in the manufacturing of military-grade structures. Good quantitative agreement between the model and experimental results provides grounds for applying this approach to predict phase-formation kinetics, optimize processing technologies, and improve the reliability of materials and assemblies in military equipment.

APPLICATION OF MILITARY-APPLIED SITUATIONS IN TEACHING PHYSICS TO CADETS OF HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

I. Petrov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern transformation of the military education system in Ukraine, amid high-tech confrontation, demands a departure from the abstract teaching of fundamental disciplines. Physics serves as the theoretical foundation for mastering modern weapons and military equipment (WME); however, the traditional academic

approach often fails to adequately motivate cadets. The solution to this problem lies in integrating military-applied situations (MAS) into the educational process. In the context of physics education, a military-applied situation is a model of a real professional task that requires the application of physical laws. The goal of using such situations is not only the mastery of theory but also the formation of the ability to make informed decisions in combat conditions. The methodology for working with MAS involves the case study method. Instead of an abstract “object”, a cadet operates with concepts such as “quadcopter”, “shaped charge jet”, or “shock wave from an explosion”. This allows physics to be transformed from an “auxiliary” discipline into an instrument for survival and victory. The use of MAS also promotes critical thinking. Consequently, the professional orientation of physics training in higher military educational institutions through the resolution of applied situations ensures high-quality preparation of specialists capable of effectively operating complex weapon systems and adapting to the rapidly changing technological environment of modern warfare.

USE OF COHERENT RADIO PULSE PACKAGES IN DETECTING STRIKE UNMANNED AERIAL VEHICLES IN COASTAL AREAS

*V. Karlov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Kartashov², Doctor of Technical Sciences, Professor; A. Biesova²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Kharkiv National University of Radio Electronics

In conditions of intense air attacks and active use of electronic warfare tools, the priority task is to identify the most dangerous objects, in particular strike drones. Today, the use of short-range and close-range anti-aircraft missile systems is recognised as an effective approach to neutralising UAVs. However, in order to guarantee the interception of low-flying drones with anti-aircraft missiles, it is necessary to increase the detection radius of UAVs, which is usually limited by the radio horizon. The possibility of expanding the visibility zone of low-altitude targets appears due to the propagation of electromagnetic waves in tropospheric radio waveguides. At the same time, the use of such waveguides increases the risk of non-stationary active interference (NSAI) generated outside the radio horizon and having a fluctuating nature of the reflected signal. Such interference is usually a combination of narrowband and broadband interference. Since the correlation between the parameters of the NSAI and useful signals by coordinates (azimuth and elevation angle) is low, there is a dilemma when choosing the characteristics of radar probing signals. At the current stage of development of radar technologies, extremely high requirements are imposed on equipment in terms of the accuracy and volume of data obtained. This forces developers to use probing signals with a large base. However, for highly specialised stations, excessive information can be a hindrance: for example, natural fluctuations (fluctuations) in reflected signals often lead to errors. In particular, due to phase front distortion, the radar may perceive not the target itself, but its imaginary centre of reflection, which is often located outside the real object. This causes significant errors in determining the direction to the target (peaking). Since wave propagation conditions in coastal areas differ significantly from standard conditions, classic methods of combating interference become ineffective. To detect low-altitude targets in such difficult conditions, special devices are required – auto-compensators (AC). They must be single-channel

at the input and work directly with the internal structure of the pulse. The construction of such systems is made possible by the use of coherent radio pulse trains.

ANALYSIS OF POSSIBLE MODERNIZATION METHODS OF THE OSA ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEX

V. Karlov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

I. Leonov¹, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

A. Prysiazhnyi¹, Candidate of Technical Sciences; V. Prysiazhnyi²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Sole Practitioner V. Prysiazhnyi

The report shows ways to adapt aviation weapons to other types of weapons when used against air and surface targets, and the main scientific and technical problems that arise when solving these issues. After a certain, very short time, after the start of the full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, the air defense units of the Armed Forces of Ukraine armed with the OSA air defense system faced problems with the availability of standard 9M33M3 missiles. Such missiles are not produced in Ukraine, but a large number of R-60 and R-73 air-to-air missiles remained in warehouses from Soviet stocks. Analyzing the combat experience of previous armed conflicts and the performance characteristics of these missiles, priority was given to the R-73 missile.

The aviation missile has some advantage, because it works on the “fire it and forget it” principle, it does not need to be accompanied like the regular 9M33M3 missile. Immediately after firing the R-73, you can leave the position to avoid receiving a retaliatory strike.

At the same time, the R-73 has an infrared homing head, which makes it particularly effective. While standard 9M33 missiles require radio command guidance, which limits the number of targets to two at a time, using the R-73 allows the missiles to be launched with virtually no limit on the number of targets. This is a key advantage in combating massive attacks by drones and cruise missiles.

The report presents problematic issues of such modernization and indicates ways of their implementation, especially the adaptation of homing head control signals to air defense system control signals.

An example of the practical application of such modernization is shown with a demonstration of the corresponding video material.

OPTIONS FOR CONSTRUCTION OF AUTONOMOUS MOBILE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES WITH AIRCRAFT DEFENSE MEANS

V. Karlov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

A. Prysiazhnyi¹, Candidate of Technical Sciences; V. Prysiazhnyi²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Sole practitioner V. Prysiazhnyi

In the context of the insufficient number of fighter jets in Ukraine and the presence of a large number of air-to-air missiles from Soviet stocks in warehouses, the idea of using such missiles from ground-based anti-aircraft missile systems to destroy low-altitude air targets emerged.

The report shows options for building autonomous mobile anti-aircraft missile systems with aviation weapons when used against air and surface targets, and the main scientific and technical problems that arise when solving these issues.

The problematic issues of creating such complexes are also presented and ways of their implementation are indicated, especially the adaptation of the control signals of the homing head of an aircraft missile to the guidance system of a ground-based complex.

An example of the practical application of such a variant of a ground-based complex is shown with a demonstration of the corresponding video material. Such a system makes it possible to effectively use air-to-air missiles as a portable large-caliber anti-aircraft missile system. This is significantly cheaper compared to the acquisition of modern new anti-aircraft missile systems.

To solve the task of capturing a target with an infrared homing head, an optoelectronic visual observation and guidance module (thermal imager or IR camera) is installed on the platform, which allows the operator to find the target and orient the launcher towards the target.

SPECTRAL METHOD FOR SYNTHESIZING SPACE-TIME SIGNALS BY MULTI-FREQUENCY PHASED ANTENNA ARRAYS WITH CONTINUOUS RADIATION

L. Kornienko¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

E. Koenig², Physical-Technical Assistant

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Center for Free-Electron Laser Science (CFEL),

Max Planck Institute for the Structure and Dynamics of Matter, Hamburg, Germany

Based on the analysis of the electric field strength vector in the far-field zone of a phased antenna array (PAA) consisting of identical, identically oriented broadband radiators excited by harmonics with frequency offset proportional to their index, it is proven that the envelope of the space-time signal (STS) is described by a Fourier series. This holds under the condition of using a phase distribution that includes a component to compensate for the phase shift caused by the path difference from the radiators to the observation point in a selected direction (focusing direction). The number of terms in the series equals the number of radiators, which must be odd. The Fourier series coefficients determine the amplitude-phase distribution across the aperture at frequencies multiple of the offset frequency f , enabling the use of the spectral method to synthesize an STS of a given shape. For the synthesis of rectangular pulses, the frequency spectrum $(1/q)\text{sinc}(\pi\tau/q)$ defines the duty cycle $q = 1/\tau$, $f = \lambda/\Delta r$ of a periodic sequence with repetition frequency f and duration τ in the time domain, or with period $\lambda = c/f$ and longitudinal range width Δr in the focusing direction. A relationship has been derived to determine the spatial position of pulses at a given moment in time. It is shown that to form rectangular pulses, the PAA must have a specific number of radiators $N \geq (1+5q)$ to ensure spectrum reproduction within the main lobe and 1.5 side lobes of the $\text{sinc}(\pi\tau/q)$ function. The possibility of reducing the Gibbs effect using window functions was evaluated; specifically, the Lanczos window reduced ripples at the pulse top to 6 %. For STS synthesis in the focusing direction, information regarding the PAA geometry is not

required. When deviating from the focusing direction, the pulse shape remains unchanged provided that the signal delay across the aperture can be neglected. The results obtained may be useful in the design of multi-functional radar systems.

FEATURES OF RADAR SURVEILLANCE OF AIRBORNE OBJECTS AT LONG RANGES

V. Karlov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor;

O. Kuznetsov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Biesova²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Kharkiv National University of Radio Electronics

Modern aerodynamic objects are capable of performing their intended tasks in a fairly wide range of radial velocity changes. This leads to increasing requirements for ensuring radar surveillance with a given quality of both high-speed and low-speed, including hovering, aerodynamic objects.

When solving this problem at long ranges, the influence of the radio wave propagation environment on the accuracy of measuring the time-frequency parameters of the radar signal becomes an integral problem.

To ensure high-precision time-frequency measurements, a coherent burst of radio pulses is most appropriate for use as a radar probe signal. The multi-alliative interference effect of the radio wave propagation medium leads to a decrease in the coherence of this packet and a significant decrease in the accuracy of measuring its time-frequency parameters.

Therefore, an urgent issue is to take into account fluctuations in the phases of radio pulses of a burst radio signal, caused by the influence of the radio wave propagation environment, during radar observation of aerial objects at long ranges.

The features of radar surveillance of aerial objects at long ranges are considered when taking into account phase fluctuations of radio pulses of a burst radio signal in the algorithms of its time-frequency processing.

АВТОГЕНЕРАТОРНІ МІКРОЕЛЕКТРОННІ СЕНСОРИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТА АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

О.В. Осадчук¹, д.т.н., проф.; Я.О. Осадчук¹, д.т.н., доц.;

К.В. Шикун¹; А.І. Нос², к.т.н., доц.

¹Вінницький національний технічний університет;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Сучасний стан розвитку науки і техніки вимагає створення сенсорів магнітного поля на основі мікроелектронної технології, що дає можливість різко покращити метрологічні показники сенсорів. Вимірювання магнітних величин знаходять велике практичне застосування при дослідженнях властивостей різноманітних матеріалів, наприклад, у вивченні магнітних полів землі, у магнітному неруйнівному контролі, зокрема, у військовій та авіаційній техніці.

У роботі розглянуто автогенераторні параметричні сенсори індукції магнітного поля на основі транзисторних структур з від'ємним опором з магніточутливими елементами на базі біполярного і польового транзисторів, причому чутливі до магнітного поля елементи є також активними елементами

схем автогенераторних перетворювачів, що значно спрощує конструктивне рішення параметричних сенсорів індукції магнітного поля.

На основі розгляду фізичних процесів у чутливих до магнітного поля елементах та автогенераторах розроблено математичні моделі параметричних сенсорів індукції магнітного поля, на основі яких отримано основні характеристики автогенераторних сенсорів магнітного поля, таких як параметрична залежність функції перетворення та параметрична залежність чутливості від зміни індукції магнітного поля. Зміна величини індукції магнітного поля викликає зміну еквівалентної ємності транзисторної структури та диференційного від'ємного опору у коливальній системі автогенераторних параметричних сенсорів магнітного поля, що, у свою чергу, змінює вихідну частоту розроблених вимірювальних пристроїв. Чутливість розроблених автогенераторних сенсорів індукції магнітного поля змінюється від 9,5 кГц/мТ до 12,4 кГц/мТ при зміні індукції магнітного поля від 0 мТ до 120 мТ.

ХАОТИЧНІ ОСЦИЛЯТОРИ ДЛЯ ШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ

О.В. Осадчук¹, д.т.н., проф.; Я.О. Осадчук¹, д.т.н., доц.;

В.І. Петренко¹; А.І. Нос², к.т.н., доц.

¹Вінницький національний технічний університет;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Системи вимірювання дальності, що підтримують досить велику кількість малих цілей, що знаходяться поблизу, є ключовими для розвитку нових технологій у міру розвитку застосування РЛС у військовій техніці. Для забезпечення правильної роботи в широкому діапазоні умов часто потрібні кілька багаторівневих підходів та способів зондування. Наприклад, системи виявлення цілей на військовій техніці часто використовують комбінації радара, гідролокатора, лідара та камер, особливо в умовах погіршення візуального середовища. Однак складність цих типів підходів часто вимагає суворих проектних специфікацій, і підтримка цих специфікацій часто може бути складною в умовах роботи з кількома цілями. Завдяки використанню хаосу, системи вимірювання довжини ефективно використовують сигнали з високим інформаційним вмістом, подібним до стохастичного шуму. Частотний склад цих шумних сигналів розподілений у широкому діапазоні. Це зменшує потенціал для перешкод, оскільки енергія передачі розташована на багатьох частотах, які однозначно відповідають конкретному переданому сигналу.

У цій роботі автори представляють потенціал хаотичних ЧМ-сигналів на основі транзисторної структури з від'ємним опором для широкосмугового радіолокаційного зображення та оцінюють їх статистичні властивості, такі як ергодичність, стаціонарність та інваріантні функції щільності ймовірності. Проілюстровано кореляційні властивості та функції неоднозначності для оцінки їх роздільної здатності та можливостей електронного контр-вимірювання (ЕССМ). Використовуючи теоретичні та експериментальні дослідження, було проведено порівняння сигналів СВФМ, згенерованих за допомогою хаотичного осцилятора на основі транзисторної структури з від'ємним опором.

ANALYSIS OF THE MUTUAL INFLUENCE OF SPECTRAL CHANNELS OF A CMOS SENSOR IN EXTERNAL LIGHTING CONDITIONS

*V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
S. Kalnyi, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
Ye. Zhydko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;*

In modern conditions, natural landscape research, search and rescue operations, etc., are mainly performed using unmanned aerial vehicles equipped with compact and relatively cheap video cameras. Image quality depends on the dynamic range of CMOS sensors and the intensity of light. Strong natural or intentional external lighting of the camera can degrade the image.

Intense light flux saturates the pixel with electrons. In a saturated pixel, the electron charge deforms the potentials in the semiconductor substrate, which creates direct channels for flow to neighboring pixels (the blooming effect), illuminating them. Bright halos appear in the image around the light source. Electron blooming can begin when a pixel is not fully saturated. In this case, the flow occurs by tunneling electrons into the potential wells of neighboring pixels. The influence of external lighting is most effective in the area of maximum sensor sensitivity, which mostly falls on the green part of the spectrum. When illuminating the sensor in a given spectral region, even tunneling charge blooming can distort the color transmission in neighboring areas of the sensor, suppressing components of other spectral channels. As a result, the picture becomes blurry, and fine image details disappear.

TRANSFER OF LASER ENERGY TO THIN CYLINDRICAL TARGETS

*M. Kokodii¹, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor;
A. Natarova², Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
D. Natarov³, Candidate of Physical and Mathematical Sciences;
S. Dukhopelnykov⁴, Candidate of Physical and Mathematical Sciences*

¹V.N. Karazin Kharkiv National University;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

³O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics;

*⁴Institute of Electronics and Numerical Technologies, Universite de Rennes,
Rennes, France*

The strength of the interaction of electromagnetic radiation with an object depends on the ratio between the wavelength λ and the dimensions of the object D . The efficiency factor of radiation absorption in wires with a diameter of several micrometers in the centimeter wavelength range is several hundred. Therefore, this effect can be used to transmit electromagnetic radiation energy, such as laser radiation, to thin conducting fibers without focusing of the beam.

Strong absorption of electromagnetic radiation in thin conductors is also observed when the conductor is located along the axis of the radiation beam, although in this case the electric vector of the wave is perpendicular to the axis of the conductor, and it cannot excite a current. Here, the transformation of the incident plane wave into a Sommerfeld wave with a longitudinal component of the electric field occurs.

The experiment was worked to measure absorption in a platinum wire located along the axis of a CO₂ laser beam with the wavelength of 10.6 μm. The length of the wire was 20 mm, the diameter was 20 μm. The diameter of the beam at the location of the wire was 0.3 mm, i.e. its cross-sectional area was 225 times greater than the cross-sectional area of the wire. The Temperature heating of the wire was determined by the change in its resistance.

METHOD FOR MEASURING TEMPERATURE PROFILES USING RADIO-ACOUSTIC ATMOSPHERIC SOUNDING SYSTEMS

A. Shamrai¹; O. Kartashov¹; I. Kondrashov¹; O. Strutsinskyi², Ph.D.

¹Kharkiv National University of Radio Electronics;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The theory and practice of radio-acoustic atmospheric sounding (RAS) systems have been developed over several decades, and the corresponding stations are currently in serial production; however, they still possess a number of drawbacks. In particular, the atmospheric temperature profiles obtained using these systems are characterized by insufficient accuracy and a long measurement time.

In conventional RAS systems, temperature profiling involves performing a fixed number of soundings and accumulating a large volume of measurement results, for most of which the Bragg condition in the atmosphere is not satisfied and which contain both random and systematic errors. By accumulating a significant number of measurement results at each profile point and subsequently averaging them, it is possible to compensate for the influence of systematic errors and achieve acceptable estimation accuracy.

This paper proposes a method for retrieving temperature profiles based on performing measurements under fulfillment of the Bragg condition, which is achieved by controlling the frequency of the probing radio signal as the acoustic pulse propagates through the atmosphere. Under these conditions, the amount of information about the atmospheric state contained in each individual measurement result is significantly increased.

Practical application of the proposed method for retrieving meteorological parameter profiles makes it possible to substantially reduce the profile measurement time (from tens of minutes to a few minutes) and to improve their accuracy. The method also enables the measurement of “instantaneous” temperature profiles obtained using a single acoustic pulse, which is particularly important for solving a number of applied problems.

ALGORITHM FOR FREQUENCY ADAPTATION OF RADIOACOUSTIC ATMOSPHERIC SOUNDING SYSTEMS

O. Kartashov¹; I. Kondrashov¹; A. Shamrai¹; O. Strutsinskyi², Ph.D.

¹Kharkiv National University of Radio Electronics;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Radio-acoustic sounding (RAS) stations retrieve vertical profiles of atmospheric meteorological parameters by receiving radio signals reflected from an acoustic pulse propagating through the atmosphere and influenced by changing atmospheric conditions.

This paper presents the results of the synthesis and analysis of an adaptive control algorithm for the frequency of the probing radio signal aimed at ensuring fulfillment of the Bragg condition, which defines the required relationship between the wavelengths of the probing acoustic and electromagnetic signals. In accordance with the separation principle known from optimal control theory, the problem of stochastic optimal control of the probing radio-signal frequency is decomposed into two sequentially executed problems: stochastic optimal filtering and deterministic control.

The algorithm includes a unit for estimating the speed of sound propagation in the atmosphere based on the characteristics of the scattered radio signal. The obtained sound-speed estimates are then processed by a sequential linear Kalman-type filter. The filtering results – optimal estimates of the state vector of the acoustic wave packet – are used to calculate the value of the probing radio-signal frequency that satisfies the Bragg condition at the next height point of the profile.

The results of mathematical computer simulations of the proposed adaptation algorithm demonstrate that its application makes it possible to improve the accuracy of the retrieved atmospheric temperature profiles and to extend the operational range of radio-acoustic sounding systems. The effectiveness of the algorithm largely depends on the mathematical model of the vertical profile used. RAS stations currently manufactured by industry can be enhanced through implementation of the proposed adaptation algorithm.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF INCREASING THE DETECTION RANGE OF ROTORCRAFT BY COASTAL AND SEA-BASED RADARS IN THE BLACK SEA REGION

S. Nikul¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Petrushenko¹; S. Leushin²

¹Odesa Military Academy;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Ensuring the density of radar detection of enemy air attack vehicles is important in the conditions of the War for Independence of Ukraine and the subsequent deterrence of repeated aggression. We considered publications applicable to detecting rotorcrafts above the sea surface by the centimeter range of radio waves. A feature of the coastal regions of Ukraine, with the exception of the Crimea temporarily occupied by Moscovia, is the absence of dominant heights, which limits the range of direct vision of low-altitude targets.

Placing of transmitter antenna on a radio buoy allows to improve the signal-to-noise ratio, but doesn't allow to avoid the limitation of the requisition for direct vision of the target.

The cross-sectional area of the helicopters propeller is significantly smaller than the hull, but needs calculation of effective scattering area too, because the hull position relative to the radar signal is constant and can be at the minimum of the effective scattering area, while the propeller is constantly rotating – it constantly passes through the maxima of the effective scattering area in the direction of the receiver.

The existence of a tropospheric radio waveguide helps to increase the target detection range: a) the curvature of the propagation direction of radio waves ensures the passage of radio waves to the target and back; b) the concentration of energy within the height of the radio waveguide reduces the attenuation of the radiated and

scattered signals, which improves the signal-to-noise ratio compared to the case of propagation in a free environment. The work estimate the potential detection range up to 380 km.

In case of over-the-horizon radiolocation by a tropospheric radio waveguide most of the noise is correlated with the main signal. In this reason detailed study of the statistical characteristics of this noise will allow to improve the recognition of the signal scattered by the target.

INTEGRATION OF AEROMODELLING AND 3D PRINTING IN UNMANNED SYSTEM DESIGN

O. Perehuda¹; O. Avramchuk¹, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor;

O. Lukashuk², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Korolov Zhytomyr Military Institute;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The development of unmanned systems requires experienced specialists in bench and aeromodelling as well as 3D manufacturing. A solid grasp of the laws of physics – particularly aerodynamics, mechanics, and thermodynamics – is essential for successful development from concept through production.

Accelerated Development. Reduces time to a functional prototype to days, allowing rapid iteration on assemblies without costly tooling.

Practical Aeromodelling Knowledge. Yields empirical data on center of gravity, stiffness, vibrations, and controllability – factors that calculations alone cannot fully predict.

Print Optimization. Uses fixtures, cable management, fairings, and tooling elements to boost reliability without adding excessive weight.

Material Selection. Combines soft materials for mock-ups with metal inserts for increased durability and dependability.

Error Prevention. Addresses overloads, vibrations, and functional shortcomings through systematic testing.

Developer Competencies. Encompasses CAD modeling, a deep understanding of mechanics and materials, and a hands-on experimental culture.

Conclusion: The combined application of aeromodelling, 3D printing, and rigorous testing – grounded in the laws of physics – creates an efficient environment for developing reliable unmanned systems.

РОЛЬ ЗАКОНІВ ФІЗИКИ У РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ РАКЕТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ю.Ю. Писаренко¹; П.С. Шевчук¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.;

А.О. Натарова², к.ф.-м.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Ракетобудування є передовою інженерною галуззю, що інтегрує основні закони фізики з практичними викликами військової техніки. Усі стадії роботи ракети регулюються законами механіки, термодинаміки, газодинаміки, аеродинаміки та електромагнетизму. Основний принцип руху ракети ґрунтується на реактивному русі. На основі зв'язку між швидкістю ракети, масою пального та швидкістю витікання газів реалізується принцип дії

балістичних, крилатих і зенітних ракетах, де зміна маси під час польоту суттєво впливає на динаміку їхнього руху.

Зенітна керована ракета 9М38 із комплексу “Бук” оснащена твердопаливним двигуном, його функціонування регулюється рівняннями газової динаміки й термодинаміки.

Балістичні ракети типу “Точка-У” також використовують твердопаливні двигуни для генерації значного імпульсу за короткий проміжок часу. В таких умовах особливого значення набувають фізичні розрахунки міцності корпусу через його підвищене навантаження від внутрішніх тисків і перевантажень.

Системи наведення ракет залучають електромагнітні хвилі та теплове випромінювання. Радіолокаційні головки самонаведення діють за рахунок відбиття радіохвиль від цілей відповідно до електродинамічних законів; натомість теплові головки реагують на інфрачервоне випромінювання згідно із законами теплового випромінювання. Корпуси й компоненти ракет виготовляються з матеріалів, які можуть витримувати екстремальні температури та великі механічні навантаження й вібрації, що пояснюється законами механіки твердих тіл, теплопередачі й молекулярної фізики.

Фізика слугує фундаментальною науковою основою для розвитку технологій у сфері ракетобудування і збільшення ефективності сучасних озброєння систем.

ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ У ВІЙСЬКОВІЙ ГАЛУЗІ

Р.С. Бойко¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; О.В. Карпенко², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Явище дифракції характеризується відхиленням променів/світлових хвиль від прямолінійного поширення при проходженні через вузькі отвори або біля країв перешкод. Це явище підтверджує хвильову природу світла та має важливе значення для оптичних систем, що використовуються у військовій галузі.

У військовій техніці дифракція світла враховується при проєктуванні оптичних прицілів, тепловізорів, лазерних далекомірів та систем спостереження. Вона визначає граничну роздільну здатність оптичних приладів і впливає на точність наведення озброєння.

Особливо важливою є роль дифракції у лазерних системах, де вона обмежує фокусування променя та дальність ефективного ураження цілі. Також дифракційні ефекти використовуються у маскувальних технологіях, зокрема в оптичних покриттях і сітках, що зменшують помітність техніки. Врахування явища дифракції світла дозволяє підвищити ефективність військових оптичних систем та вдосконалювати засоби спостереження і наведення.

Основним викликом, пов'язаним із дифракцією світла у військових оптичних системах, є обмеження роздільної здатності приладів спостереження та прицілювання. За малих розмірів оптичних елементів дифракційні ефекти знижують чіткість зображення, що може впливати на точність виявлення та ідентифікації цілей.

Перспективами використання дифракції для покращення та вдосконалення військових пристроїв є застосування сучасних матеріалів, адаптивної оптики та цифрової обробки зображень, які дозволять компенсувати дифракційні

обмеження. Подальше вдосконалення оптичних систем сприятиме підвищенню дальності, точності та ефективності військових засобів спостереження.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

*А.О. Герман¹; О.Є. Ліщинська¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.;
О.Л. Кузнєцов², к.т.н., доц.*

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Стрімкий розвиток сучасних технологій призводить до підвищення рівня електромагнітного випромінювання. Електромагнітне випромінювання є процесом поширення коливань електричних і магнітних хвиль в просторі і часі. Джерелами цього випромінювання можуть бути елементарні частинки, атоми, молекули тощо. Інтенсивність негативної дії ЕМВ залежить від частоти коливань, напруженості поля та тривалості впливу. Найбільшу небезпеку становить саме довготривала дія випромінювання.

У військовій галузі випромінювання в більшості відбувається від приладів радіолокаційних систем, засобів військового зв'язку, систем РЕБ. До прикладу, серед засобів зв'язку є польові ретранслятори, які через антени постійно приймають сигнал і знову його випромінюють. Сучасна війна неможлива без засобів, які працюють на електромагнітному випромінюванні, адже це означає втрату радіозв'язку, роботи ППО, управління БПЛА, навігації та інше. Найпотужнішим джерелом випромінювання є радіолокаційна станція, оскільки її завданням є випромінювати сигнал на значну відстань. РЛС бувають: протиповітряні – для наведення зенітних ракет; корабельні та авіаційні радари. РЛС працює за наступним принципом: генерування надпотужного імпульсу; подання імпульсу на антену великого розміру; випромінювання антеною сильної електромагнітної хвилі; відбиття хвилі від об'єкта; фіксування відбитого сигналу. Оскільки у військовій галузі є поширеним електромагнітне випромінювання, то актуальним стає питання захисту військовослужбовців від його впливу. Важливо правильно організувати проходження служби біля приладів з потужним електромагнітним випромінюванням (РЛС): використовувати санітарно-захисні зони; контролювати перебування особового складу в зоні прямої дії антени під час роботи РЛС; обмежувати у часі перебування особового складу; раціонально використовувати електромагнітні прилади та допускати до експлуатації лише військовослужбовців-спеціалістів. За потреби слід використовувати спеціальні засоби захисту.

СТОЯЧІ ХВИЛІ У ВІЙСЬКОВІЙ ГАЛУЗІ

Д.В. Дацько¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; А.І. Нос², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Стоячі хвилі відносяться до особливих елементів в процесі передачі інформації. Вони відіграють важливу роль у сучасній військовій галузі, оскільки є основою роботи багатьох систем зв'язку, радіолокації та

високоточної зброї. Їх властивості широко використовуються для підвищення ефективності та надійності військових технологій.

Стояча хвиля утворюється в результаті накладання/інтерференції двох хвиль однакової частоти та незмінної в часі різниці фаз, що поширюються назустріч одна одній. У такій хвилі виникають вузли та пучності, положення яких залишається незмінним у просторі (відповідно максимуми та мінімуми інтенсивності). У військових системах зв'язку стоячі хвилі враховуються при проєктуванні антен, хвилеводів та ліній передачі сигналів. Неправильне узгодження імпедансів може призводити до виникнення небажаних стоячих хвиль, що знижує ефективність передачі енергії та може пошкоджувати апаратуру.

У радіолокаційних станціях явище стоячих хвиль використовується для налаштування резонансних камер, фільтрів та вимірювання параметрів сигналу. Це дозволяє підвищити точність виявлення цілей і стабільність роботи РЛС.

Стоячі хвилі також застосовуються у військовій електроніці, зокрема в резонаторах, генераторах надвисоких частот та системах наведення високоточної зброї. Контроль резонансних режимів дає змогу досягати необхідних частотних характеристик. Основною проблемою є негативний вплив небажаних стоячих хвиль на стабільність та довговічність обладнання. Перспективи розвитку пов'язані з удосконаленням методів узгодження, використанням нових матеріалів та адаптивних систем контролю хвильових процесів.

Стоячі хвилі є важливим фізичним явищем у військовій галузі, що одночасно може бути як корисним інструментом, так і джерелом проблем. Грамотне використання та контроль цього явища дозволяє підвищити ефективність і надійність сучасних військових систем.

ІНФРАЧЕРВОНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Р.С. Бойко¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; А.О. Ковальчук², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Інфрачервоне випромінювання є одним з видів електромагнітного випромінювання; характеризується діапазоном довжин хвиль/частот між видимим світлом і радіохвилями. Інфрачервоне випромінювання взаємопов'язано з тепловим випромінюванням об'єктів. Усі тіла з температурою, що вище нуля, випромінюють інфрачервоні хвилі.

У військовій сфері інфрачервоне випромінювання широко застосовується в тепловізійних приладах, системах нічного бачення та засобах наведення озброєння. Тепловізори дозволяють виявляти живу силу, техніку та укриття противника незалежно від освітлення та погодних умов.

Інфрачервоні датчики використовуються у системах самонаведення ракет, де вони реагують на теплове випромінювання цілі. Також знання фізики інфрачервоного випромінювання застосовується для розробки теплового маскувального, яке знижує помітність об'єктів на полі бою.

Основним викликом використання інфрачервоного випромінювання у військовій галузі є зростання ефективності теплового маскувального противника та вплив погодних умов, які можуть знижувати точність тепловізійних систем.

Доцільно відмітити, що всі сучасні високоточні інфрачервоні прилади залишаються дорогими у виробництві.

Перспективи розвитку використання інфрачервоного випромінювання у військовій галузі – це створення більш чутливих сенсорів, удосконаленням алгоритмів обробки теплових зображень та зменшенням габаритів обладнання. Очікується широке впровадження інфрачервоних систем у безпілотних платформах та засобах автоматичного виявлення цілей.

ТВЕРДОТІЛЬНІ АКУМУЛЯТОРИ ЯК РЕВОЛЮЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЖИВЛЕННЯ БПЛА

О.В. Раєвський¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; А.В. Чумаченко²

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Для безперервної роботи пристроїв необхідними є резервні джерела живлення, одними з яких є акумулятори різних видів. Акумулятори є критичним елементом БПЛА, визначаючи автономність самих БПЛА та їх живучість. Традиційні літій-іонні та літій-полімерні (LiPo/Li-Ion) батареї мають густину енергії 150–250 Вт·год/кг, проте ризики займання, здуття та витоку токсичного електроліту створюють певні проблеми у їх використанні.

Альтернативою вище зазначеним акумуляторам є твердотільні акумулятори (solid-state batteries, SSB) з твердим електролітом (кераміка, сульфід, оксиди, полімери), що усуває рідину, запобігає витокам та тепловому розбігу. Принцип роботи їх можна коротко охарактеризувати тим, що іони літію рухаються через твердий електроліт від катода до анода під час заряду/розряду.

Для БПЛА SSB забезпечують густину енергії 300–500 Вт·год/кг (зокрема 400 Вт·год/кг у Donut Lab), збільшуючи час польоту до 60–120+ хв, швидку зарядку (80 % за 3–5 хв), термін служби 1000–8000+ циклів та роботу при –30...+100 °С.

Станом на січень 2026 р. (CES 2026): ESOX Group інтерює SSB Donut Lab у військовий дрон-перехоплювач X1 (перший політ – січень 2026, серійне виробництво – друга половина 2026); Factorial постачає клітини для cargo-дронів Avidrone; EHang досяг 48-хвилинного польоту eVTOL з SSB.

Отже, твердотільні акумулятори здатні вагомо підвищувати автономність, безпеку та бойову ефективність БПЛА ЗС України. Впровадження цієї технології необхідне для посилення обороноздатності.

ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ З ФІЗИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВВНЗ В УМОВАХ РОЗОСЕРЕДЖЕННЯ

О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; С.Є. Кальний², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Сучасна вища військова освіта спрямована на забезпечення фундаментальної наукової, загальнокультурної та практичної підготовки фахівців даної галузі. Знання з фізики, набуті на якісному рівні, стають запорукою успішного подальшого навчання у ВВНЗ та подальшої професійної діяльності.

Впровадження та використання інтерактивних методів навчання на різних видах занять з фізики для сучасних курсантів є абсолютно прийнятним способом отримання, засвоєння та обробки даних, оскільки вже декілька років в школах практикується дистанційне навчання. Використання інтерактивних методів навчання в процесі проведення лекцій, практичних занять та виконання лабораторних робіт з фізики спрямоване на те, щоб курсанти могли в досить короткі терміни навчання опанувати знання, розуміти важливість вихідних даних, прогнозувати результати, виробити необхідні уміння та навички роботи з устаткуванням, що використовується і впродовж навчання і на першому курсі, і на старших курсах підготовки, і в подальшій діяльності військового спеціаліста за фахом.

В умовах сьогодення навчання курсантів проводиться в умовах розосередження, а інтенсивне вивчення матеріалу фізики на лабораторних заняттях дає змогу більш наочно показувати процес інтеграції дисциплін фундаментального курсу та спеціальних дисциплін підготовки курсантам. Очевидним стає факт, що злагодженість використання лабораторного устаткування лабораторії фізики в поєднанні з сучасними технологіями (Moodle, Google Meet, Google Disc, Photomath, відео, презентації тощо) спрямовуватиме курсантів на і на успішне засвоєння знань, і на зацікавленість вивчення матеріалу. Зрозуміло, що все це позитивним чином відобразиться як в процесі вивчення дисциплін спеціальних курсів підготовки, так і в подальшій роботі за фахом.

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ТЕХНОЛОГІЇ “СТЕЛС”

Б.І. Мельник¹; О.С. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; А.І. Нос², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Серед різних видів новітніх технологій окреме місце виділяється виділено стелс-технологіям, які містить комплекс заходів, що зменшують помітність військ: камуфляж, тепломаскування, зменшення радіовипромінювання тощо. З розвитком радіотехніки та збільшенням її використання у військах ставка робиться саме на маскування від засобів РЕР.

Основними способами зменшення електромагнітної сигнатури є використання спеціальних поглинаючих та радіопрозорих матеріалів, а також особливе проектування техніки (літаки та БПЛА з даною технологією мають форму “Крило” з мінімумом кутів, що можуть відбити радіохвилю; В-2 Spirit така форма суттєво зменшує ефективну площу розсіювання, що критично для протидії більшості оглядових РЛС). Концепти наземних броньованих машин також характеризуються особливими формами корпусу, але в них більше уваги зосереджено на розсіюванні інфрачервоного випромінювання.

Ефективне поєднання цих методів дозволяє досягати неймовірних показників ефективної площі розсіювання. Виробництво такої техніки вимагає надвисокої точності через специфіку матеріалів та складність конструкції. Тому іноді доводиться використовувати унікальні технології: електронно-променеве зварювання, що було використано при виготовленні ТУ-160; створення нових апаратів, що здатні виготовляти окремі елементи конструкції. Вказані фактори впливають на кінцеву вартість, яка й обмежує масове використання стелс-технологій. Для порівняння: В-2 Spirit станом на 2025 коштує 1,47 млрд доларів, а ТУ-160 – 450 млн доларів. Навіть високі

показники розсіювання не роблять техніку повністю невидимою (збиття літака-невидимки F-117 в Югославії, захоплення RQ-170 Sentinel Іраном). Враховуючи тенденцію на впровадження ШІ у військовій галузі, тенденції стелс-технологій набувають нового значення і розвитку: засоби виявлення, а також протидії розпізнаванню військових об'єктів нейромережами тощо.

Отже, технологія дозволяє ефективно маскувати власні сили, використовуючи новітні фізичні принципи. Однак ця перевага компенсується високою вартістю, що не дозволяє використовувати її масово.

POSSIBILITIES OF CREATING AXIALLY SYMMETRIC FIELD DISTRIBUTION IN THE PICTURE PLANE BY EMITTERS WITH A ROUND APERTURE

I. Kuzmychov¹, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor;

O. Voitovych¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Royenko¹, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher;

O. Barhatov², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics

National Academy of Sciences of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The purpose of the research is to test the possibility of creating an axially symmetric distribution of the electromagnetic field in the picture plane by emitters with a circular aperture.

Practical significance. To detect small-sized aircraft with a small effective scattering surface, it is necessary to increase the power of radar station transmitters and narrow the width of the radiation pattern of their antennas. The first option is not always possible, and the second requires larger system dimensions and additional devices for scanning and processing signals.

One way to reduce the power of transmitters is to use a passive optical system, which includes an axicon. An axicon is a dielectric structure that allows you to focus radiation energy in a small volume of space at a certain distance from the transmitter. This will significantly reduce its capacity and increase the energy resource. There are a number of publications (they will be shown in the report) with the results of experiments that indicate the prospects for the use of the axicon.

ЛАЗЕРНА ЗБРОЯ “ТРИЗУБ”

В.П. Халахур¹; М.М. Богдан¹; О.Є. Аврамчук², к.пед.н., доц.;

А.М. Коржов², к.т.н., доц.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Українська лазерна система озброєння “Тризуб” є новітньою вітчизняною розробкою у сфері протиповітряної оборони, призначеною для ураження повітряних цілей, зокрема безпілотних літальних апаратів і літаків, на висотах понад 2 км. Принцип дії комплексу базується на некінетичному впливі, який полягає у спрямованому лазерному опроміненні з метою виведення з ладу електронних компонентів, конструктивних елементів корпусу або паливних систем цілі. Поява цієї системи на озброєнні України наприкінці 2024 року свідчить про досягнення значного технологічного рівня, співставного з

провідними світовими зразками лазерної зброї, зокрема британським комплексом DragonFire, та підтверджує високу точність наведення і достатню потужність лазерного випромінювання.

Застосування комплексу “Тризуб” дозволяє здійснювати ураження повітряних об’єктів без використання традиційних ракетних або артилерійських засобів. На відміну від зенітних ракет лазерна система забезпечує безконтактний вплив шляхом локального теплового навантаження, що призводить до функціональної або повної втрати боєздатності повітряного апарата. Серед основних переваг лазерної зброї доцільно відзначити її високу економічну ефективність (вартість одного циклу застосування значно нижча порівняно з використанням зенітних ракет). Система характеризується безпшумністю та відсутністю демаскувальних ознак, практично миттєвою реакцією на загрозу, що забезпечує можливість послідовного ураження кількох цілей без необхідності перезаряджання.

Водночас ефективність лазерних систем значною мірою залежить від зовнішніх умов (атмосферні перешкоди можуть призводити до розсіювання лазерного променя та зниження його уражаючої здатності).

Незважаючи на зазначені виклики, впровадження лазерного комплексу “Тризуб” у систему протиповітряної оборони України має потенціал стати важливим етапом її розвитку.

РОЛЬ РАДІОТЕХНІКИ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

І.С. Токайчук¹; О.Є. Аврамчук¹, к.пед.н., доц.; А.Є. Присяжний², к.т.н.

¹Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Сучасні воєнні умови вимагають оперативного отримання та обробки інформації. У цьому контексті радіотехнічні системи відіграють важливу роль у Збройних Силах України, забезпечуючи контроль повітряного простору та підтримку процесу ухвалення бойових рішень.

До ключових завдань радіотехнічних підрозділів відносяться: безперервний контроль повітряного простору; виявлення та супровід повітряних об’єктів; передача точних координат та характеристик цілей; інформаційне забезпечення систем ППО та авіації. Завдяки цьому формується єдина система спостереження та реагування на повітряні загрози.

Радіoeлектронна розвідка є важливим елементом сучасних бойових дій, спрямованим на перехоплення й аналіз електромагнітних сигналів противника. Вона забезпечує виявлення розташування засобів управління, зв’язку та радіолокації без прямого зіткнення. РЕР ґрунтується на законах поширення електромагнітних хвиль. Будь-які радіозасоби випромінюють сигнали, які поширюються в просторі, відбиваються, заломлюються та дифрагують у навколишньому середовищі. РЕР пасивно приймає таке випромінювання, не демаскуючи себе.

Дані радіoeлектронної розвідки використовуються для планування операцій, наведення вогневих засобів і посилення радіoeлектронної боротьби, зменшуючи ризики для особового складу та забезпечуючи інформаційну перевагу. РЕБ спрямована на порушення роботи засобів зв’язку, навігації та управління противника. У взаємодії з радіoeлектронною розвідкою вона істотно знижує ефективність ворожої техніки; ґрунтується на цілеспрямованому впливі на електромагнітні хвилі з метою зниження

ефективності радіоелектронних засобів противника. Основні напрями РЕБ включають: заглушення сигналів шляхом створення штучних електромагнітних завад у вигляді шуму, що унеможливує або ускладнює приймання корисних сигналів; створення перешкод через навмисну зміну параметрів сигналу: фази, частоти, амплітуди. Це призведе до неправильної роботи приймальних систем.

RESEARCH ON METHODS FOR MODERNIZING THE MIG-29 AIRCRAFT IRRADIATION WARNING SYSTEM

*D. Sokolova; V. Kudryashova; O. Khizhnyuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern conditions of armed conflict, when radar and electronic warfare systems are actively used, improving the effectiveness of the MiG-29 aircraft's radiation warning system is one of the key areas for ensuring its combat capability. The main task of modernization is to create an adaptive threat detection system capable of functioning in conditions of intense electromagnetic countermeasures by the enemy.

Among the promising ways to improve the system is the introduction of an additional adaptive antenna system that allows for spatial selection of signals and increases the accuracy of determining the direction of the radiation source. The combination of centralized signal processing and automated data exchange between onboard subsystems helps reduce response time and increase the reliability of threat information.

A promising area of development is the improvement of algorithms for adaptive adjustment of reception parameters in accordance with the current radio-electronic situation. This ensures increased system noise immunity and a higher probability of timely warning of the pilot. Thus, the modernization of the radiation warning system is an important factor in increasing the combat effectiveness of the aircraft.

ACOUSTO-OPTIC CONVERTERS AND ELECTRONIC SCANNING SYSTEMS IN MILITARY RADIO ENGINEERING SYSTEMS

*İ.İ. Suleymanov; A.G. Huseynov; R.S. Guliyev; H.T. Kishiev
National Defense University, Baku, Azerbaijan*

Acousto-optic devices operating on the basis of the photoelastic effect represent an effective tool for physical (pre-digitization) signal transformation in modern military radar and communication systems. The interaction between optical and acoustic waves in a crystalline medium results in a spatio-temporal modulation of the refractive index, which is equivalent to the formation of a controllable diffraction grating. In the Bragg diffraction regime, high spectral selectivity and conversion efficiency are achieved, making such devices promising for signal selection, demodulation, and spatial beam control applications.

In contemporary research, acousto-optic systems are considered as elements of spectral and spatial filtering capable of providing high resolution and a wide tuning bandwidth [1], [2]. This is particularly relevant for military radio engineering systems operating under conditions of intense interference and dynamically changing electromagnetic environments. Transferring part of the processing to the

physical level reduces the computational load on digital modules and enhances resistance to overload in front-end circuits.

For pulsed modes typical of radar applications, the dynamic response of the acousto-optic channel is of critical importance. The approximation-based method for calculating the output parameters of an acousto-optic demodulator under pulsed input excitation makes it possible to formalize the dependence of the output signal on pulse duration, acoustic wave propagation velocity, and the length of the interaction region [3]. Such a model enables the evaluation of temporal resolution and energy efficiency of the conversion process.

The development of pulsed-signal demodulators based on the photoelastic effect expands the functional capabilities of acousto-optic converters by ensuring a linear relationship between the intensity of the diffracted radiation and the amplitude of the input signal. This creates the prerequisites for implementing preliminary analog processing before analog-to-digital conversion and reducing the impact of electromagnetic interference.

The metrological application of the photoelastic effect is associated with measuring parameters of optoelectronic devices, including laser radiation characteristics and photodetector response speed. Such integration of processing and monitoring functions increases the reliability of military optoelectronic systems and enables real-time self-calibration.

Spatial control of radiation is implemented through electronic scanning based on frequency tuning of the acoustic wave. A change in the excitation frequency leads to a variation in the diffraction angle, allowing inertialess beam steering.

The mathematical and physical-technical aspects of the operation of an atmospheric acousto-optic locator with an electronic scanner demonstrate the prospects of this approach for specialized military systems [4–8].

Thus, acousto-optic converters of pulsed signals and electronic scanning systems based on the photoelastic effect form a technological foundation for the development of interference-resistant, high-speed, and functionally integrated military radio engineering systems. Their application enables frequency-selective, temporal, and spatial signal processing at the physical level followed by digital adaptation, meeting modern requirements for reliability and efficiency in military radio-electronic complexes. Moreover, such architectures facilitate modular system design, allowing scalable integration into distributed sensing and communication platforms operating under harsh electromagnetic conditions.

In addition, the effectiveness of acousto-optic processing strongly depends on the material's acousto-optic figure of merit, acoustic attenuation, and thermal stability of the crystal. Temperature fluctuations may affect phase matching conditions and diffraction efficiency, which is critical in precision military applications.

Optimization of crystal orientation, interaction geometry, and transducer design allows improved bandwidth, reduced insertion losses, and enhanced overall interference immunity of the signal-processing chain. Careful material selection and advanced thermal management strategies further contribute to long-term operational stability and consistent performance in demanding field environments.

References

1. Pang, Y. (2022). Review of acousto-optic spectral systems and applications. *Frontiers in Physics*, 10, Article 1102996.
2. Sun, S., et al. (2024). Spatial-dependent spectral response of acousto-optic tunable filters. *Materials*, 17, 4537.

3. Hasanov, A. R. et al. Approximation method for calculation of output response parameters of acousto-optic demodulator on pulsed input influence. *Radioelectronics and Communications Systems*, 2023. 66(8), 432–437.

5. Abdullaeva A.J. et al. Mathematical approximation and physical-technical aspects of the operation of an atmospheric acousto-optic locator with an electronic scanner in military specialized systems. In *MCIT*. 2025. (pp. 81–82).

6. İbrahimov B.G. et al. Research throughput multiservice telecommunication networks. In “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. 2020. Т.1. p. 30.

7. Rustamov A. et al. System technical solution of electromagnetic adaptation. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(1), 86–90.

8. Rustamov, A. et al. Analysis of antenna system modeling with the help of simulation technology of navigation equipments. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(2), 36–43.

9. Ibrahimov B. G. Research quality of functioning of the efficiency optical telecommunication systems using spectral technologies. In Проблеми інформатизації. Т.1. 2023. – с. 29-30.

RESEARCH OF FREQUENCY-SELECTIVE FILTERS IN MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEMS UNDER INTENTIONAL INTERFERENCE

A.G. Huseynov¹; N.B. Mirzazade²; İ.İ. Suleymanov¹; H.T. Kishiev¹

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Baku Engineering University, Baku, Azerbaijan

Radio communication systems operating under conditions of intentional and unintentional interference require reliable reception with limited spectral resources and a constrained dynamic range of the signal path. Analysis of “jamming/anti-jamming” threats shows that, at the physical layer, frequency-selective operations play a key role: suppression of narrowband interference (notch filtering), limitation of out-of-band emissions, reduction of adjacent-channel interference, and mitigation of self-interference [1]. Of practical interest are adaptive notch structures and hybrid solutions combining “analog preselection before the ADC + digital post-processing” [2].

The objective of this study is to evaluate the impact of frequency-selective filtering parameters – structure type (FIR/IIR), notch bandwidth and depth, adaptation algorithm, and filter placement within the signal chain — on interference suppression efficiency and the resulting improvement in reception quality (SINR, BER) under intensive interference conditions.

Digital filtering is described by convolution

$$y[n] = \sum_{k=0}^M h[k]x[n-k]. \quad (1)$$

For the suppression of narrowband interference, a second-order IIR notch filter is used:

$$H(z) = \frac{1 - 2\cos(\omega_0)z^{-1} + z^{-2}}{1 - \cos(\omega_0)z^{-1} + r^2z^{-2}}, \quad 0 < r < 1, \quad (2)$$

where ω_0 determines the notch (rejection) frequency and r controls the notch bandwidth (depth and sharpness of attenuation).

The impact of adaptive notch filters on the signal acquisition and tracking stages has been confirmed in IEEE publications [2].

$$w_{n+1} = w_n + \mu e[n]x[n], \quad (3)$$

this approach is also applied in self-interference suppression tasks in radio systems [5]. The filtering efficiency is evaluated by the gain in the signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR):

$$SINR = \frac{P_s}{P_i + P_n}, \quad G_{SINR} = 10 \log_{10} \frac{SINR_{out}}{SINR_{in}}, \quad (4)$$

here, P_s is the signal power, P_i is the interference power, and P_n is the noise power.

It has been shown that an excessively wide notch bandwidth may lead to a loss of useful signal energy and an increase in BER, especially in complex scenarios involving multiple interferers [3]. For multiband systems, additional front-end filtering reduces spectral leakage and mutual interference [4].

Under conditions of strong interference, it is advisable to shift part of the frequency selectivity to the analog domain before the ADC, thereby reducing the risk of front-end overload, followed by digital adaptation. Acousto-optic devices based on the photoelastic effect can be employed as the analog stage; models of their response and dynamic characteristics are presented in studies [6–8], confirming the feasibility of physical frequency-selective processing prior to the digital stage.

Thus, frequency-selective filters (FIR/IIR, notch structures) constitute a fundamental means of enhancing interference immunity [1; 4], but they require parameter optimization and stability analysis [2; 3]. The most promising approach appears to be a hybrid architecture – “analog preselection → ADC → digital adaptation” – which ensures improved radio channel robustness under intensive interference conditions [5].

References

1. Pirayesh, H., & Zeng, H. (2022). *Jamming Attacks and Anti-Jamming Strategies in Wireless Networks: A Comprehensive Survey*. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 24(2), 767–809.
2. Qin, W. et al. (2020). *An Assessment of Impact of Adaptive Notch Filters for Interference Removal on the Signal Processing Stages of a GNSS Receiver*. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 56(5), 4067–4082.
3. Van der Merwe, J. R. et al. *Adaptive notch filtering against complex interference scenarios*. In 2020 European Navigation Conference (ENC).
4. Pham, T. H. et al. *Shaping spectral leakage for IEEE 802.11p vehicular communications*. In 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 2014.
5. Le, A.T. et al. *Analog least mean square adaptive filtering for self-interference cancellation in full-duplex radios*. IEEE Wireless Communications. 2020. 28(1), 12–18.
6. Гасанов, А.Р. et al. Апроксимаційний метод розрахунку параметрів вихідного відгуку акустооптичного демодулятора на імпульсний вхідний вплив. *Вісті вищих учбових закладів. Радіoeлектроніка*, 2023. 66(8), 490–496.

7. İbrahimov B.G. et al. Research throughput multiservice telecommunication networks In “Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління”. 2020. Т.1. р. 30.

8. Ibrahimov B. G. Research quality of functioning of the efficiency optical telecommunication systems using spectral technologies. In Проблеми інформатизації. Т.1. 2023. – с. 29-30.

9. Rustamov A. et al. System technical solution of electromagnetic adaptation. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(1), 86–90.

10. Rustamov, A. et al. Analysis of antenna system modeling with the help of simulation technology of navigation equipments. *Advanced Information Systems*, 2025. 9(2), 36–43.

11. Zulfugarov B. et al. Comparative analysis of the efficiency of various energy storages. In *Modeling, Control and Information Technologies: Proceedings of International scientific and practical conference*. – 2023. – № 6. – С. 42-45.

ПІДВИЩЕННЯ КОНТРАСТУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ’ЄКТІВ ЗАСОБАМИ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ФІЛЬТРІВ СРЦ

О.В. Соболяк, к.ф.-м.н.; В.І. Луценко, д.ф.-м.н., проф.;

І.В. Луценко, к.ф.-м.н., ст.д.; В.О. Трифанов

*Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Сучасні маловисотні повітряні цілі з малою ефективною площею розсіювання, такі як дрони-камікадзе та вертольоти, зумовлюють актуальність використання методів акустичної розвідки. З огляду на те, що традиційні радіолокаційні засоби мають обмежену дальність виявлення таких малорозмірних об’єктів, використання їх власних звукових сигнатур стає критично важливим інформаційним каналом для цілевказівки. Спектральна та кепстральна обробка із застосуванням гребінчастих фільтрів дозволяє ефективно ідентифікувати типи повітряних і наземних цілей за дельтоподібними гармоніками, що відповідають робочим обертам двигунів. Основним дестабілізуючим чинником виступає нестационарний низькочастотний шум вітру, для нейтралізації якого впроваджуються спеціалізовані фільтри селекції рухомих цілей. Режекція смуги частот 0–400 Гц забезпечує придушення завад на 8–15 дБ, а адаптивне розширення смуги режекції до 550 Гц стабілізує співвідношення сигнал/завада під час найбільш інтенсивних поривів вітру. Використання високочастотних фільтрів із режекцією до 200 Гц додатково підвищує коефіцієнт спостереження для БПЛА та бронетехніки на 3–9 дБ. Пеленгація джерел базується на взаємнокореляційній обробці сигналів мікрофонних пар, де обчислення часової затримки максимуму кореляційної функції дає змогу визначити курсовий кут та кут місця. При частоті оцифрування 22 кГц похибка пеленгування не перевищує 2°, що гарантує високу точність локалізації об’єктів у складних метеорологічних умовах та за відсутності оптичної видимості.

СИСТЕМА АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ МАЛОРОЗМІРНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

*О.В. Соболяк, к.ф.-м.н.; В.А. Єгоров, к.ф.-м.н.;
С.А. Єгоров, д.філос.; В.О. Тріфанов
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Повітряні об'єкти, що атакують на малих висотах, становлять загрозу як на лінії бойового зіткнення, так і для цивільної інфраструктури. Використання низьколетючих цілей з малою ефективною площею розсіювання зумовлює необхідність застосування систем акустичної розвідки для їх своєчасного виявлення та цілевказування. Для дослідження сигнатур об'єктів розроблено восьмиканальний вимірювальний комплекс на базі сенсорів INMP441, розташованих у конфігурації хреста Мілза з вимірювальними базами 0,5 м та 1,0 м. Параметри оцифрування сигналу з частотою 22 кГц і розрядністю 24 біти забезпечують прецизійний аналіз акустичних шумів. Спектральний аналіз дозволяє виявляти дискретні гармонійні складові у частотному діапазоні 200–1500 Гц, зумовлені робочими обертами двигунів, що забезпечує ідентифікацію БПЛА типу Shahed-136, Орлан, FPV та вертольотів за характерним частотним розносом. Наземна бронетанкова техніка ідентифікується за низькочастотними спектральними компонентами, кратними частоті обертання колінчастого вала двигуна. Пеленгація джерел звуку базується на взаємнокореляційній обробці сигналів мікрофонних пар шляхом визначення часової затримки максимуму взаємнокореляційної функції. Для повітряних об'єктів інтегрована система одночасно обчислює курсовий кут і кут місця, тоді як для наземних цілей визначається лише азимутальний напрямок. Оптиміальне поєднання геометрії сенсорів і високої частоти дискретизації забезпечує зменшення похибки визначення пеленгу до 2°, що дає змогу точно локалізувати об'єкти за відсутності оптичної видимості, зокрема вночі або при сильному задимленні місцевості.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НЕГАУСОВИХ СТАТИСТИК АКУСТИЧНИХ ШУМІВ ДОВКІЛЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ

*О.В. Соболяк, к.ф.-м.н.; В.І. Луценко, д.ф.-м.н., проф.;
І.В. Луценко, к.ф.-м.н., ст.д.; В.О. Тріфанов
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Сучасні обмеження оптичних та радіолокаційних засобів (метеоумови, технології “Стелз”) роблять власні акустичні шуми БПЛА важливим каналом їх виявлення. Проте системи акустичної розвідки вразливі до нестационарних завад довкілля, зокрема поривів вітру (10–20 % часу), які спричиняють сплески хибної тривоги у класичних виявлювачах сигналу Неймана-Пірсона з фіксованим порогом прийняття рішення.

Для опису таких завад запропоновано апарат вкладених напівмарківських процесів.

Модель використовує змішані двокомпонентні випадкові процеси $\{(S_t), (\theta_t)\}$, де одна компонента – безперервна, а інша – дискретна (t – узагальнений час). Дискретна компонента (θ_t) визначає поточний фазовий стан (наприклад, “штиль” чи “порив”). Перехід між можливими станами описується через матрицю ймовірностей P_{ij} та час очікування в стані T_{ij} . Безперервна компонента (S_t) описує амплітудно-спектральні характеристики шуму в межах квазістаціонарності кожного стану.

Запропонований статистичний опис сигналу дозволяє врахувати мінливість акустичного фону, зумовлену типом рослинності, опадами та неоднорідністю вітру.

Враховуючи, що реальні завади є суттєво нестационарними та негаусовими, а традиційні моделі – неефективними, застосування напівмарківських процесів формалізує фізичні чинники середовища та створює базу для розробки адаптивних систем розвідки з підвищеною дальністю дії в складних завадових умовах.

АНАЛІЗ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК І РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ АВТОДИННОГО РАДІОЛОКАТОРА

*Г.П. Єрмак, к.ф.-м.н.; А.В. Варавін, к.ф.-м.н.; О.С. Васильєв, к.ф.-м.н.;
О.В. Фатєєв*

*Інститут радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова
Національної академії наук України*

Основним параметром автодинних радіолокаторів малого радіусу дії є енергетичний потенціал. Даний параметр, пов'язаний безпосередньо з шумовими характеристиками використовуваних НВЧ генераторів, визначає можливості датчиків по дальності дії, надійності виявлення і точності вимірювання параметрів руху об'єктів.

Отримано основні вирази для розрахунку шумових параметрів автодинного радіолокатора малого радіусу дії, що враховують внутрішні шуми НВЧ генератора та шуми джерела живлення. Виконано розрахунки граничної чутливості, енергетичного потенціалу та ширини динамічного діапазону автодинного радіолокатора на діоді Ганна 8-мм діапазону.

ВПЛИВ НЕГАУСОВОСТІ СТАТИСТИК ШУМІВ ДОВКІЛЛЯ НА ДАЛЬНІСТЬ ДІЇ СИСТЕМ АКУСТИЧНОЇ РОЗВІДКИ

*О.В. Соболяк, к.ф.-м.н.; В.І. Луценко, д.ф.-м.н., проф.;
І.В. Луценко, к.ф.-м.н., ст.д.; В.О. Тріфанов
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Нестационарність та негаусовість акустичних завад, зокрема шуму вітру, критично погіршують роботу акустичних систем розвідки в реальних умовах експлуатації. Такі завади мають суттєві часові флуктуації амплітуди та спектра, що ускладнює виділення сигналу. Використання класичних виявлювачів Неймана-Пірсона з фіксованим порогом призводить до зростання ймовірності хибних тривог під час поривів вітру, що спричиняє енергетичні

втрати до 10–20 дБ та скорочення дальності дії систем у 3–5 разів із відповідним зниженням точності пеленгування.

Для мінімізації цих факторів пропонуються такі технічні рішення. Впровадження адаптивного керування порогом забезпечує нормалізацію статистик завади та стабілізацію рівня вихідного шуму. Використання непараметричних виявлювачів (медіанного та лінійно-рангового) дозволяє підвищити стійкість до змін середовища при незначних втратах ефективності (1–2 дБ) порівняно з повністю адаптивними системами. У модулях селекції рухомих цілей доцільно застосовувати динамічне регулювання ширини смуги режекції відповідно до поточної інтенсивності шуму. Розширення смуги режекції під час сплесків завади підвищує коефіцієнт її придушення та оптимізує умови виявлення сигналу.

Такий комплексний підхід дозволяє нівелювати вплив нестаціонарного фону та відновити проєктну дальність дії і точність пеленгування систем розвідки. Застосування цих методів адаптації є обов'язковою умовою забезпечення їх ефективності в умовах реального довкілля.

ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ЕФЕКТИВНОЇ ПОВЕРХНІ РОЗСІЯННЯ ДЛЯ ЦІЛЕЙ В МІЛІМЕТРОВОМУ І САНТИМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНАХ ДОВЖИН РАДІОХВИЛЬ

*О.В. Букін, к.ф.-м.н.; Г.І. Кошовий, к.ф.-м.н., с.н.с.;
Ю.Ф. Логвінов, д.ф.-м.н., с.н.с.; Ю.О. Педенко, к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Роботу присвячено моделюванню зворотного розсіювання електромагнітного поля стосовно міліметрового і сантиметрового діапазонів довжин радіохвиль. Актуальність таких досліджень визначається потребою в отриманні характеристик розсіювання електромагнітних хвиль різними об'єктами на етапі моделювання. Метою роботи є визначення придатності найбільш поширених методів дифракційної формули Френеля–Кірхгофа і методу дотичної площини для розрахунку питомої ефективної поверхні розсіювання цілей на фоні підстильної поверхні. Якість методів контролювалась на розсіянні електромагнітного поля на відомих цілях типу металеві кулі і металеві пластини. Ефективність методів вимірювалась через варіацію розміру дискретизації поверхонь цілей і, відповідно, обчислювальних витрат.

З'ясовано, що для чисельного моделювання розсіювання електромагнітного поля на різних цілях і поверхнях краще використовувати дифракційну формулу Френеля–Кірхгофа, яка при зменшенні дискретизації поверхні асимптотично наближається до теоретичного значення питомої ефективної поверхні розсіювання. При цьому в діапазонах сантиметрових і міліметрових радіохвиль дискретизація поверхні не повинна перевищувати значення 0,01...0,02 від використовуваної довжини хвилі.

Метод дотичної площини дає збіг по якісних змінах питомої ефективної поверхні розсіювання, але значення питомої ефективної поверхні розсіювання не співпадають з теоретичними навіть при дуже малих параметрах дискретизації поверхні цілей.

ЗАХИСТ МАГНЕТРОННИХ ПЕРЕДАВАЧІВ ВІД ПЕРЕНАПРУТ ПІД НЕУЗГОДЖЕНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

*І.М. Миценко, д.ф.-м.н. с.н.с.; О.М. Роєнко, к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Незважаючи на бурхливий розвиток РЛС виявлення повітряних цілей, у них, як і раніше, використовуються магнетронні передавачі, завдяки їхній великій імпульсній потужності та меншій вартості. Однак при неузгодженні хвильоводного тракту РЛС, викликаного різними причинами, та появі відбитої хвилі можливий вихід з ладу магнетрону. Запобігти цьому можна за допомогою запропонованого пристрою захисту. Воно складається з відгалужувача, детектора, порогового пристрою, схеми калібрування та індикації, блоку живлення та використано у хвильоводному тракті трисантиметрового діапазону радіохвиль.

При неузгодженні навантаження магнетронного передавача частина відбитої хвилі відгалужується в плече із встановленою детекторною секцією. Сигнал детектора подається на вхід порогового пристрою. Поріг спрацьовування встановлюється рівним значенню сигналу при граничній допустимій відбитій потужності. Пороговий пристрій спрацьовує та відключає запуск блока живлення магнетрону. Для отримання найбільшої стабільності коефіцієнта передачі детектора при зміні температури використовується лінійна частина його детекторної характеристики. Калібрування пристрою здійснюється шляхом подачі на детектор сигналу від автогенератора нижчої частоти.

Експериментальна перевірка показала працездатність пристрою та доцільність його застосування для захисту потужних магнетронних передавачів РЛС виявлення повітряних цілей.

МЕТОД АДАПТИВНОГО КАЛІБРУВАННЯ МАТРИЦІ ТЕПЛОВІЗОРУ ДЛЯ ПОВІТРЯНОГО ВИЯВЛЕННЯ СКРИТИХ ПІДПОВЕРХНЕВИХ ОБ'ЄКТІВ У ҐРУНТІ

*С.І. Мельник, к.т.н., доц.; С.С. Мельник, к.ф.-м.н., с.н.с.; С.М. Лобазов
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Проблема виявлення прихованих під поверхнею ґрунту об'єктів (зокрема для розмінування великих територій) може бути вирішена тепловізійним методом при використанні БПЛА. Однак великий рівень засміченості поверхні дає безліч артефактів, які суттєво обмежують можливості методу. У зв'язку з цим нами раніше було розроблено диференціальний метод обстеження та обробки отриманих термограм, що дозволяє частково усунути цей фактор.

Тим не менш, виявлення глибоко занурених об'єктів, які генерують занадто малий (підпороговий) температурний перепад на поверхні ґрунту, виявляється мало достовірним. У зв'язку з цим ми розробили новий метод адаптивного калібрування матриці тепловізора, який дозволяє майже повністю компенсувати артефакти, що заважають виявленню.

Він полягає у попередній зміні калібрувальної матриці тепловізора таким чином, щоб однорідно нагріта поверхня ґрунту (момент для зйомки такого

кадру розраховується окремо) виглядала однорідною поверхнею. Тим самим тепловізор виявляється адаптованим до конкретної “тепловізійної сцени” з довільним розподілом неоднорідностей коефіцієнта випромінювання (теплових артефактів) на її поверхні.

Після цього достовірність виявлення реальних температурних перепадів над неоднорідностями, що знаходяться на великій глибині під поверхнею ґрунту, зростає у декілька разів. Це підтверджують попередні результати моделювання та лабораторних експериментів.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛУКТУАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ, РОЗСІЯНИХ КОРАБЛЯМИ ПРИ ДВОПОЗИЦІЙНІЙ РАДІОЛОКАЦІЇ

*В.Г. Гутнік, к.ф.-м.н.; О.С. Курекін, к.т.н.; В.М. Горобець, к.ф.-м.н.
Радіоастрономічний інститут Національної академії наук України;
Інститут радіофізики та електроніки ім.О.Я.Усикова
Національної академії наук України*

У доповіді наведено результати експериментальних досліджень флукутаційних характеристик сигналів, розсіяних кораблями при двопозиційній радіолокації. Отримано дані щодо просторової структури розсіяного поля.

Показано, що структура розсіяного поля визначається ефективною областю освітлення й спостереження корабля та залежить від ракурсної геометрії. Ширина просторових пелюсток обернено пропорційна довжині хвилі та досягає максимуму при спостереженні з носових і кормових напрямків, тоді як найбільш порізана інтерференційна структура реалізується при бортовому ракурсі. Встановлено, що ширина спектра амплітудних флукутацій також обернено пропорційна довжині хвилі. Спектральні максимуми зумовлені взаємодією діаграми спрямованості приймальної антени з пелюстковою структурою поля, сформованою як поступальним рухом корабля, так і його хитавицею.

Виявлено, що характер залежності енергетичних, поляризаційних і спектральних характеристик розсіяного поля від кутів рознесення є подібним для різних типів кораблів. Геометричні розміри судна визначають абсолютні значення ефективної площі розсіяння (ЕПР) та просторову частоту флукутацій поля.

ФОРМУВАННЯ СИГНАЛЬНИХ І ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОДИНІВ ПРИ ВИСОКИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ ЦІЛІ

*Г.П. Єрмак, к.ф.-м.н.; А.В. Варавін, к.ф.-м.н.;
О.С. Васильєв, к.ф.-м.н.; В.М. Желтов, к.ф.-м.н.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Автодини завдяки поєднанню в одному каскаді – автогенераторі функцій передавача та приймача відбитого від об’єкта електромагнітного випромінювання забезпечують конструктивну простоту, компактність та відносно низьку вартість НВЧ модуля. Тому дані пристрої широко використовуються у тих системах, у яких ці якості є визначальними.

Наприклад, у радіолокаційних підричниках боеприпасів, вимірювальній апаратурі для проведення аеробалістичних випробувань, охоронних пристроях, датчиках та вимірювачах параметрів технологічних процесів та на транспорті.

Представлені результати аналізу параметрів автодина, що перебуває під впливом свого відбитого від цілі випромінювання і внутрішніх шумів автогенератора. Досліджено загальний випадок динаміки формування сигнальних та шумових характеристик залежно від відстані до цілі та швидкості її руху при довільному співвідношенні величини часу запізнення відбитого від цілі випромінювання та періоду автодинного відгуку. Встановлено явище періодичної нестационарності середньоквадратичного значення рівня фазових, частотних та амплітудних шумів за зміни відстані до цілі.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ РОЗСІЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ДОФРАКТАЛЬНИМИ СТРІЧКОВИМИ ГРАТКАМИ З ІМПЕДАНСОМ

*О.В. Букін, к.ф.-м.н., с.н.с.; Г.І. Кошовий, к.ф.-м.н., доц.;
Ю.Ф. Логвінов, д.ф.-м.н., с.н.с.; С.М. Лабазов
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Робота присвячена дослідженню основних характеристик розсіювання плоскої електромагнітної хвилі дофрактальними провідними стрічковими ґратками. Значну увагу приділено аналізу процесу творення найпростішого класу досконалих само подібних множин (СПМ) зі змінною дробовою розмірністю, які забезпечують основу для математичного впорядкування стрічкових систем. Досконалі СПМ відіграли та продовжують відігравати при створенні сучасних електронних пристроїв, де основою є різноманітні дофрактальні ґратки. Такі електронні пристрої займають особливе місце та виконують різноманітні комерційні та військові функції:

- визначення місця знаходження небезпечних чи недозволених джерел радіовипромінювання,
- пеленгація різних як рухомих та і не рухомих об'єктів у складних міських умовах,
- космічний зв'язок,

Наведена основна математична модель процесу взаємодії E -поляризованої хвилі з системою провідних стрічок з імпедансом. Розглядається асимптотична модель слабо наповнених стрічкових ґраток, що значно спрощує задачу розсіювання. Запропонована асимптотична модель є ефективною, як при визначенні вихідних змінних, так і при дослідженні основних характеристик розсіювання. На основі дослідження розсіяного електромагнітного поля у далекій зоні знайдені важливі інтегральні характеристики розсіювання. Розроблені алгоритми обчислення основних характеристик розсіювання слабо наповнених стрічкових ґраток. Проведені чисельні експерименти з виявлення специфічних особливостей у структурі діаграм розсіювання.

ШИРОКОСМУГОВИЙ КОГЕРЕНТНИЙ ПІДПОВЕРХНЕВИЙ РАДІОЛОКАТОР

О.В. Букін, к.ф.-м.н., с.н.с.; Ю.Ф. Логвінов, д.ф.-м.н., с.н.с.;

М.Г. Резніченко; О.В. Дробна

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова

Національної академії наук України

З метою створення приладу, що дозволяє методом неруйнівного контролю здійснювати пошук металевих і пластикових об'єктів, які мають лінійні розміри від 5 см і більше, та знаходяться під поверхнею ґрунту на глибині до 50 см, був розроблений і виготовлений діючий макет георадара.

Робочий діапазон частот георадара знаходиться в межах від 500 до 2033 МГц. Зонduючий сигнал георадара являє собою лінійно зростаючу, з кроком в 3 МГц, послідовність монохроматичних радіоімпульсів. Загальна кількість частотних кроків дорівнює 512. Вихідна потужність зондувального сигналу на кожному частотному кроці дорівнює 10 мВт.

Приймальний тракт побудовано за супергетеродинної схемою з двома когерентними гетеродинами та квадратурним детектором. Сигнал з квадратурного та синфазного виходів квадратурного детектора надходить на вхід 2-х 16-розрядних АЦП.

Математична обробка відбитих зондувальних сигналів проводиться із застосуванням перетворення Фур'є та алгоритму спектрального оцінювання MUSIC.

Технічні характеристики георадара були підтверджені в ході лабораторних випробувань. Надалі передбачається проведення натурних випробувань, а саме пошук в польових умовах підповерхневих об'єктів із заявленими вище розмірами і глибиною розташування у ґрунті.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГРАМ РОЗСПІОВАННЯ ВУЗЬКО СТРІЧКОВИХ СЛАБО НАПОВНЕНИХ ДОФРАКТАЛЬНИХ ГРАТОК

О.В. Букін, к.ф.-м.н., с.н.с.; Г.І. Кошовий, к.ф.-м.н., доц.;

Ю.Ф. Логвінов, д.ф.-м.н., с.н.с.; В.І. Карпенко

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова

Національної академії наук України

У роботі проводяться дослідження основних характеристик розсіювання плоскої електромагнітної хвилі системами абсолютно тонких та провідних плоских стрічок з імпедансом, що розташовані за законами побудови досконалої множини зі змінною дробовою розмірністю. Постановка задачі розсіювання є класично строгою в рамках певних припущень та використані кілька математичних моделей, отриманих класичними методами (методом інтегральних рівнянь, асимптотичний метод лорда Релея) та їх модифікаціями. Приділена значна увага двом узагальненням класичної ніде не щільної досконалої множини з розмірністю $\ln 2 / \ln 3$, що значно розширюють можливості практичних застосувань таких множин. Пропонується детальний фрактальний аналіз процесу творення двох різних класів ніде не щільних досконалих множин зі змінною дробовою розмірністю. Розроблена досить проста асимптотична модель розсіювання *E*-поляризованої хвилі вузько-

стрічковими слабо наповненими ґратками, впорядкованими за законами побудови досконалих множин зі змінною дробовою розмірністю $\ln 2 / \ln c$ ($c > 2$) та $\ln 3 / \ln c$ ($c > 3$). Ці асимптотичні моделі складають основу створення алгоритмів для розрахунку діаграм спрямованості певних класів стрічкових ґраток впорядкованих за новими математичними законами. Щоб показати ефективність асимптотичної моделі, розроблені програми розрахунку характеристик спрямованості вузько-стрічкових слабо наповнених ґраток та проводиться числовий експеримент. Проведені дослідження можуть бути корисними для поліпшення якісної роботи радіоелектронних пристроїв, де використовуються антенні ґратки.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НАВІГАЦІЙНИХ ПОХИБОК ПЛАТФОРМИ НА ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТЕЙ У СИСТЕМАХ ATI-SAR

*В.М. Горобець, к.ф.-м.н.; О.Л. Коворотний; С.М. Зотов; В.Г. Гутнік, к.ф.-м.н.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

У тезах наведено результати чисельного моделювання похибок вимірювання радіальної швидкості рухомих об'єктів у бортових радіолокаційних системах із синтезованою апертурою та вздовжтрасовою інтерферометрією (ATI-SAR). Розглянуто вплив навігаційних похибок платформи – помилок визначення модуля швидкості та кутів орієнтації – на інтерферометричну фазу і точність оцінки радіальної швидкості.

Чисельна модель враховує реалістичну геометрію спостереження та параметри, характерні для літакових і безпілотних FMCW ATI-SAR систем. Ураховано похибки модуля та напрямку вектора швидкості платформи, які задаються малими похибками кутів рискання, тангажа і крену, що формуються інерціально-навігаційними системами. Модель базується на аналітичних фазових співвідношеннях і дозволяє перевірити їхню працездатність для конкретної конфігурації.

Показано, що внесок навігаційних похибок суттєво залежить від кута візування, сквинт-кута та часової бази інтерферометричних вимірювань. Для малих кутів візування домінує вплив похибок модуля швидкості, тоді як зі збільшенням кута візування і сквинт-кута зростає чутливість до похибок кутів орієнтації. Отримані результати узгоджуються з аналітичними оцінками та можуть бути використані для оптимізації параметрів ATI-SAR систем і формування вимог до точності навігаційних засобів носія.

ПРИЙОМ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ У ШИРОКОМУ ДИНАМІЧНОМУ ДІАПАЗОНІ

*І.М. Миценко, д.ф.-м.н., с.н.с.; Ю.О. Педенко, к.т.н., с.н.с.;
О.М. Роєнко, к.ф.-м.н., с.н.с.
Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова
Національної академії наук України*

Внаслідок різних факторів сигнали від цілей, коливаються в широкому діапазоні, який істотно перевищує динамічний діапазон приймачів РЛС. Нелінійні спотворення сигналу при цьому заважають нормальній роботі РЛС.

Крім цього, при обмеженні вихідних сигналів може порушитися робота РЛС в цілому. Динамічний діапазон приймального пристрою визначається протяжністю лінійної частини його амплітудної характеристики. При малих сигналах вона обмежується квадратичною ділянкою детекторної характеристики, а при великих – переважанням вихідних каскадів. Метою даної роботи є збільшення динамічного діапазону приймача РЛС. Вона досягається шляхом використання спеціального блоку.

Блок містить підсилювач, суматор, два детектора та схему віднімання. На входи суматора одночасно подається прийнятий сигнал, а також його копія, що пройшла через підсилювач. Сума цих сигналів після детектування надходить на 1-й вхід схеми віднімання, при цьому копія забезпечує роботу на лінійній ділянці детекторної характеристики. На 2-й вхід схеми віднімання надходить лише продетектована зазначена вище копія. У підсумку на виході схеми віднімання з'являється лише сигнал, амплітуда якого пропорційна амплітуді вхідного сигналу навіть у разі обмеження в підсилювачі, оскільки його продетектований сигнал компенсується в схемі віднімання.

При експериментальному дослідженні приймача РЛС 3-сантиметрового діапазону був реалізований динамічний діапазон близько 80 дБ ($U_{\text{вх, min}} = 1 \cdot 10^{-6} \dots U_{\text{вх, max}} = 1 \cdot 10^{-2}$ В) при коефіцієнті нелінійних спотворень менше 3 %.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

С.В. Королько, к.т.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасна військова техніка стрімко змінюється під впливом новітніх досягнень у галузі електроніки. Одним із найпомітніших трендів є широке впровадження цифрових радіоелектронних систем нового покоління в оборонній промисловості. Важлива увага приділяється системам радіоелектронної боротьби, які здатні аналізувати електромагнітний спектр і виявляти противника на великих відстанях. Такі системи стають більш автономними та мають тенденцію використання алгоритмів штучного інтелекту. Поряд з тим, у Збройних Силах України активно впроваджуються мультисенсорні електронні комплекси для підвищення ситуаційної обізнаності. Вони включають в себе малоенергетичні електронні блоки, що потребують мінімального живлення та можуть працювати автономно тривалий час. Нові радіолокаційні станції мають фазовані антенні решітки з цифровим керуванням, що значно підвищує їхню чутливість та стійкість до зовнішніх перешкод. Вони здатні одночасно контролювати великий обсяг повітряного простору. Завдяки використанню нових полімерних електронних компонентів в системі пристроїв радіоелектронної боротьби знижується вага компонентів та підвищується надійність техніки. На світовому рівні технології електронної війни інтегруються безпосередньо в бойові системи для пасивного виявлення загроз, щоб зменшити електромагнітне випромінювання та сприяти підвищеному захисту. Сучасні системи виявлення електронних сигналів забезпечують попередження про радіолокаційні загрози та містять електронні засоби захисту від кібератак.

Таким чином, сучасні досягнення в електроніці суттєво підсилюють бойові можливості техніки та відкривають нові горизонти для розвитку радіоелектронної боротьби.

РОЗВИТОК РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОНФЛІКТУ

А.Б. Бондарук, к.т.н.; В.О. Колесник

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасні напрямки розвитку радіоелектроніки в Збройних Силах (ЗС) України зосереджені на створенні інтегрованих систем управління, забезпеченні стійкого зв'язку, радіоелектронній боротьбі (РЕБ) проти БпЛА та радіоелектронній розвідці (РЕР). Ключовим є перехід на цифрові технології, автоматизацію, використання завадостійких засобів та швидка адаптація до змін у бойовому просторі.

Основними напрямками розвитку є: РЕБ та РЕР (розробка засобів для протидії БпЛА, пригнічення зв'язку та навігації ворога, а також виявлення та пеленгування джерел радіовипромінювання). Розвиток “окопного РЕБ” (компактних пристроїв для індивідуального захисту бійців та техніки від FPRV-дронів); системи зв'язку (впровадження захищених цифровізованих мереж, транкінгових систем та засобів РЕБ; автоматизація управління (створення автоматизованих систем управління військами для обробки та аналізу інформації в реальному часі); модернізація радіотехнічних військ (інтеграція новітніх радіолокаційних засобів для виявлення повітряних цілей в складних умовах); створення дронів, стійких до засобів ворожого РЕБ, та оснащення їх власними модулями радіоелектронної боротьби; забезпечення надійного радіозв'язку з використанням повітряних ретрансляторів в умовах активної протидії противника; захист інформації (розвиток сучасних криптографічних засобів та захищених каналів передачі даних для військового управління).

Ці напрямки забезпечують підвищення обізнаності, мобільності та ефективності дій підрозділів ЗС України. Гарантують “розумну” перевагу, де оперативне виявлення, глушіння БпЛА/зв'язку та захист власних каналів управління трансформують бойові дії, перетворюючи їх на конфлікт технологій та інтелектуальних систем.

ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

О.О. Барзак; С.А. Радзіковський; А.Б. Бондарук

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Радіоелектроніка у сучасній війні є однією з найдинамічніших та найбільш важливих галузей сучасної науки і техніки. Сучасні тенденції розвитку цієї галузі пов'язані із швидким зростанням технологій, що призводить до створення більш потужних, ефективних та універсальних радіоелектронних систем, які мають попит на полі бою.

Основні напрямки розвитку радіоелектроніки:

Радіолокація

Останнім часом інтенсивно вдосконалюються системи радіолокації для забезпечення точності та дальності виявлення цілей. Мікрохвильові технології

знаходять застосування в безпілотних літальних апаратах (БПЛА), системах контролю повітряного простору та навігаційних системах.

Антенні технології

Одним із важливих аспектів сучасної радіоелектроніки є розвиток нових антенних технологій. Відкриття нових типів матеріалів, дозволяє створювати антенні системи з унікальними властивостями. Це в свою чергу підвищує ефективність, зменшує розміри та надає можливість роботи в широкому діапазоні частот.

Енергозбереження

Так як сучасні радіоелектронні пристрої використовуються в багатьох мобільних і портативних засобах, важливим напрямком є розробка енергоефективних технологій. Зниження енергоспоживання пристроїв дозволяє збільшити тривалість роботи акумуляторів у радіостанціях, мобільних телефонах, планшетах, БПЛА та інших пристроях, що критично важливо нашим військовим для їх ефективного застосування в реальних умовах ведення бою.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПАСИВНИХ СИСТЕМ РЕР У СУЧАСНИХ БОЙОВИХ ДІЯХ

І.С. Андрущенко; В.О. Єгоров; О.І. Оніщенко

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

Ефективність сучасних операцій у війні проти рф прямо залежить від якості радіоелектронної розвідки (РЕР). В умовах інтенсивного застосування ворогом цифрового зв'язку та БПЛА, ключовим завданням стає впровадження систем, що поєднують широкосмугове сканування та приховану локалізацію джерел випромінювання.

Основою сучасної практики РЕР є перехід на архітектуру Software Defined Radio (SDR). Це дозволяє гнучко адаптувати обладнання під різні типи сигналів: від тактичних радіостанцій до каналів керування БПЛА та супутникових терміналів. На відміну від класичних аналогових приймачів, SDR забезпечує одночасний моніторинг широких діапазонів частот та цифрову детекцію короткочасних сигналів.

Центральним технічним рішенням є використання методу TDOA (Time Difference of Arrival). Його реалізація передбачає розгортання мережі територіально рознесених сенсорів, що працюють у єдиному часовому контурі. Система обчислює координати цілі на основі наносекундної різниці в часі надходження сигналу на кожен із сенсорів.

Головною перевагою такої архітектури є її пасивний характер. Оскільки сенсори працюють виключно на прийом і нічого не випромінюють, вони залишаються невидимими для ворожих засобів радіотехнічної розвідки та антирадарних ракет. Це забезпечує високу живучість підрозділів РЕР навіть у зоні активного вогневого впливу супротивника.

Масове впровадження SDR-технологій та мереж TDOA дозволяє трансформувати РЕР із засобу спостереження у високоточний інструмент цілевказання. Подальший розвиток систем має бути спрямований на підвищення точності синхронізації сенсорів та швидкість обробки даних для передачі координат ворожих засобів у розвідувально-ударні контури.

КОГНІТИВНІ РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕТОДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СКРИТНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ (LPI)

*І.С. Андрущенко; О.М. Остапчук; Ю.В. Сікан
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Традиційні системи зв'язку з фіксованими параметрами стають вразливими в умовах інтенсивного радіоелектронного придушення та розвідки. Пріоритетним напрямком розвитку радіоелектроніки є перехід до когнітивних систем, що здатні адаптивно керувати спектром та забезпечувати низьку ймовірність перехоплення сигналу (Low Probability of Intercept – LPI).

Концепція когнітивного радіо базується на інтелектуальному аналізі електромагнітної обстановки в реальному часі. Система самостійно виявляє “спектральні дірки” (незайняті частоти) та динамічно переналаштовує параметри передавача для обходу завад. Це дозволяє підтримувати стабільний зв'язок навіть у перевантаженому або навмисно подавленому ефірі без втручання оператора.

Для забезпечення скритності застосовуються технології LPI, які роблять радіовипромінювання максимально подібним до фонового шуму. Основні технічні рішення включають:

Розширення спектра (DSSS/FHSS): Розподіл енергії сигналу по широкій смузі частот, що знижує його спектральну щільність нижче рівня шумів.

Скритна модуляція: Використання складних сигнальних конструкцій, які важко ідентифікувати класичними засобами РЕР як інформаційний сигнал.

Динамічне керування потужністю: Система автоматично знижує потужність передачі до мінімально необхідного рівня для підтримки зв'язку, що зменшує радіус виявлення термінала ворогом.

Впровадження когнітивного радіо з функціями LPI є ключовою відповіддю на розвиток сучасних систем радіоелектронної розвідки. Перспективи напрямку полягають у повній автоматизації вибору завадостійких протоколів та створенні самоорганізованих мереж, здатних функціонувати в умовах тотального радіоелектронного моніторингу противника.

ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОЇ ЦИФРОВОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

*Є.М. Бойко; С.А. Кметь
Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

В умовах інтенсивного застосування противником засобів радіоелектронного придушення, розвиток методів адаптивної обробки сигналів стає пріоритетним напрямком радіоелектроніки. Традиційні методи фільтрації часто виявляються неефективними проти інтелектуальних завад, що потребує впровадження нових підходів до селекції корисного сигналу.

Аналіз можливостей використання адаптивних цифрових фільтрів для динамічного придушення вузькосмугових завад у радіоканалах зв'язку та радіолокації.

Сучасний розвиток радіоелектроніки базується на переході до повністю цифрової обробки сигналів на проміжній частоті. Застосування алгоритмів адаптивної фільтрації дозволяє системі самостійно підлаштовувати

коефіцієнти передачі під спектральні характеристики завадового середовища. Це забезпечує ефективне “вирізання” спектральних складових завади з мінімальними спотвореннями корисного сигналу. Використання сучасної елементної бази (ПЛІС та швидкісних ЦАП/АЦП) дає змогу реалізувати ці алгоритми в реальному часі, що критично для систем захисту повітряного простору. Такий підхід дозволяє підтримувати сталий зв’язок та достовірність радіолокаційної інформації навіть у складній завадовій обстановці, характерній для зон активного застосування засобів РЕБ.

Адаптивна цифрова фільтрація є одним із найбільш перспективних напрямків розвитку сучасної військової радіоелектроніки. Її впровадження дозволяє значно підвищити живучість радіотехнічних систем та забезпечити надійність виявлення цілей у складних умовах.

РАДІОЕЛЕКТРОННА БОРОТЬБА ЯК КЛЮЧОВИЙ ЕЛЕМЕНТ СУЧАСНИХ ВОЄННИХ КОНФЛІКТІВ

Р.В. Багач, д.філос.; Н.Г. Мельник

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні збройні конфлікти дедалі більше переходять у площину інформаційного протистояння, де вирішальну роль відіграють засоби радіоелектроніки. Радіоелектронна боротьба (РЕБ) стала невід’ємною складовою військових операцій, оскільки забезпечує можливість впливу на системи зв’язку, навігації та управління противника без прямого вогневого контакту.

Сутність та завдання радіоелектронної боротьби. РЕБ охоплює комплекс заходів із виявлення, аналізу, придушення та дезорганізації радіоелектронних засобів противника. До основних завдань належать:

- порушення роботи систем управління військами;
- зниження ефективності засобів зв’язку та передачі даних;
- протидія навігаційним системам;
- захист власних радіоелектронних засобів від впливу противника.

Сучасні системи РЕБ ґрунтуються на цифровій обробці сигналів, що забезпечує роботу в широкому діапазоні частот і адаптацію до змінних умов. Мікроелектроніка дозволяє зменшити масогабаритні показники та реалізувати складні алгоритми аналізу сигналів у реальному часі. Перспективним напрямком є інтеграція штучного інтелекту та мережевих технологій для підвищення ефективності розподілених систем.

Радіоелектронна боротьба є стратегічно важливим напрямком розвитку військової радіоелектроніки, який безпосередньо впливає на результати сучасних воєнних конфліктів.

МІКРОЕЛЕКТРОНІКА ДЛЯ ВІЙСЬКОВИХ СЕНСОРНИХ ТА РОЗВІДУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Р.В. Багач, д.філос.; Ю.Д. Пономарьов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасні військові операції базуються на швидкому отриманні, обробці та аналізі інформації про обстановку. Саме тому сенсорні та розвідувальні системи відіграють ключову роль у забезпеченні ситуаційної обізнаності.

Розвиток мікроелектроніки став визначальним фактором удосконалення таких систем, забезпечивши зменшення габаритів, підвищення точності та автономності.

Сенсорні системи використовуються для спостереження, виявлення, ідентифікації та супроводу об'єктів. Вони є основою для систем управління військами, наведення озброєння та оцінювання ефективності бойових дій. Сучасні збройні сили застосовують багатоканальні сенсорні комплекси, що працюють у різних діапазонах.

До основних типів належать оптичні, інфрачервоні, радіолокаційні, акустичні та магнітні сенсори. Зростає роль комбінованих систем, які об'єднують кілька типів сенсорів у єдиному мікроелектронному модулі.

Використання систем на кристалі дозволяє інтегрувати функції прийому, обробки та попереднього аналізу сигналів. Це значно зменшує затримки передачі даних і підвищує надійність роботи.

Сучасні мікроелектронні рішення орієнтовані на мінімальне енергоспоживання, що дозволяє сенсорним системам працювати в автономному режимі протягом тривалого часу без обслуговування.

Очікується подальше впровадження інтелектуальних алгоритмів аналізу даних безпосередньо на рівні сенсора, що зменшить навантаження на канали зв'язку.

НАДІЙНІСТЬ І ЗАХИЩЕНІСТЬ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ У ВІЙСЬКОВИХ ЗАСТОСУВАННЯХ

Р.В. Багач, д.філос.; О.В. Савенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Військова мікроелектроніка працює в екстремальних умовах – температурах, вібраціях, ударах та електромагнітних завадах, що висуває підвищені вимоги до її надійності, стабільності та захищеності інформації для ефективної роботи озброєння та радіоелектронних систем.

Основними чинниками, що впливають на надійність мікроелектронних систем, є:

- температурні коливання, які можуть викликати деградацію матеріалів та компонентів;
- механічні навантаження, включаючи удари, вібрації та тряску під час експлуатації та транспортування;
- електромагнітні завади та радіоелектронний вплив, які створюють шум і можуть порушити роботу систем.

Стабільна робота систем забезпечується завдяки:

- використанню спеціальних матеріалів і компонентів, стійких до температур, вологості та механічних навантажень;
- резервуванню ключових елементів для безперервної роботи у разі виходу з ладу окремих модулів;
- контролю якості на всіх етапах виробництва, включаючи тестування на вібрації, температурні цикли та електромагнітну сумісність.

Сучасна військова мікроелектроніка застосовує криптографічний захист і контроль доступу, що забезпечує конфіденційність даних та стійкість систем до втручання. Захист від шкідливих програм і електромагнітних перешкод підвищує ефективність роботи. Надійність і захищеність забезпечуються матеріалами, технологіями та резервуванням компонентів у бойових умовах.

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ВІЙСЬКОВІЙ РАДІОЕЛЕКТРОНІЦІ

Р.В. Багач, д.філос.; О.С. Волобуєв

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Штучний інтелект (ШІ) активно впроваджується у військові радіоелектронні системи, суттєво змінюючи підходи до обробки інформації, аналізу сигналів та управління бойовими процесами. Використання ШІ дозволяє автоматизувати складні операції, підвищити швидкість реагування на загрози та забезпечити точне прийняття рішень у динамічних умовах радіоелектронної обстановки.

Алгоритми машинного навчання застосовуються для розпізнавання сигналів, класифікації джерел випромінювання, аналізу спектра частот та прогнозування змін у радіоелектронному середовищі. Це дозволяє системам ефективно адаптувати свої режими роботи, своєчасно виявляти нові загрози та знижувати ризик перехоплення або придушення власних сигналів.

Мікроелектронні обчислювальні прискорювачі забезпечують реалізацію складних алгоритмів ШІ безпосередньо на бортових системах, що дозволяє обробляти великі обсяги даних в реальному часі. Завдяки цьому підвищується автономність систем, зменшується затримка у прийнятті рішень та зростає ефективність виконання бойових завдань.

Використання ШІ підвищує ефективність військових радіоелектронних систем, але потребує надійної апаратної платформи та якісних даних для навчання. Інтеграція ШІ дозволяє створювати адаптивні та самонавчальні системи, здатні працювати в умовах складних завдань і ворожого впливу, забезпечуючи оперативну адаптацію та автономність сучасних бойових систем.

НАПІВПРОВІДНИКОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

Р.В. Багач, д.філос.; С.В. Гайденко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Військові системи зв'язку повинні забезпечувати стабільну та безперервну роботу в умовах активних завад, складної електромагнітної обстановки й протидії противника. Це зумовлює необхідність використання передових напівпровідникових технологій, здатних працювати з високою надійністю та за екстремальних умов експлуатації.

Напівпровідники на основі нітриду галію та карбіду кремнію дозволяють створювати високоефективні радіочастотні пристрої з підвищеною вихідною потужністю, широкою смугою пропускання та високою температурною стійкістю, що є критично важливим для військового застосування.

Сучасні мікросхеми забезпечують високий рівень інтеграції функцій передачі, прийому й цифрової обробки сигналів в одному модулі, що сприяє зменшенню габаритів апаратури та підвищенню її надійності.

Розвиток напівпровідникових технологій дозволяє реалізовувати ефективні методи захисту зв'язку від перехоплення, придушення та несанкціонованого доступу, підвищуючи завадостійкість систем.

Розвиток напівпровідникових матеріалів і технологій є ключовою основою підвищення ефективності, надійності та захищеності сучасних військових систем зв'язку.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ЯК СУЧАСНИЙ НАПРЯМ РОЗВИТКУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.Д. Латвинський; М.С. Каднай

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасний етап розвитку радіоелектроніки характеризується активним впровадженням цифрових технологій, систем обробки сигналів, мережових протоколів передачі даних та алгоритмів штучного інтелекту в енергетичну інфраструктуру. Одним із ключових напрямків є формування інтелектуальних систем (Smart Grid), які базуються на радіоелектронних засобах вимірювання, передачі та аналізу інформації.

Інтеграція штучного інтелекту в енергосистеми забезпечує перехід від традиційного централізованого керування до цифрових адаптивних структур із розподіленою архітектурою. Основу таких систем становлять інтелектуальні датчики, мікропроцесорні пристрої, PLC-комунікації, бездротові канали зв'язку, технології Інтернету речей (IoT) та цифрові двійники енергетичних об'єктів. Радіоелектронні компоненти забезпечують збір параметрів мережі в режимі реального часу, їх обробку та передачу до центрів керування.

Важливим аспектом є кібербезпека цифровізованих енергосистем. Застосування інтелектуальних алгоритмів дозволяє виявляти несанкціоновані втручання, аналізувати аномальні сигнали та забезпечувати захист каналів передачі даних.

Таким чином, інтелектуальні електроенергетичні системи є міждисциплінарним напрямом, у якому радіоелектроніка виступає технологічною основою цифрової трансформації енергетики. Подальший розвиток мікроелектроніки, вбудованих систем та алгоритмів штучного інтелекту визначатиме ефективність, надійність та автономність енергетичних мереж нового покоління.

РОЗВИТОК СИСТЕМ ДЕТЕКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ЯК СКЛАДОВОЇ СУЧАСНИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

В.Д. Латвинський; Д.В. Демченко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Останніми роками алгоритми детекції об'єктів пройшли значний етап розвитку й у деяких вузькоспеціалізованих завданнях уже наблизилися до людського рівня точності. Водночас галузь і надалі стикається з низкою викликів, які визначатимуть її подальший розвиток у найближчій перспективі. Нижче розглянуто ключові напрями, що матимуть особливе значення для майбутнього комп'ютерного зору.

Одним із найпомітніших трендів є застосування підходів AutoML, зокрема Neural Architecture Search (NAS). Суть полягає в тому, щоб автоматизувати процес підбору оптимальної архітектури детектора відповідно до конкретного завдання та наявних даних. Основною перешкодою залишається висока

ресурсомісткість пошуку, адже він потребує значних обчислювальних потужностей, що обмежує практичне впровадження. Проте оптимізація й прискорення цього процесу можуть забезпечити створення більш ефективних і гнучких моделей без безпосереднього втручання людини.

Сучасні системи потребують великих масивів зображень із детальною розміткою обмежувальних рамок, створення яких є тривалим і затратним процесом. Це стимулює розвиток альтернативних підходів до навчання, зокрема *few-shot learning* (навчання з малою кількістю прикладів) і методів слабкої розмітки, коли зображення має лише загальну мітку класу без точного зазначення розташування об'єкта. Такі підходи здатні значно зменшити витрати на формування датасетів і розширити сферу застосування технологій.

СЕКЦІЯ 16

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА
ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ВЕДЕННЯ
БОЙОВИХ ДІЙ**

Керівники секції: підполковник Шевчук Д.Ю.;
к.т.н. доц. полковник Лагутін Г.І.
Секретар секції: майор Куравський М.В.

**REQUIREMENTS FOR THE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS
IN THE SPECIALTY OF G3 ELECTRICAL ENGINEERING
(141 ELECTRIC POWER ENGINEERING, ELECTRICAL
ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS)**

*D. Shevchuk¹; I. Boklag², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
H. Lahutin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Training of military power engineers for the Armed Forces of Ukraine in the specialty G3 Electrical Engineering (141 Electric Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics) with a specialization in “Military Purposes Electrical Engineering Systems” at the first (bachelor’s) level of education at Ivan Kozhedub National Air Force University in Kharkiv to be conducted in the form of full-time education.

Particular attention should be paid to the study of basic models of electrical equipment: mobile diesel power station 5I57A; distribution and conversion unit 5I58A; distribution unit 63T6A; mobile transformer substation 82X6; mobile transformer substation 83X6. Consider promising models of electrical equipment from the inventory of anti-aircraft missile systems supplied by partner countries: mobile diesel power stations EPP III 2×150 KW 400 Hz, МЕР-814А, МЕР-1071, МЕР-816А, МЕР-1041, МЕР-813А, Panda 24 PSC, Panda 12000 PSC, DW 100 DE 15 L14HH, DW 40 DE 15 M13H, Vincoron/Jenoptik Power Systems power module.

At the second (master’s) level of education, during the first and second years of study, provide professional training in the organization of power supply to troops, operational management of military electrical installations of military units (subunits), organization of technical operation and repair of electrical equipment and power supply systems of armament and military equipment complexes, the organization of training for junior electrical specialists, and the organization of energy supervision of military electrical installations of military units.

Particular attention should be paid to studying the specifics of organizing power supply for anti-aircraft missile units armed with S-300P, MIM-104 Patriot, and MIM-23 Hawk anti-aircraft missile systems, as well as radio-technical units and military airfields.

AREAS FOR IMPROVING ELECTRICAL SAFETY WHEN PERFORMING WORK IN MILITARY ELECTRICAL INSTALLATIONS IN COMBAT CONDITIONS

*O. Yakovets¹; H. Lahutin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Tabunenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Boiko²*

¹Command of the Support Forces of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

As combat experience has shown, the issue of ensuring the safe and reliable operation of military electrical systems is becoming particularly relevant. Combat operations, destruction of infrastructure, constant threat of shelling, use of electronic warfare, and other combat factors significantly complicate the work on military electrical installations. In such conditions, even a minor violation of electrical safety requirements can lead to serious consequences, both technical and human.

Personnel operating electrical equipment perform an extremely wide range of tasks: from deploying temporary power sources and emergency repairs to operational maintenance of communications, radar, anti-aircraft missile systems, etc. All this takes place in conditions of high stress, physical and emotional exhaustion, under enemy fire, and often without adequate engineering support. This creates a critical need to develop adapted organizational and technical safety measures, as well as to improve personnel training systems.

Existing regulatory documents, in particular the Rules for the Safe Operation of Military Electrical Installations, outline the basic requirements for electrical safety. However, in field conditions, given the specifics of the terrain, soil conditions, weather conditions, frequent changes in deployment, and combat situations, these rules need to be adapted, detailed, and supplemented. Combat experience shows that only a comprehensive approach to electrical safety – organizational, technical, and human – can guarantee the stability of electrical systems and the safety of personnel.

WAYS TO IMPROVE THE POWER LINES PROTECTION FROM OVERLOADS AND SHORT CIRCUITS IN MILITARY AIRFIELDS POWER SUPPLY SYSTEMS

*V. Dondyuk¹; V. Uvarov², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Salnik²; V. Verbovska²*

*¹Engineering Troops Directorate of the Support Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of conducting combat operations during the repulsion of the Russian Federation's armed aggression against Ukraine, in particular the combat use of military airfields and units of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, proves that the reliability of power supply systems is one of the critical factors in ensuring the fulfilment of combat missions. Uninterrupted power supply to command posts, runways, communications, navigation, and weapon control systems requires a high level of reliability of power supply and protection against emergency operating modes, in particular overloads and short circuits.

With the enemy actively using high-precision weapons and shelling infrastructure, including power supply systems, there's a growing risk of power supply disruptions due to damage to overhead and underground power lines. That is

why it is important to research and implement reliable and fast-acting protection measures capable of localizing accidents, preventing their spread, and ensuring minimal power restoration time for critical consumers.

Modern technical means of protecting power lines, such as automatic circuit breakers, current and voltage relays, and load monitoring systems, do not always meet the requirements of operational efficiency and reliability in combat conditions due to physical damage to equipment or loss of centralized control. This creates a need for autonomous, decentralized protection systems that can operate without operator intervention.

WAYS TO IMPROVE THE CONTROL SYSTEMS OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS

A. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Yu. Musairova, Ph.D.; M. Smazhenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation has radically changed approaches to conducting combat operations, organizing technical support, and managing armed units. In the context of highly dynamic combat operations and the active use of electronic warfare, high-precision weapons, and drones, the technical reliability and effectiveness of weapons and military equipment, especially anti-aircraft missile systems, have become critically important.

SAM systems remain the backbone of the air defense system, performing tasks of detection, tracking, and destruction of air targets, including unmanned aerial vehicles, cruise missiles, and enemy aircraft. To ensure their combat readiness in active combat conditions, it is extremely important to have stable functioning of electromechanical drives, including asynchronous motors that provide rotation of antenna posts, launchers, guidance mechanisms, etc.

Today's challenges require a rethinking of approaches to controlling the operating modes of asynchronous motors in air defence systems. Due to the intensive wear and tear of equipment, the need to increase energy efficiency, reduce response time, and increase resistance to the effects of the combat environment, the introduction of modern control technologies – such as frequency control, soft start systems, adaptive control, and real-time diagnostics – is becoming increasingly relevant.

PROPOSALS FOR THE TECHNICAL IMPLEMENTATION OF AN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM TO PROVIDE ELECTRICITY TO MOBILE GROUPS PERFORMING SPECIAL COMBAT TASKS

D. Shevchuk¹; A. Panchenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Salnik²; D. Vylivok²

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation has radically changed approaches to the organization of combat operations, logistics, troop management, and the provision of combat mobile groups. In conditions of intense combat operations, widespread use of high-precision weapons, electronic warfare,

and active manoeuvrable operations, continuous and reliable energy supply to combat mobile groups performing special tasks in field conditions becomes particularly important.

Combat mobile groups of the Ukrainian Armed Forces are forced to operate in conditions of complete or partial absence of infrastructure, limited access to energy sources, and the constant threat of fire damage. In such circumstances, traditional power supply systems prove to be vulnerable or unsuitable for ensuring the operation of critical equipment, such as radio communications, navigation systems, drones, fire control systems, optoelectronic surveillance equipment, etc.

Uninterrupted power supply in the combat zone determines the effectiveness of combat missions, the speed of decision-making, the survivability of personnel, and overall resistance to harmful external factors. In this regard, it is important to create mobile, compact, energy-efficient, and reliable uninterruptible power supply systems adapted to the conditions of the modern combat environment.

The experience of NATO member countries, in particular the United States and the United Kingdom, demonstrates the effectiveness of using portable power systems that combine renewable energy sources (solar panels), fuel cells, and rechargeable batteries. Such solutions ensure the autonomous operation of combat units in difficult conditions and reduce dependence on centralized fuel supply logistics.

WAYS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO STATIONARY AIR FORCE MILITARY AIRFIELDS BY IMPLEMENTING AUTOMATION DEVICES FOR ELECTRICAL NETWORKS

V. Syrotenko¹; V. Dondyuk¹;

H. Lahutin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Donoshenko²

*¹Engineering Troops Directorate, Support Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale armed aggression of the Russian Federation against Ukraine has become a serious challenge for all branches of the Armed Forces, in particular the Air Force. Due to the active use of aviation formations, the requirements for the reliability and survivability of infrastructure, in particular stationary military airfields, have increased significantly. The power supply system plays a key role in ensuring the uninterrupted operation of combat systems, which must function stably even under conditions of intense missile and drone attacks.

Combat experience gained during the defence of airfields in eastern and southern Ukraine (for example, in the Mirgorod and Chuhuiv areas) shows that the destruction of even individual sections of the power grid can paralyze the preparation of aircraft for combat sorties, lead to communication and navigation disruptions, and in some cases, to the disruption of combat operations.

Analysis shows that the most vulnerable areas remain those where modern automated control and protection systems have not been implemented. This bachelor's thesis focuses on the relevance of developing and implementing modern electrical network automation devices capable of ensuring automated switching to backup power sources, effective localization of damage, and rapid restoration of power supply to critical consumers. The implementation of such technological solutions will contribute to improving the reliability of power grids and minimizing

the risk of prolonged power outages, which is crucial in conditions of increased operational loads and combat operations.

Modern technologies based on microprocessor platforms allow for the implementation of high-precision algorithms for emergency automation, significantly increasing the reliability of power systems.

DIRECTIONS FOR IMPROVING THE METHODS AND MEANS OF STARTING DIESEL ENGINES OF MOBILE POWER STATIONS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS IN COMBAT CONDITIONS

*A. Plaksyuk¹; H. Lahutin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Panchenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; M. Letucha²
¹Engineering Troops Directorate, Support Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The experience of combat operations during the repulsion of the Russian Federation's armed aggression against Ukraine has shown that a reliable and uninterrupted power supply is a critical element in the functioning of air defense missile systems (ADMS) in combat conditions. One of the key components of such systems is mobile power stations with diesel engines that provide power to combat and auxiliary systems of SAMs. However, in real operating conditions, especially in combat zones, difficulties often arise with starting diesel engines due to malfunctioning or discharged batteries, low ambient temperatures, physical wear and tear of equipment, or lack of time for maintenance.

Modern methods of starting diesel engines used in military power plants have a number of significant drawbacks, including dependence on the condition of the batteries, insufficient efficiency in difficult climatic conditions, and limited backup solutions in case of failure of the main starting method. In such conditions, there is an objective need to introduce alternative or combined starting methods, as well as to technically improve existing power supply systems.

The research was prompted by the need to improve the reliability of power supply during combat operations by anti-aircraft missile units, in particular through the introduction of innovative solutions such as molecular energy storage devices that can ensure fast and reliable starting of diesel engines regardless of external conditions.

WAYS TO IMPROVE THE MEANS OF DETERMINING THE LOCATIONS OF SHORT CIRCUITS AND BREAKS IN UNDERGROUND CABLE LINES OF MILITARY POWER SUPPLY SYSTEMS

*V. Husar¹; V. Tabunenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
N. Kuravska², Candidate of Technical Sciences; B. Letuchiy²
¹Centre for Special Engineering Works, Support Forces Command,
Armed Forces of Ukraine;
²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of increased requirements for the uninterrupted operation of military infrastructure, especially in conditions of armed conflict, ensuring the stable functioning of power supply systems at military airfields is of particular importance.

Reliable power supply determines the operability of communications, navigation, weapon control and maintenance systems, which is critical for the performance of combat tasks at the tactical level.

Underground power cables, which are the main component of the power supply system, are subject to negative influences from mechanical factors, climatic conditions, aging insulation, and, in combat conditions, direct damage from shelling or explosions. This necessitates the rapid detection of damage to the cable network in order to minimize the time required to restore power supply and ensure the operational readiness of the facility.

The relevance of the topic is due to the need to improve the effectiveness of existing methods for detecting short circuits and breaks in underground cable lines of power supply systems at military airfields. Modern diagnostic tools, based mainly on classical principles, are characterized by low accuracy in complex conditions, insufficient speed, and requirements for full access to both ends of the cable route, which is not always possible during active combat operations.

The results of the work can be used by the engineering and technical units of the Ukrainian Air Force to improve existing approaches to cable line diagnostics, increase the combat readiness of facilities, and introduce new mobile control means in combat conditions.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING FUEL ELEMENTS AS ALTERNATIVE ELECTRICITY SOURCES TO POWER ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS IN COMBAT CONDITIONS

*R. Shutov¹; A. Panchenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Salnik²; A. Mikhnenko²*

*¹Engineering Troops Directorate, Support Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of combat operations during the repulsion of the Russian Federation's armed aggression against Ukraine proves that the effectiveness of anti-aircraft missile systems largely depends on a reliable and uninterrupted power supply, especially in conditions of mobile use and prolonged combat duty. In practice, the power supply for air defence missile systems is mainly provided by diesel or gasoline generators, which have a limited service life, high noise levels, heat emission, and visibility in various types of spectra, which increases the risk of their detection by the enemy.

Modern challenges associated with the need for autonomous power supply of air defence systems in the absence of a centralized power grid necessitate alternative energy sources that would ensure high reliability, low visibility, and environmental friendliness. Fuel cells, as sources of direct conversion of chemical energy into electrical energy, have the potential for use in air defence systems, especially given their low acoustic and thermal signatures.

Global trends in military energy demonstrate the active development of systems based on hydrogen and methanol fuel cells, which significantly reduce the logistical burden, increase concealment, and reduce the thermal signature of power plants.

The relevance of this work is determined by the need to find new, more efficient and safer sources of electricity to ensure the functioning of air defence systems in

difficult combat conditions. The introduction of fuel cells as an alternative to traditional power generators will increase the reliability and autonomy of the power supply to combat units of air defence, which directly affects the success of combat missions.

DIRECTIONS FOR IMPROVING SWITCHING DEVICES FOR POWER TRANSFORMER WINDINGS BRANCHES IN RADAR UNITS POWER SUPPLY SYSTEMS

*S. Korobko¹; H. Lahutin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Vorobyov²; E. Oliinyk²*

*¹Engineering Troops Directorate of the Support Forces Command
of the Armed Forces of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of conducting combat operations during the repulsion of the Russian Federation's armed aggression against Ukraine demonstrates the need to ensure a stable power supply to radio-technical units performing combat tasks in difficult conditions. In particular, the effective operation of power transformers plays an important role in this, as they require reliable switching of winding branches to maintain the specified voltage parameters at the load. Existing switching devices do not always provide the required control accuracy, especially in conditions of unstable power supply or changes in the nature of the load.

The imperfection of these devices can lead to deviations from the specified power parameters, which, in turn, reduces the efficiency of radio-technical equipment, increases the risk of their failure, and negatively affects the ability to perform combat tasks.

Global trends in the field of power supply for radio-electronic systems focus on the use of microprocessor-based branch switching control systems, automation of regulation, and the implementation of adaptive control algorithms. Such approaches ensure high stability of power supply parameters even under conditions of unpredictable load changes.

The relevance of this work is determined by the growing demands for reliability and continuity of power supply in the combat zone. Improving voltage regulation systems reduces the risk of radio equipment failure and ensures its stable operation at critical moments.

AREAS FOR IMPROVEMENT OF METHODS AND MEANS OF ENSURING POWER QUALITY INDICATORS IN STATIONARY MILITARY AIRFIELDS POWER SUPPLY SYSTEMS IN POST-EMERGENCY MODES

*N. Kuravska, Candidate of Technical Sciences; Yu. Musairova, Ph.D.;
A. Kudryavtsev; R. Soldatov*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of operating power supply systems at stationary military airfields under real threats caused by the Russian Federation's armed aggression against Ukraine shows that special attention must be paid to the quality of electricity supplied to critical consumers. In post-accident modes resulting from damage to infrastructure elements, voltage drops in power lines, and distortion of voltage and

frequency can significantly affect the operability and reliability of combat support facilities, in particular aviation weapons and flight control systems.

Power quality indicators, in particular voltage, frequency, and phase symmetry levels, must comply with established standards even under difficult operating conditions. In post-accident situations, when the main power sources are out of order, it is important to use technical means capable of quickly compensating for negative changes in power parameters. One of the promising areas for improving power supply systems is the introduction of regulated transformers, which allow flexible control of the voltage level in the line, reducing its drop and stabilizing the power supply to the corresponding consumers.

Currently, most transformer substations used in the power supply systems of stationary military airfields do not have automatic voltage regulation devices or are built on an obsolete component base, which reduces their efficiency in post-failure modes. The lack of operational voltage correction forces personnel to intervene manually, which slows down the restoration of normal power supply and increases the risk of technical failure.

Global experience shows that the most effective technical solutions in the field of voltage stabilization are the use of automatic voltage regulators, new-generation digital transformers, and adjustable transformers with the ability to change the transformation ratio under load, which ensures rapid adaptation to changing power grid conditions.

This study will help develop technical and organizational approaches to implementing modern voltage stabilization measures in the power supply systems of military facilities to improve their reliability, flexibility, and adaptability to changing combat conditions.

PROPOSALS FOR THE IMPLEMENTATION OF MODERN METHODS FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF POWER CABLE LINES OF MILITARY AIRFIELDS ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

*V. Tabunenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
N. Kuravska, Candidate of Technical Sciences; S. Khabosha; N. Bakin
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The condition of power cable lines directly affects the uninterrupted supply of electricity to consumers. During their operation, cables are exposed to various external factors on a daily basis (such as temperature fluctuations, from which it is impossible to protect them). After all, insulation coating, by definition, cannot last forever.

The analysis showed that the main factor causing accidents in the power supply systems of military airfields is damage to cable lines. Therefore, in order to ensure a reliable and uninterrupted power supply to consumers of a military airfield, it is necessary to have information about the actual technical condition of power cable lines.

According to the requirements of the Rules for the Technical Operation of Consumer Electrical Installations, the following checks must be carried out on cable lines with a voltage of up to 35 kV: checking the integrity and phasing of the cores; measuring insulation resistance; testing with increased rectified voltage; checking the drainage of vertical sections of the cable; checking the grounding of terminal joints; measuring stray currents; determining the corrosiveness of soils and water;

measuring load current; measuring cable temperature; checking the sensitivity of line protection with a voltage of up to 1000 V with a grounded neutral.

To ensure efficiency and reliability, regular inspection and maintenance must be carried out: measurement of cable line insulation resistance; measurement of power losses in cable lines; checking for current leakage to ground; checking for current leakage to the cable sheath; checking for mechanical damage to the cable; measure voltage and current in cable lines; measure cable impedance; check for obstructions in cable lines (e.g., pulls, bends, etc.); checking for corrosion and other damage to connections and insulators; checking for proper cable fixation and protection from mechanical influences; checking for electromagnetic interference and its impact on the operation of cable lines; checking cable lines for compliance with safety norms and standards.

PROPOSALS FOR IMPROVING THE MEANS OF DISTRIBUTING ACTIVE LOADS DURING PARALLEL OPERATION OF SYNCHRONOUS GENERATORS

N. Kuravska, Candidate of Technical Sciences; O. Salnik;

Yu. Musairova, Ph.D.; V. Danilenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

When using mobile power stations as part of power supply systems, it is often necessary to keep them constantly ready for immediate start-up and to ensure their reliable operation when supplying electricity to consumers in various modes. Therefore, the automation of power unit control systems is an integral part of the high-quality performance of tasks related to energy supply in combat conditions.

The automation system in the 5I57A diesel power plant ensures its operation in various modes without the intervention of maintenance personnel. At the same time, the automation system is based on morally and physically obsolete components, which does not allow for the required level of reliability and continuity of power supply to anti-aircraft missile systems.

The work has developed an improved control scheme for the internal needs of the 5I57A diesel-electric power station, which provides control of the fuel, oil, and coolant temperature, and controls the corresponding control devices for refueling the power station with fuel and oil, as well as opening and closing the air intake and exhaust hatches. The use of such a system will increase the reliability of the power plant by constantly maintaining it in a warmed-up and refueled state both while waiting for a command to use it and during combat operations.

DIRECTIONS FOR IMPROVING SYSTEMS FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF ASYNCHRONOUS MOTORS IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES

H. Lahutin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Vorobyov; Ya. Bizin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the key problems faced by anti-aircraft missile systems in modern conditions is ensuring a reliable power supply during combat operations. Electrical frequency converters used for power supply have asynchronous motors, which can lose their performance over time due to wear or breakage. Untimely diagnosis of

malfunctions leads to serious disruptions in the work of command posts, which affects the overall effectiveness of troop management. Modern methods of technical diagnosis often do not allow for the rapid detection of malfunctions at an early stage, which creates the risk of equipment failure during combat operations.

Global trends in the field of technical diagnostics of electrical machines are focused on the development of non-contact diagnostic methods, the use of artificial intelligence to monitor the condition of equipment, and the automation of diagnostic processes. Leading countries are actively implementing the latest solutions in the field of vibration, temperature, and acoustic signal analysis, which allows for the early detection of malfunctions. Particular attention is paid to the development of predictive maintenance systems, which significantly reduce downtime and improve the overall efficiency of military systems.

The results of the study can be applied in anti-aircraft missile forces to improve the maintenance and diagnostics of asynchronous motors used in electric frequency converters, as well as to increase the reliability of command posts in combat conditions.

ELECTRIC DRIVE WITH HIGH DYNAMIC PROPERTIES

A. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

N. Kuravska, Candidate of Technical Sciences;

V. Goncharov; V. Kirichenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern elements of the weapon design, which are responsible for the speed of reaction to changing conditions: positioning of the tank gun, when firing on the move, deflection of the rudders of the SAM missile, when changing the trajectory sharply, the rudder of the aircraft, the trajectory of the quadcopter, the drives of the tracking antennas – are equipped with hydraulic, electro-hydraulic and electric drives, with DC motors (brushed). At present, these drive systems have completely exhausted themselves. Hydraulics and electro-hydraulics do not provide dynamics, DC motors with a collector formally provide the necessary speed of the drive response, but the contact node is sparking at powers of more than 500 W, reliability is low, require constant maintenance, are a powerful source of interference and unmasking factors. On modern models of weapons, BLDC and PMSM type engines with appropriate control systems are used.

There are three categories of control systems: 1. Scalar control (V/f Control), voltage/frequency ratio support, simple and cheap speed regulation, slow response, low torque accuracy. It is used, as a rule, in everyday life, in modern inverter refrigerators, air conditioners, washing machines. 2. Vector control (FOC) – mathematical decomposition of currents into active and reactive components, high torque accuracy, fast dynamics, the ability to operate at low speeds. At the same time – algorithm complexity, higher equipment price. Applications: quadcopters, airplanes, missiles. 3. Direct torque control (DTC), Direct torque and flux control without coordinate transformation, very fast response, high accuracy. At the same time – complexity of implementation, high requirements for sensors. Applications – certain models of foreign surface-to-air missiles, hypersonic medium-range missiles, modern types of tanks T-90M, Leopard 2A7, K2 Black Panther.м

STUDY OF METHODS FOR ENSURING SYNCHRONOUS OPERATION OF POWER SOURCES IN INTEGRATED ENERGY SYSTEMS OF COMMAND POSTS UNDER ELECTRONIC WARFARE THREATS

*N. Kuravska, Candidate of Technical Sciences; B. Tkachuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The stable operation of integrated energy systems of command posts under electronic warfare (EW) threats requires reliable synchronization of distributed power sources. Disruption of synchronization leads to instability of voltage and frequency, loss of power quality, and potential failure of critical control and communication equipment.

Under conditions of intensive electromagnetic interference, conventional synchronization methods based on voltage and frequency measurements become vulnerable to distortions and signal loss. Therefore, the development of robust synchronization methods resistant to electronic warfare is of high practical importance.

This paper analyzes the main factors affecting synchronous operation of power sources in integrated energy systems under EW threats. Advanced synchronization approaches based on adaptive phase-locked loops, redundant measurement channels, and digital signal processing techniques are considered. Proposals are developed for the implementation of hybrid synchronization systems combining local measurements and autonomous reference signal generation.

The proposed solutions improve synchronization stability, increase system resilience to electromagnetic interference, and ensure reliable operation of command post power supply systems under hostile electronic warfare conditions.

ELECTROMAGNETIC PULSE FOR DISINFECTION OF DRONES

*A. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. Kalinichenko; D. Vylivok; V. Kirichenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Countering enemy drones is becoming a problematic issue for most states, and significant efforts are currently being focused on this area. One way to combat this is to disable the drone's electronic equipment - using a guided electromagnetic beam or a short-term electromagnetic pulse. Both the first and second methods have their advantages and disadvantages and can be used to counter enemy drone attacks.

It is proposed to use a setup consisting of the following components: power supply, magnetron, tuner, and output horn antenna. A magnetron-based generator is selected to drive the pulse power generator at an operating frequency of 2.4 GHz. The final stage with a gain of 14.33 dB is designed using MATLAB software. A DC power supply provides sufficient voltage and current to power the magnetron. It includes a diode, a capacitor, and a resonant transformer. Microwave energy is generated from a magnetron with a constant output of 0 to 2.5 kV to drive the pulse generator. The magnetron output is connected to a waveguide insulator. The blocking shield protects the magnetron from reflected microwave energy and provides an appropriate load on the magnetron for efficient microwave energy generation. To match the impedance to the propagating wave in the resonant waveguide, the depth of the metal channel was adjusted at different guide lengths. This reduces the reflected power and maximizes the coupling power to the final antenna.

DETERMINATION OF DAMAGE LOCATIONS OF LINES 750 – 220 kV

*A. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. Kalinichenko; K. Loshyk; O. Palyukh
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The fighting in Ukraine is increasingly concentrated around the power system. The impact of one substation or section of the 330–750 kV network leads to the disconnection of lines for several thousand kilometers. Rapid identification of the location of line damage is becoming a critical task. The fact is that it is possible to find damage to a line 25–50 km long by inspecting it and collecting operational information, but when the question arises of accidents on a combined section of 750 – 330 – 220 kV lines, with a total length of 1000 – 5000 km, other methods should be used. Of course, they exist, under the name wave methods for determining the location of damage to overhead lines. They are based on the principle of an electromagnetic wave running along the line. Their essence lies in the precise determination of the time interval between the passage of the direct wave and the reverse wave reflected from the accident site. But the implementation of this algorithm will require a large number of network parameters at the time of the accident, which is problematic due to the low level of digitalization of networks.

We propose the creation of a mathematical description of a long line in partial derivatives, which makes it possible to take into account the known passport data of the line and boundary conditions. That is, in time – the situation at the beginning of the process and at the end, in space – at the beginning of the line and at its end. Access to these data is provided by tracking systems. At the moment of an accident, discrepancies arise between real and virtual data, this fact triggers the parameter iteration mechanism (i.e., all possible emergency cases are reviewed). The moment of their coincidence indicates that the found ratio of parameters that cause the effect is similar to the real one, the distance to the impact site and the nature of the malfunction are automatically determined from the database.

STARTER BATTERY MONITORING SYSTEM

*A. Panchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Shovkoplyas; A. Mikhnenko; K. Loshik
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The level of combat readiness of electrical equipment, power supply systems of anti-aircraft missile systems, in the combat zone, significantly depends on the condition of starter batteries used in the equipment. One of the main reasons for their premature failure is deep discharge of the battery and its unqualified charging. Special attention should be paid to the fact that new types of batteries have begun to enter the armed forces. Despite the fact that they have significantly better performance in terms of parameters such as self-discharge, cold cranking current, and negligible evaporation of electrolyte, they have two critical drawbacks – the inadmissibility of deep discharge and the inadmissibility of exaggerating the maximum charge voltage. As a rule, service personnel are not familiar with the specifics of new batteries. Currently, 6 modifications of modern batteries are entering the troops: WET Ca, WET Ca/Ca, WET Ag/Ca, AGM Ca/Ca, GEL Ca/Ca, AGM Ag/Ca and the problem is that each of these types requires its own specific diagnostics and charging, which is flashed into the controller on each charger.

An IBS sensor, (IBC) – (Intelligent Battery Sensor) is installed on the negative terminal. Replacing one type of battery with another, if the voltages and capacities match, is not permissible without the appropriate “reflashing” of the IBS sensor. This requirement is not met in practice, which leads to premature failure of the batteries.

The installation of the IBS system provides continuous monitoring of the battery condition, recording SOC and SOH indicators and, based on this data, autonomously makes decisions on the battery charging mode. Experience in operating installations equipped with such systems indicates the possibility of operating batteries for more than 5 years.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY FLOW MANAGEMENT

*Y. Nemshylov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Rykun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; M. Motorny
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The introduction of non-traditional energy sources significantly increases the complexity of network management due to the large number of variables (weather, tariffs, technical condition of equipment). Traditional control algorithms are no longer able to provide maximum efficiency, so they are being replaced by machine learning methods and intelligent control systems. The scientific novelty of the work lies in the proposed model of energy flow control based on Artificial Intelligence.

The main advantage of artificial intelligence is the ability to process large amounts of data to build accurate forecasts. That is, the system analyzes meteorological satellite data, wind speed, and cloud cover. This allows the company to plan energy-intensive processes (for example, metal melting or the operation of powerful compressors) precisely for the hours of maximum solar activity. That is, artificial intelligence allows for the implementation of the concept of “flexible consumer”. This, in turn, allows us to increase the efficiency of using our own renewable energy sources by 18–22 %.

A human operator simply will not have time to react to such changes at the speed necessary for stable operation of electronics.

Thus, artificial intelligence transforms passive equipment into an active intelligent network. In the perspective of 2026–2030, the implementation of non-traditional energy sources without intelligent control systems will be considered technically incomplete and economically inefficient.

The next perspective for applying artificial intelligence in the power supply system is the creation of a virtual copy of the enterprise's power system, the so-called “digital twins” technology.

ELIMINATION OF ASYMMETRY AND REACTIVITY OF THE LOAD IN A FOUR-WIRE NETWORK BY A REACTIVE COMPENSATOR

*D. Shymuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Hasanov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The presence of reactivity in most real consumers and their uneven connection through phases in four-wire networks leads to an increase in the loss of electrical energy during its transmission and the appearance of unwanted electrodynamic

effects on the structural elements of electrical generators. This problem becomes especially relevant when switching to distributed generation to preserve electricity supply in the conditions of Russia's terrorist destruction of Ukraine's electricity industry.

Known sources contain methods for the synthesis of compensating devices that affect reactivity and load asymmetry in a four-wire network. But the presence of active-reactive resistance of the lines between the source and the load does not allow to fully ensure the invariance of the generator to such a load.

Equivalent schemes of a four-wire power supply system are considered, in which symmetry distortions and unequal reactivity of load phases are indicated. For this, it is proposed to use a reactive compensator of five elements. An equivalent scheme is given, the conditions of compensation and symmetry are revealed, and the derivation of final expressions for determining the parameters of the reactive elements of the compensator is shown.

The results of theoretical research are illustrated by an example. An analysis of currents in lines and neutral with an asymmetric reactive consumer was carried out, the parameters of the compensation and symmetry device were calculated.

It is shown that the connection of the compensator with the parameters determined according to the stated methodology ensures the elimination of the influence of asymmetry and load reactivity on the power source.

METHOD OF DETERMINING THE AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF AN ELECTROHYDRAULIC DRIVE

*Y. Nemshylov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Ruchka, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; D. Hanzha
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When developing an aircraft control system, an important point is to correctly take into account the characteristics of the actuators used.

A variant of determining the amplitude-frequency characteristic of a hydraulic drive of type 8K243 is considered.

The non-identity of drive parameters and the peculiarities of their use determine special requirements for control systems. To ensure the specified quality of control, modeling and research using various tools are necessary.

The developed stand contains the main elements, such as Arduino - a device for controlling and recording results and a driver – L298N for generating control signals of the required power.

The code used allows you to generate test signals of different frequencies and record data in the established mode.

In addition, it is possible to visually observe transient processes in the system and the movement of the actuator stem.

Thus, data collection makes it possible to determine amplitude-frequency and phase-frequency characteristics. With further processing, we can construct logarithmic characteristics.

Practical work with the stand showed that identical drives have differences in the studied parameters, which is important from the point of view of building an accurate aircraft control system.

**METHODS AND MEANS OF DETERMINING THE TECHNICAL
CONDITION OF POWER CABLE LINES OF POWER SUPPLY
SYSTEMS OF MILITARY AIRPORTS**

V. Rykun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. Khabosha; N. Pyshchalka

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The Air Force Aviation is the most important component of the Armed Forces of Ukraine, which is designed to cover the most important civilian and military facilities, critical infrastructure facilities, and the positions of its troops in the area of combat operations and deep inside the territory of the state.

Uninterrupted, reliable, and safe power supply to military airfields is a necessary condition for the high-quality performance of combat missions and during the introduction of hostilities.

To study the real condition of power cable lines at military airfields, a system of periodic tests with increased DC voltage, which exceeds the nominal voltage by 4–6 times, is used. But this method is too destructive and does not guarantee the integrity of the cable and its operation after testing, but on the contrary, it shortens its service life. Considering the obsolescence of cable lines at airfields and their long service life, there is always a risk of insulation breakdown during high voltage testing.

For the diagnosis of cable lines at military airfields, it is advisable to use non-destructive testing methods. One of such methods is the pulse reflectometry method.

Pulse refractometry is a measurement method based on analyzing the response of a line in response to a probing pulse to obtain its characteristics. The pulse reflectometry method is universal, as it is suitable for diagnosing both any types of power cables and fiber-optic communication lines. The pulse reflectometry method initially indicates the range where the damage is located, which allows you to focus the search on a small area and significantly reduce the time to accurately determine the location of the defect.

**ANALYSIS OF METHODS AND MEANS OF DETERMINING
THE LOCATION OF DAMAGE TO POWER CABLE LINES
OF ELECTRICITY SUPPLY SYSTEMS AT MILITARY
AIRFIELDS IN COMBAT CONDITIONS COMBAT OPERATIONS**

M. Kuravsky; O. Vorobyov; D. Denysov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Improving the means of determining the locations of damage to power cable lines of military airfield power supply systems is an important issue for ensuring the reliability of critical infrastructure of the Armed Forces of Ukraine. Although modern diagnostic methods are quite effective, they have a number of limitations related to the accuracy of damage detection, the duration of the inspection process, and the need to involve highly qualified specialists. This leads to an increase in the risk of failures in airfield power supply systems, which can significantly affect combat readiness.

The relevance of this work is due to the growing demands for the efficiency and accuracy of electrical network maintenance in combat conditions and the need to increase the resilience of the Armed Forces of Ukraine's infrastructure to external influences. New technologies for detecting cable damage, such as automated

monitoring systems, sensors, and artificial intelligence algorithms, are being actively developed around the world. These trends underscore the need for further research and improvement of existing solutions to ensure the reliability and security of power supply to military facilities in Ukraine.

This work is important for the Armed Forces of Ukraine, as it will increase the efficiency of airfield maintenance, minimize the time required to detect and repair damage, and, in turn, improve the readiness of military aviation to perform combat missions.

ANALYSIS OF WAYS TO IMPROVE THE DIESEL ENGINES STARTING DEVICES OF MOBILE POWER STATIONS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEXES ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS

*A. Kudryavtsev; O. Vorobyov; V. Shovkoplias
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

An analysis of the performance of tasks by the Armed Forces of Ukraine in combat conditions revealed certain problems associated with the operation of mobile power sources, such as diesel power stations and power generators, especially in low temperatures. In particular, there were problems with the reliable start-up of diesel engines of power stations (power generators) during their frequent starts due to the reduced charge of the starter batteries and the lack of sufficient time to recharge them. This, in turn, makes it impossible to provide weapons and military equipment complexes with electricity in a timely manner when they are performing their designated tasks. Therefore, researching the possibility of using capacitive energy storage devices in diesel power plants for power supply systems of weaponry and military equipment complexes in field conditions seems to be a rather relevant task.

The paper analyzes the peculiarities of starting diesel generator engines in field conditions related to the condition of batteries, analyzes circuit solutions of existing methods of starting diesel generators of military units deployed in field conditions, and proposals are developed for the use of molecular energy storage devices for their joint use with starter batteries on existing electrical equipment deployed in field conditions.

ANALYSIS OF METHODS FOR IMPROVING THE DISTRIBUTION OF REACTIVE LOADS DURING PARALLEL OPERATION OF SYNCHRONOUS GENERATORS

*M. Kuravsky; O. Vorobyov; K. Loshyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

A necessary condition for the constant combat readiness and combat capability of the Air Force's weapon systems during the repulsion of the Russian Federation's armed aggression against Ukraine is a continuous, reliable, and secure power supply. Combat experience shows that a reliable, uninterrupted power supply for weapon systems can only be achieved through the continuous parallel operation of the power units of the units' power supply systems.

When operating in parallel, the main requirement is to distribute the load between the individual power sources in proportion to their capacity. The distribution of active and reactive power between power generators can be achieved

by changing the fuel supply to the cylinders of internal combustion engines and the excitation current of synchronous generators.

The simplest and most commonly used method of distributing reactive loads is the static characteristics method. The second method of ensuring an even distribution of reactive loads is to use equalizing links between the excitation systems of synchronous generators operating in parallel.

To distribute loads using the static characteristics method, it is necessary to readjust the voltage regulators by shifting and parallel transferring the static characteristics. However, it is practically impossible to achieve the same tuning of regulators for all operating modes. It is easier to ensure the intersection of characteristics for a given operating mode and thus equalize their loads. This task is solved by creating equalizing links between diesel generators.

Digital automatic voltage regulators for synchronous generators are microprocessor-based. They are significantly smaller and lighter, which may serve as an opportunity to introduce such regulators into the automation systems of diesel power plants. The introduction of such systems will improve the accuracy of reactive load distribution and voltage regulation of synchronous generators in diesel power stations.

IMPROVEMENT OF THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY OF STATIONARY MILITARY AIRFIELDS THROUGH THE IMPLEMENTATION OF POWER SYSTEM AUTOMATION DEVICES

S. Donoshenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale aggression against Ukraine has significantly increased the requirements for resilience and survivability of power supply systems of stationary military airfields. The uninterrupted functioning of aviation units, communication facilities, navigation systems, and technical support infrastructure directly depends on the reliability of the energy infrastructure. Damage to individual network elements may lead to disruption of combat missions and a decrease in the operational capabilities of the Air Force. Therefore, improving the reliability of power supply systems under wartime conditions has become particularly relevant.

To ensure guaranteed power supply for critical consumers, power system automation devices are used, namely automatic transfer switch (ATS) and automatic reclosing (AR). The analysis of operating modes of airfield electrical networks has shown that, considering the predominant use of cable lines, the most effective solution is the implementation of ATS. It provides rapid switching to a reserve power source in case of failure of the main line, minimizes outage duration, and reduces the influence of the human factor.

The use of modern power system automation devices significantly increases the reliability of power supply and ensures the resilience of military airfield infrastructure under complex combat conditions. Automated solutions minimize the risk of prolonged power interruptions, maintain continuous operation of critical systems, and preserve the combat capability of aviation units even in case of damage to individual network elements. Thus, the implementation of ATS and other system automation devices becomes a key factor in ensuring the survivability and efficiency of airfield energy infrastructure.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING METHODS AND MEANS OF STARTING DIESEL ENGINES OF MOBILE POWER PLANTS IN THE POWER SUPPLY SYSTEMS OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS UNDER COMBAT CONDITIONS

M. Letucha

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The experience of combat employment of anti-aircraft missile systems in current combat conditions has demonstrated that reliable and uninterrupted power supply is a critical factor in ensuring their combat readiness. Mobile diesel power plants form the basis of autonomous power supply systems, and the success of their operation directly depends on the reliability of diesel engine starting systems, especially under low-temperature conditions and partial battery discharge.

Analysis of field operation has shown that traditional electric starting systems based solely on starter batteries are vulnerable to temperature effects, increased internal resistance, and high peak starting currents. These factors lead to voltage drops, insufficient cranking speed, and unsuccessful engine starts. To increase the reliability of starting, it is proposed to introduce molecular energy storage devices (supercapacitors) into the electric starting system, which are characterized by high specific power and the ability to deliver significant peak currents.

Based on the modelling results and experimental studies, it was established that the combined use of a battery and a molecular energy storage device ensures effective distribution of the starting load: the supercapacitor absorbs peak current surges, while the battery provides stable maintenance of starter speed. This approach stabilizes voltage levels, reduces stress on the battery, increases its service life, and ensures reliable diesel generator start-up in difficult operating conditions.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR THE TECHNICAL IMPLEMENTATION OF AN UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY SYSTEM FOR MOBILE GROUPS OPERATING IN FIELD CONDITIONS USING BATTERY STORAGE AND FUEL CELLS

D. Vylyvok; A. Volovodiuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Providing electrical power to mobile groups performing special combat missions in field conditions requires technical solutions that take into account mission duration, energy consumption intensity, and requirements for mobility and concealment. For short-term operations, the use of lithium-ion or LiFePO₄ battery systems is advisable, as they are characterized by high specific energy in the range of 150–200 Wh/kg, low acoustic signature, and the absence of significant thermal emissions. Such power sources ensure stable output voltage of 12–48 V or, via an inverter, 220 V AC, offer a service life of several thousand charge–discharge cycles, and enable rapid deployment without complex preparatory procedures. For missions lasting up to 24–72 hours, battery modules represent an optimal solution in terms of weight, dimensions, operational simplicity, and minimal detectability. However, their autonomy is limited by stored capacity, and at low temperatures a reduction in available energy may occur, requiring additional insulation or reserve capacity.

For prolonged deployment of mobile units in field conditions, compact fuel cell systems present a more effective solution. Their operation is based on the direct

electrochemical conversion of fuel into electrical energy, ensuring an efficiency of 40–60%, low noise levels, and reduced thermal signature. The specific energy of a “fuel–fuel cell” system can exceed 800–1500 Wh/kg, which is significantly higher than that of conventional battery systems, while operational duration is determined primarily by the available fuel supply and may extend to several days or even weeks. At the same time, fuel cell implementation requires proper fuel storage organization, temperature control, and adherence to additional safety measures.

The most rational approach is a combined architecture of the uninterruptible power supply system in which battery modules handle peak loads and provide immediate response to dynamic changes in equipment operation, while fuel cells function as the primary energy generation source, gradually recharging the battery bank. This configuration enhances the energy resilience of the unit, reduces the overall system weight during extended missions, and ensures redundancy in the event of failure of one of the power sources. The proposed approach creates the basis for an adaptive and modular uninterruptible power supply system capable of efficient operation under a wide range of climatic and tactical conditions.

INTERNATIONAL COOPERATION IN THE FIELD OF ENERGY

E. Hashimov¹, Sc.D in National security and military sciences professor;

V. Tabunenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The Ukrainian power system is a set of power plants, transmission lines, substations and heating networks, connected into a single whole by the common mode and continuity of the process of production and distribution of electrical and thermal energy. Russia is systematically destroying the Ukrainian energy system, seeking to leave the people of Ukraine without light and heat, especially in winter. As a result of shelling of energy infrastructure, consumers in Odessa, Dnipropetrovsk, Kyiv, Kharkiv, Mykolaiv, Donetsk, and Sumy regions are regularly experiencing power outages. Night strikes and massive attacks by the Russians over four years of active hostilities have destroyed most elements of the power system several times.

According to expert forecasts, stabilization of the Ukrainian energy system may occur as early as April, when the load on the networks will decrease. This will be facilitated by the end of the heating season. Currently, during the war, there is a difficult situation with electricity supply in all regions of Ukraine. Due to significant damage to energy networks, the satisfaction of consumers' needs for electricity is regularly disrupted, and the reliability of the entire energy system and its individual elements is regularly reduced, ostensibly while maintaining load schedules. Parallel operation of power plants in an integrated power system significantly increases the overall reliability of power supply by covering the capacity of a failed plant with the remaining operating plants in the system. In addition, in the power system, there is a need to install reserve units at each station in order to have sufficient reserve power for the entire system, the value of which must be no less than the power of the largest unit in the system.

Centralized management of the power system is carried out by the central dispatching service of the power system. There is always a dispatcher on duty at the

power system control point, who gives instructions for making operational switching operations or performs such switching operations independently.

Due to the emergency situation in the Ukrainian energy system, the government continues to actively attract international humanitarian assistance to continue emergency restoration work. Ukraine has received €3.5 million in aid from Austria through various international mechanisms to help it overcome the consequences of Russia's winter terror. Vienna is also funding projects worth €14.1 million in humanitarian demining.

Switzerland has launched an operation to transfer energy equipment to restore Ukraine's power system the first trucks with technical assistance have already left for Ukraine. The total cost of the assistance is 32 million Swiss francs (approximately 35 million euros).

The European countries of Latvia, Austria, Finland, Croatia, France, and Germany also promise support to Ukraine in the form of powerful energy assistance – the transfer of decommissioned equipment from these European thermal power plants and thermal power plants for over 600 million euros in aid to support the energy sector.

The transfer of decommissioned equipment from European thermal power plants and thermal power plants for Ukrainian plants has been achieved with these six countries.

Thanks to this assistance, Ukraine will be able to quickly restore the operation of key stations that were destroyed by the enemy as a result of missile fire. Western partners agreed at a meeting of the International Energy Agency in Paris to allocate more than 600 million euros for energy support for Ukraine. The allocated funds will be distributed as follows:

- contributions to the Energy Support Fund of Ukraine in the amount of over 250 million;
- agreements with the USA on a separate assistance program through the SPARK project in the amount of 276 million dollars;
- from France 71 million euros of humanitarian support, which will be provided during 2026.

Energy support is being sent to Ukraine from all over the world. According to preliminary data, the European Union has already provided 447 generators with a capacity of over 7 megawatts.

Additional assistance was provided by individual European countries:

- Italy – 78 boilers with a capacity of 112 megawatts;
- Germany – 2 cogeneration plants with a capacity of 3.8 megawatts;
- Poland – 379 generators with a total capacity of 4.5 megawatts;
- France – 30 generators with a total capacity of 3.4 megawatts.

In addition, Spain is transferring a batch of powerful generators to Ukraine.

But the support from partners does not end there. Considerable shipments of equipment are also being sent to Ukraine from all over the world. They come from Azerbaijan, Estonia, Lithuania, Slovakia, the Czech Republic, Sweden, Luxembourg, France, Switzerland, and Japan.

Every contribution is real help to provide heat in communities and counteract Russian energy terror. The people of Ukraine are grateful to all the benefactors and our partners who are helping us get through this difficult winter. We will always remember this sincere support, the warmth of your hearts during the coldest time in our history.

ELECTRICAL POWER SUPPORT OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT BASED ON COMBAT EXPERIENCE

*S. Poplavets¹, Doctor of Philosophy, Associate Professor;
O. Haldobin²; I. Mashchenko²; Y. Novoselov²*

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

*²Military Institute of Tank Troops of the National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”*

The experience of the Russian–Ukrainian war (2022–2025) has significantly transformed approaches to electric power support of weapons and military equipment. The large-scale deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs), electronic intelligence systems, satellite communications, and precision-guided weapons has led to a sharp increase in energy consumption at the tactical level and has raised requirements for unit autonomy and operational concealment.

The traditional model of centralized power supply based on diesel generators has proven to be insufficient due to considerable thermal and acoustic signatures that increase detectability. Combat practice has demonstrated the effectiveness of transitioning to hybrid power supply systems combining inverter generators, lithium iron phosphate (LiFePO₄) battery stations, and solar panels. Inverter generators provide stable electrical parameters required for sensitive electronic equipment, while battery systems enable prolonged operation in low-signature modes without running internal combustion engines.

Autonomy is interpreted as the capability of a unit to operate in isolation from stationary infrastructure while minimizing physical, thermal, and electromagnetic signatures. Thus, electric power support is evolving into a high-tech integrated system directly influencing survivability, mobility, and operational effectiveness of weapons and military equipment. A promising direction for further development involves advanced hybrid energy solutions and intelligent energy management systems adapted to combat conditions.

THE EFFECT OF IMPROVING PARTIAL INDICATORS OF THE C2 SYSTEM ON UGV ENERGY CONSUMPTION WITHIN OPERATIONAL EFFECTIVENESS ASSESSMENT

O. Korolova, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher;

P. Kazan, Candidate of Military Sciences, Senior Researcher;

V. Khakhula; I. Milkovich

Hetman Petro Sahaidachny National Army Academy

Analysis of combat operations shows a significant percentage (up to 30 %) of UGV control and communication losses due to the influence of electronic warfare in the active jamming zone.

There are several ways to improve and modernize the C2 system (communications and sensors), but most of them worsen other characteristics of the model, such as additional power consumption (battery). This further reduces the mission time or causes its failure, or the loss of the UGV. New or “improved” communication parts usually require additional energy. Therefore, it is important to investigate the contribution of C2 system improvements to the UGV’s overall operational effectiveness, taking into account the additional energy consumption of the UGV battery that powers them.

The effectiveness of UGV use was assessed using sensitivity analysis. The impact of modernized partial indicators (in particular, the C2 system) on its determination was investigated, taking into account the additional energy consumption of the UGV battery to ensure their operation. To analyze the dependence of mission time on communication and computing loads for small and medium-sized UGVs, testing was carried out according to four scenarios, in particular, countering electronic warfare measures.

According to the tests conducted, it was determined that the energy “cost” of C2 can be low ($\approx 5\text{--}10\%$) in simple transit mode, but during intensive reconnaissance or during an electronic warfare attack, it increases to $20\text{--}40\%$ or more of total consumption.

Thus, it has been shown that improvements in communication components directly affect the power supply of UGVs, increasing consumption. The rational design and the application of energy-efficient solutions, costs can be reduced through traffic optimization.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ

С.В. Королько, к.т.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

В сучасних реаліях збройної боротьби з ворогом актуальним є забезпечення озброєння та військової техніки енергетичними ресурсами. Без електроживлення неможливо собі уявити діяльність як військових технічних систем, зв'язку, так і діяльність особового складу. Електроенергія по суті стала одним із ключових ресурсів поряд із паливом та боеприпасами. Сучасні зразки озброєння значною мірою залежать від стабільного електроживлення для функціонування систем управління технічними засобами. Електроенергетичне забезпечення охоплює генерацію, накопичення, розподіл та захист електроенергії.

У сучасних операціях традиційно застосовуються автономні джерела живлення типу генераторів, проте, водночас зростає роль акумуляторних батарей великої ємності та мобільних енергомодулів, тому пріоритет надається розосередженим та мобільним системам автономного енергопостачання. Звичайно, для генерування енергії на перший план виходять сонячні панелі, разом з тим, обов'язковим елементом є засоби тимчасового збереження енергії – акумулятори.

Досвід бойових дій показує необхідність багаторівневої системи резервного живлення. Особливу роль відіграють джерела безперебійного живлення для захисту електроніки від перепадів напруги, а також індивідуальні енергосистеми для елементів сучасного спорядження воїна. Літій-іонні та твердотільні акумулятори стають невід'ємним стандартом у військовій сфері.

Для Збройних Сил України питання енергетичної стійкості є одним із ключових елементів роботоздатності бойових підрозділів. Електроенергетичне забезпечення перетворилося на повноцінний елемент бойового потенціалу, а енергія стала одним із ключових ресурсів боєздатності військ на полі бою.

ЕВОЛЮЦІЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В КОНТЕКСТІ ВОЄН ХХІ СТОЛІТТЯ

Б.О. Середюк, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Досвід локальних конфліктів початку ХХІ століття, зокрема операцій у Іраку та Сирії, засвідчив зростання ролі автономних систем живлення для мобільних пунктів управління, розвідувальних комплексів та засобів зв'язку. Подальший розвиток бойових дій у Нагірному Карабасі та повномасштабна російсько-українська війна підтвердили критичну залежність сучасних систем протиповітряної оборони, радіолокації та безпілотних платформ від надійного та захищеного електропостачання. У сучасних умовах централізовані системи електропостачання мають обмежену живучість через високу ймовірність ураження противником. Тому актуальним є перехід до децентралізованих модульних систем електроенергетичного забезпечення, що включають мобільні електростанції, гібридні енергетичні установки, акумуляторні накопичувачі та відновлювані джерела енергії. Особливу увагу приділяють зменшенню демаскувальних ознак електроенергетичних засобів. Використання акумуляторних батарей великої ємності, суперконденсаторів та інтелектуальних систем управління навантаженням дозволяє знизити теплову та акустичну помітність бойових систем, що підвищує їх живучість на полі бою. Перспективним напрямом є створення польових мікромереж та мобільних енергетичних кластерів, які забезпечують інтеграцію наземних, повітряних та морських платформ у єдину енергетичну систему. Такий підхід відповідає концепції мережево-центричних операцій і дозволяє підвищити автономність бойових підрозділів. Тому важливим завданням є підвищення енергоефективності ОБТ та зменшення питомого споживання енергії.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЗБРОЄННЯ В УМОВАХ СУЧАСНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

М.В. Кучер¹; В.М. Кучер²

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

²ДНП "Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького"

Практика бойових дій засвідчила, що сучасні системи озброєння є енергоємними та критично залежними від безперервного живлення. Зокрема, застосування зенітних ракетних комплексів типу Patriot або IRIS-T безпосередньо пов'язана зі стабільністю роботи радіолокаційних станцій, пунктів бойового управління та засобів зв'язку. Аналогічно, масове застосування безпілотних авіаційних комплексів, зокрема Shahed-136, актуалізувало необхідність розгортання автономних мобільних енергетичних пунктів для забезпечення роботи радіолокаційних засобів виявлення на тактичному рівні.

Відтак ключовим принципом підвищення стійкості виступає децентралізація та модульність енергосистем. Розосередження генераційних потужностей, використання мобільних дизельних та газотурбінних

електростанцій, а також акумуляторних накопичувачів великої ємності дозволяють мінімізувати наслідки ураження окремих елементів системи.

Застосування мобільних сонячних панелей та систем накопичення енергії на передових позиціях зменшує залежність від наявності паливно-мастильних матеріалів, що в умовах війни стає одним із найбільш уразливих елементів забезпечення.

Окремого значення набуває кіберстійкість систем управління електроживленням. Умови російсько-Української війни вимагають активного застосування кіберзасобів впливу на об'єкти критичної інфраструктури. Тому системи керування військовими енергетичними мережами повинні мати ізольовані контури управління, резервні канали передачі даних та можливість переходу в автономний режим.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

О.В. Кулаков, к.т.н., доц.

Національний університет цивільного захисту України

В умовах війни виникає потреба негайного підключення потужних споживачів електричної енергії до пересувних генераторних установок. Зокрема така необхідність виникла взимку поточного року для забезпечення цивільного захисту населення після повітряних ворожих атак на міста України.

Умови застосування кабельних виробів (КВ) регламентуються діючою редакцією Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Максимальний тривало припустимий струм залежить від конструкції КВ (марки КВ), його розміру та умов прокладання. Найчастіше для підключення пересувних споживачів використовуються КВ з багатодровою мідною жилою та подвійною ізоляцією з полівінілхлориду або гуми. Згідно ПУЕ тривало допустимий струм для такого КВ при відкритому прокладанні встановлюється для температури нагріву жили 70 °С при температурі повітря навколишнього середовища 25 °С.

Дослідження показали, що взимку в умовах низьких температур повітря можливе застосування КВ меншого перерізу ніж це регламентується ПУЕ без погіршення умов пожежної безпеки та надійності електропостачання. Наприклад, при температурі повітря навколишнього середовища (–20) °С максимально припустимий струм досліджених розмірів кабелю марки КГНВ можна збільшувати до 50 % від величини, що вимагається ПУЕ. Навпаки влітку при температурах повітря навколишнього середовища вище 25 °С необхідно зменшувати максимально припустимий струм КВ. Наприклад, при температурі повітря навколишнього середовища 40 °С для досліджених розмірів кабелю марки КГНВ – на 21 %.

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРИСТРОЇВ У КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ

В.В. Кузавков, д.т.н., проф.; А.О. Тлустий

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

В умовах інтенсивного використання комунікаційних систем для передачі даних спостерігається різке зростання кількості зовнішнього впливу на такі системи. Зростання кількості кібератак типу “підміна пристрою” в системах

спеціального призначення обумовлює актуальність задачі створення (вдосконалення) програмно-апаратних методів ідентифікації абонентського устаткування з метою уникнення його підміни.

Традиційні криптографічні системи, які ґрунтуються на збереження статичних ключів шифрування в енергонезалежній пам'яті пристроїв, є вразливими до фізичного компрометування та клонування. Тому запропоновано перехід до методів автентифікації на фізичному рівні, де ключовою відмінністю є унікальні апаратні характеристики передавача.

Основна мета роботи – створити умови для підвищення захищеності каналу зв'язку шляхом розробки комбінованого методу формування псевдовипадкової послідовності та ідентифікатора пристрою на основі фізичних процесів напівпровідникових елементів.

У роботі запропоновано використання стохастичних флуктуацій струму, як єдиного апаратного джерела ентропії для розв'язання двох взаємопов'язаних завдань – генерації криптографічного ключа та апаратної ідентифікації пристроїв.

Запропонований підхід дозволяє криптографічно об'єднати згенерований ключ AES із фізичним ідентифікатором пристрою. Приймальна сторона не лише розшифровує дані за допомогою згенерованої ПВП, але й верифікує походження сигналу, відсікаючи будь-які спроби підміни з боку неавторизованих засобів. Генерації криптографічного ключа вирішується використанням динамічної, непередбачуваної зміни параметрів струму в шині живлення абонентського устаткування.

ЗАСІБ КОМПЕНСАЦІЇ ПУЛЬСАЦІЙ ДЛЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ГВИНТІВ КВАДРОКОПТЕРА

*О.Л. Бурсала, к.т.н., с.н.с.; О.О. Бурсала; Д.В. Зройчиков
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння і військової техніки*

Переважно системи електроприводів гвинтів квадрокоптера виконують на основі безколекторних двигунів постійного струму (БДПС), які працюють в імпульсному режимі, так як в їх складі присутні дискретні ланки: автономні інвертори напруги. Внаслідок цього виникають пульсації напруги живлення, проти-е.р.с БДПС та його струму, які негативно впливають на якість характеристик електродвигунів та тривалість використання бортового акумулятора. Існує актуальна проблема розробки методів для зменшення цього негативного впливу, але в відомих роботах цю проблему не розглянуто і, як наслідок, не рекомендовано засобів її рішення.

Запропоновано засіб компенсації пульсацій струму, напруги живлення і проти-е.р.с БДПС, що усуває їх вплив на енергетичні та динамічні показники систем електроприводів гвинтів квадрокоптера. Компенсація пульсацій струму досягається за рахунок забезпечення рівності похідних напруги живлення та проти-е.р.с. БДПС. На основі аналізу дискретних процесів в контурі струму отримано умову компенсації пульсацій, яка полягає в припасуванні добутку модуля передатних функцій кола прямої передачі контуру струму і кола його зворотного зв'язку до одиниці. Виконані необхідні розрахунки, які підтверджують коректність запропонованої умови. Показано, що додавання

кіль компенсації до контуру струму може викликати втрату його стійкості на субгармонійних частотах. На основі аналізу характеристичного рівняння контуру струму, яке враховує вплив кіль компенсації на процес у ньому, отримано умови стійкості на основній субгармоніці, яке пов'язує між собою параметри регулятора контуру струму і кола компенсації пульсацій.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ІОНІСТОРАХ ДЛЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВІЙСЬКОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

*А.В. Гнатов, д.т.н., проф.; К.С. Чаплигін; О.А. Ульянець
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Зростаюча потреба у військовому електротранспорті вимагає нових рішень у сфері накопичення та управління енергією. Використання іоністорів у поєднанні з традиційними акумуляторами може значно покращити характеристики силових установок, зокрема швидкість заряджання, довговічність та надійність у складних умовах експлуатації. Цей реферат розглядає концепцію інтеграції блоку іоністорів у силову установку електротранспорту для військових потреб.

Військовий електротранспорт має працювати у важких умовах, таких як високі навантаження, перепади температур, підвищені вимоги до маскування та енергоефективності.

Іоністори (ультраконденсатори) відрізняються від традиційних акумуляторів високою щільністю потужності та можливістю швидкого заряджання та розряджання.

Запропонована система передбачає використання комбінованої архітектури, де іоністори працюють у зв'язці з акумуляторними батареями.

Використання блоку іоністорів у силовій установці електротранспорту для військових потреб дозволяє:

- зменшити навантаження на акумуляторні батареї та продовжити їх термін служби;
- підвищити маневреність та динамічні характеристики транспорту;
- знизити час простою при заряджанні;
- покращити роботу у екстремальних умовах.

МЕТОДИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ЗАРЯДУ 12- ВОЛЬТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ ДЛЯ АВТОТРАНСПОРТУ

*А.В. Гнатов, д.т.н., проф.; М.О. Бензионович; П.А. Сохін, Ph.D.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

12-вольтні акумуляторні батареї є ключовими компонентами військового автотранспорту, забезпечуючи живлення електричних систем, запуск двигунів та резервне живлення. Оптимальні режими зарядки та ефективне технічне обслуговування мають критичне значення для забезпечення надійності та довговічності цих батарей у польових умовах.

Для продовження терміну служби та підтримання ефективності роботи акумуляторних батарей застосовують наступні методи технічного обслуговування:

- регулярна перевірка рівня електроліту (для свинцево-кислотних акумуляторів) та його доливання дистильованою водою;
- контроль напруги та ємності з використанням мультиметрів і тестерів навантаження;
- очищення контактів та клем від окислення для запобігання поганому контакту та втратам напруги;
- діагностика стану батареї та виявлення сульфатації пластин.

Ефективне технічне обслуговування та вибір оптимальних режимів зарядки є ключовими факторами для забезпечення надійності та довговічності 12-вольтних акумуляторів військового автотранспорту. Використання сучасних методів діагностики та регенерації дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики батарей, що особливо важливо в умовах польових операцій та бойових дій.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ПІДГРІВУ ПОВІТРЯ У ПНЕВМОДВИГУНІ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОГО АВТОТРАНСПОРТУ

А.В. Гнатов, д.т.н., проф.; К.А. Череватенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Сучасний військовий автотранспорт повинен функціонувати в екстремальних умовах, що впливає на роботу пневматичних двигунів. Одним із перспективних рішень для покращення ефективності роботи таких двигунів є використання системи індукційного підігріву повітря. Дана технологія дозволяє зменшити теплові втрати, покращити стабільність роботи двигуна та знизити витрати енергії на прогрівання стиснутого повітря.

Індукційний підігрів базується на явищі електромагнітної індукції, при якій струм високої частоти створює змінне магнітне поле. Це поле індуктує вихрові струми у металевих елементах системи пневмодвигуна, викликаючи їх швидке нагрівання. Нагріті елементи передають тепло повітрю, що подається у пневмодвигун.

Для військового транспорту особливо важливо забезпечення стабільної роботи двигуна у холодному кліматі.

Впровадження індукційного підігріву повітря у пневмодвигунах військового автотранспорту є перспективним рішенням, яке дозволяє покращити експлуатаційні характеристики техніки, особливо у складних кліматичних умовах. Використання цієї технології підвищує автономність, енергоефективність та надійність військових транспортних засобів, що є ключовим фактором для їх успішного застосування у бойових операціях.

ДОСЛІДЖЕННЯ БЛОКУ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ НА ІОНІСТОРАХ ДЛЯ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ВІЙСЬКОВОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

А.В. Гнатов, д.т.н., проф.; К.Є. Чаплигін; О.А. Улянець

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Зростаюча потреба у військовому електротранспорті вимагає нових рішень у сфері накопичення та управління енергією. Використання іоністорів у поєднанні з традиційними акумуляторами може значно покращити характеристики силових установок, зокрема швидкість заряджання,

довговічність та надійність у складних умовах експлуатації. Цей реферат розглядає концепцію інтеграції блоку іоністорів у силову установку електротранспорту для військових потреб.

Військовий електротранспорт має працювати у важких умовах, таких як високі навантаження, перепади температур, підвищені вимоги до маскування та енергоефективності.

Іоністори (ультраконденсатори) відрізняються від традиційних акумуляторів високою щільністю потужності та можливістю швидкого заряджання та розряджання.

Запропонована система передбачає використання комбінованої архітектури, де іоністори працюють у зв'язі з акумуляторними батареями.

Використання блоку іоністорів у силовій установці електротранспорту для військових потреб дозволяє:

- зменшити навантаження на акумуляторні батареї та продовжити їх термін служби;
- підвищити маневреність та динамічні характеристики транспорту;
- знизити час простою при заряджанні;
- покращити роботу у екстремальних умовах.

ТРАНСФОРМАЦІЯ ТЯГОВИХ ІНВЕРТОРІВ ДВОМОТОРНОГО ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ НА БОРТОВИЙ ЗАРЯДНИЙ ПРИСТРІЙ

А.О. Нечаус, к.т.н., доц.; Є.І. Журавльов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Типова електрична частина двомоторного електромобіля містить два тягових інвертора, призначених для живлення тягових електричних двигунів, та бортовий зарядний пристрій, призначений для заряду тягової акумуляторної батареї від зовнішньої електричної мережі. Аналізуючи електричні схеми цих пристроїв, можна помітити, що кожен тяговий інвертор складається з шести силових керованих вентилів, з'єднаних за трифазною мостовою схемою, при цьому їх кількість дорівнює дванадцяти. Бортівий зарядний пристрій складається з чотирьох вентилів коректора потужності та восьми вентилів перетворювача постійного струму, що в сумі також дає дванадцять вентилів. Приймаючи до уваги, що інвертори та зарядний пристрій одночасно працювати не можуть, пропонується задіяння одного комплексу з дванадцяти вентилів для виконання завдань бортової силової електроніки електромобіля. Тобто розробка системи перемикачів, за допомогою якої можлива трансформація двох тягових інверторів на бортовий зарядний пристрій.

Запропонована схема, у якій передбачено трансформація тягового інвертора першого двигуна на коректор потужності бортового зарядного пристрою, підключеного до однофазної мережі живлення, при цьому задіяються чотири вентиля. Решта вентилів першого інвертора та пара вентилів другого інвертора утворюють первинне коло перетворювача постійної напруги, яке підключене до первинної обмотки високочастотного трансформатора. Решта – чотири вентиля другого інвертора утворюють випрямляч, з якого напруга подається на заряд тягової акумуляторної батареї. При цьому оскільки усі вентиля керовані, перетворювач постійної напруги є двонаправленим.

Представлено результати комп'ютерного моделювання роботи запропонованої системи, які свідчать про можливість технічної реалізації подібного рішення.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОТУЖНИХ БЕЗДРОТОВИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

*А.О. Нечаус, к.т.н., доц.; А.Ю. Корощенко
Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

Приймаючи до уваги світові тенденції розвитку та поширення електромобілів, можна припустити, що у найближчому майбутньому доля транспортних засобів з електричним приводом у складі ОБТ буде постійно зростати. Одним з основних недоліків, які на теперішній час обмежують попит на електромобілі, є досить великий час заряду, який ще більше зростає по мірі збільшення ємності та потужності тягових акумуляторних батарей. Збільшення величини зарядного струму у цьому випадку тягне за собою збільшення перерізів і, як наслідки, збільшення ваги та зменшення гнучкості зарядних кабелів. Виходом з такої ситуації на теперішній час вважається прийнятим розвиток бездротових систем заряду (БДСЗ). Аналітичний огляд наукової періодики у даній галузі дозволяє провести деякі узагальнення технічних рішень, які на теперішній час були впроваджені або розглядаються до впровадження.

Першою ознакою потужних БДСЗ є комбінація передавальної та приймальної котушки, які у трифазній системі можуть бути з'єднані зіркою або трикутником. Відповідно, навіть варіація за цією ознакою дозволяє побудувати чотири різновиди БДСЗ. Другою ознакою є рід струму джерела живлення, він визначає тип перетворювача напруги передавальної ланки. Третьою ознакою є величини напруг, залежно від яких реалізуються паралельні, послідовні або каскадні схеми БДСЗ.

Важливим елементом БДСЗ є резонансна ланка, яка складається з котушок індуктивності та конденсаторів, при цьому вони у трифазній системі можуть компонуватися різними способами, починаючи від найпростіших зірки та трикутника до досить складних комбінацій, які зважаючи на розділення передавального та приймального кола можуть налічувати до двох десятків.

Представлена до розгляду інформація дозволяє визначити шляхи подальшого розвитку та вдосконалення потужних бездротових зарядних станцій електромобілів.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ КОМПЛЕКТАЦІЇ МОБІЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Ю.В. Зачена¹, к.т.н., доц.; О.П. Чорний², д.т.н., проф.;

С.Г. Буряковський³, д.т.н., проф.

^{1,2}Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського

³Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут "Молнія"

Харківського національного університету

"Харківський політехнічний інститут"

Мобільне джерело енергопостачання (МДЕ) формується персоналом відповідних підприємств в період, який передувє аварії, протягом її розвитку або після закінчення її активної фази. Комплектація МДЕ здійснюється з наявних та

нормально функціонуючих компонентів технологічного, електротехнічного та транспортного обладнання, а саме має включати: 1) енергосилову установку, 2) енергогенеруючу установку, 3) модуль зв'язку та керування.

В якості енергосилової установки пропонується використовувати будь-який двигун внутрішнього згорання (дизельний, карбюраторний, інжекторний), встановлений як рушійна сила на транспортних засобах, що забезпечує самохідне переміщення енергосилової установки та решти комплектуючих до місця формування МДЕ.

В якості електрогенеруючої установки використовується електродвигун (постійного струму, асинхронний, синхронний) відповідної потужності та напруги, демонтований з некритичних виробництв.

Модуль зв'язку та керування забезпечує: взаємодію енергосилової установки з елементами системи електропостачання; перетворення генерованої електроенергії та синхронізацію її частоти і напруги відповідно з потребами споживачів; безпечне обслуговування МДЕ.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СХЕМНИХ РІШЕНЬ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ІЗОЛЬОВАНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

А.О. Нечаус, к.т.н., доц.; І.А. Сербінов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Силові двонаправлені перетворювачі використовуються у системах електропостачання, оснащених електрохімічними накопичувачами електричної енергії, в тому числі з можливістю підключення електромобілів за технологією V2X, для забезпечення двосторонньої передачі електричної енергії із узгодженням параметрів напруги мережі та накопичувача. Ізольовані (трансформаторні) перетворювачі мають деякі переваги порівняно з неізольованими (імпульсними), а саме: визначають більший діапазон різниць напруг мережі та накопичувача, а також забезпечують гальванічну розв'язку кіл високовольтної акумуляторної батареї та мережі.

Згідно аналізу, на теперішній час маються відомості про застосування чотирьох типів класичних схем подібного роду перетворювачів, а також чотирьох типів, які вважаються новітніми. При цьому, кожен тип перетворювача має варіації щодо особливостей побудови окремих функціональних елементів. Основні схемні рішення розглянутих перетворювачів включають: flyback(зворотноходовий)-перетворювач, двотактна схема, інвертуючий імпульсний перетворювач, forward(прямоходовий)-перетворювач, DAB(двоактивний)-перетворювач, двоактивний півмостовий перетворювач, півмостовий-повномостовий перетворювач, багатопортовий двоактивний мостовий перетворювач.

Представлено аналітичний огляд схемних рішень ізольованих двонаправлених перетворювачів. Наведені відомості дозволяють здійснювати вибір схеми перетворювача залежно від параметрів наявного накопичувача енергії, параметрів електричної мережі та вимог споживачів. Також вказано орієнтовні параметри очікуваного енергетичного ефекту та рекомендації щодо потреб у додатковому обладнанні.

СЕКЦІЯ 17

**МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СЕКТОРІ БЕЗПЕКИ І ОБОРОНИ
З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ**

Керівники секції: полковник Козел В.В.;
к.т.н. доц. полковник Войтенко С.С.
Секретар секції: підполковник Запека В.Ю.

**ЗАВДАННЯ НА ПІДГОТОВКУ ФАХІВЦІВ МЕТРОЛОГІВ ДЛЯ
МЕТРОЛОГІЧНОЇ СЛУЖБИ МІНІСТЕРСТВА ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ПІД ЧАС ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ**

В.В. Козел

*Управління метрології та стандартизації озброєння Командування Сил
логістики Збройних Сил України*

Особовий склад метрологічної служби Міністерства оборони України протягом збройної агресії російської федерації виконує завдання з забезпечення єдності вимірювань та метрологічного забезпечення Збройних Сил України. Для виконання поставлених завдань перед метрологічною службою важливим є поповнення висококваліфікованим особовим складом, який призначається на посади після навчання в Харківському національному університеті Повітряних Сил.

В доповіді наводиться мета підготовки та підвищення кваліфікації військових метрологів. Підкреслюється необхідність підготовки практико-орієнтованих фахівців, здатних виконувати функціональні обов'язки за первинними посадами. Розкриваються пріоритетні напрямки підготовки за рівнями освіти. Висуваються вимоги до проведення практик та військового стажування для здобувачів вищої освіти за спеціалізацією Метрологія та вимірювальна техніка військ (сил). Зазначається необхідність зосередження основних зусиль на отримання фахівцями індивідуальних спроможностей, практичних навичок зі спеціальності. Наводиться перелік військової техніки, яку доцільно вивчати під час підготовки фахівців-метрологів.

Визначено порядок планування теоретичних та практичних занять з дисциплін професійного спрямування для випускних курсів першого та другого рівнів вищої освіти за спеціальністю Інформаційно-вимірювальні технології. Запропоновано порядок взаємодії представників кафедри метрології та стандартизації з представниками замовника.

**JUSTIFICATION FOR CHANGES TO THE EDUCATIONAL
AND PROFESSIONAL PROGRAM IN METROLOGY
AND INFORMATION AND MEASUREMENT TECHNOLOGIES**

*S. Voitenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The Department of Metrology and Standardization at Kharkiv National Air Force University trains highly qualified specialists for the metrology service of the Ministry of Defense of Ukraine.

During the armed aggression of the Russian Federation, the customer has imposed additional requirements for the training of specialists, related to the acquisition of relevant competencies and capabilities by graduates, based on the experience gained while performing tasks in combat conditions.

The report outlines the capabilities of the Department of Metrology and Standardization and provides a procedure for introducing the experience of metrology specialists in performing tasks during combat operations.

In order to train practice-oriented specialists capable of performing functional duties in their primary positions and to improve the educational process and the quality of education at the second (master's) level of higher education in the specialty of Information and Measurement Technologies, it is necessary to make changes to the educational and professional training program. To solve the tasks set, the report provides justifications for: the list of components of the educational and professional program and their logical sequence; the matrix of correspondence of program competencies to the components of the educational and professional program; the matrix of ensuring program learning outcomes with the relevant components of the educational and professional program.

It reveals links with organizations and institutions that provide opportunities to implement the practical component of the educational and professional program for acquiring practical skills.

EDDY CURRENT DETECTION OF FATIGUE CRACK THROUGH THE COMPOSITE REPAIR PATCHES

*V. Uchanin¹, Doctor of Technical Sciences;
K. Dragan², Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. Karpash³, Doctor of Technical Sciences, Professor;
K. Ivashchenko¹*

*¹Karpenko Physico-Mechanical Institute of NAS;
²Air Force Institute of Technology, Warsaw, Poland;
³Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Repair patches bonded to aircraft structures (AS) are widely used to reinforce damaged AS components. Such structures are subjected to additional inspection for the purpose of detecting fatigue cracks in repaired aluminum alloy (AA) AS under a carbon fiber-reinforced plastic (CFRP) patch [1]. The eddy current (EC) inspection procedure using developed low-frequency double-differential probes can solve this problem without dismounting of repaired AS [2; 3].

To investigate the proposed EC probe, AA specimens with electro-discharge defects covered by a CFRP sheet were applied. Known EC probes don't have sufficient sensitivity to detect such defects through a CFRP layer. The signals generated by defects under the patches were recorded in the complex plane and in time-domain mode. The results obtained demonstrate a high level of signals from a 0.5 mm deep crack during inspection through a 4.5 mm thick CFRP patch that is enough for effective AS maintenance.

1. Bona, A. Theoretical and experimental review of applied mechanical tests for carbon composites with thermoplastic polymer matrix. Transactions on Aerospace Research. 2019, 4(257), pp. 55-65.

2. Uchanin V., 2022, Eddy current techniques for detecting hidden subsurface defects in multilayer aircraft structures. Transactions on aerospace research, 2022, 267(2), pp. 69-79.

3. Uchanin V., Karpash O., Voitenko S., et al. Eddy Current and Ultrasonic Nondestructive Techniques for Structural Integrity Monitoring, Structural Integrity Procedia, 2026 (in print).

NEW ENERGY TECHNOLOGIES FOR MOBILE MEASURING LABORATORIES IN COMBAT CONDITIONS

I. Rybitskyi¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; S. Voitenko¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Kalinichenko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Logistics Command of the Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine

The effectiveness of weapons and military equipment in intense combat conditions depends on the quality and timeliness of their technical maintenance and metrological servicing.

The conditions and dynamics of modern warfare necessitate the constant availability of serviceable measuring equipment at troop (force) deployment sites to regulate and monitor technical condition. It is most expedient to carry out timely and complete metrological maintenance of modern complex systems using mobile measuring equipment laboratories.

However, the reliable use of these laboratories directly depends on their uninterrupted power supply. Currently, laboratories' autonomous power supply is provided by internal combustion engines. Such systems have low energy efficiency, require constant maintenance, and reveal their position.

The report provides justification for the use of the latest energy technologies, including renewable energy and modern electricity storage systems, to ensure a reliable power supply and uninterrupted operation of mobile measuring equipment laboratories in combat conditions. Requirements are presented for developing a methodology to determine the composition and operational algorithm of such systems, depending on the configuration (set of measuring equipment and additional equipment), duration, and operating conditions of laboratories of this type.

A description of the methodology for selecting the optimal parameters for such systems and equipment (batteries, solar photovoltaic panels, inverters, etc.) is provided to ensure the mobile measuring equipment laboratory's autonomy of up to 8 hours, depending on its configuration.

ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF ARTILLERY BARRELS

*I. Rybitskyi, Doctor of Technical Sciences, Professor; O. Holovatiuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of modern warfare, artillery systems are actively employed in coordination with reconnaissance unmanned aerial vehicles to enhance firing accuracy and overall mission effectiveness. At the same time, the increasing intensity of their use leads to accelerated barrel wear, reduced accuracy, and a higher risk of structural failure.

Under such conditions, accurate assessment of the technical condition of artillery barrels becomes especially important, since neglecting diagnostic procedures may not only result in the aforementioned consequences but also pose

serious risks to personnel. However, existing diagnostic methods do not fully ensure effective monitoring under combat conditions, which necessitates their improvement and adaptation.

One of the promising approaches is the application of acoustic ultrasonic non-destructive testing methods. Acoustic inspection is widely used for diagnosing objects of complex geometry due to its high sensitivity and accuracy compared to other testing techniques. The ultrasonic method is based on the use of high-frequency acoustic waves that propagate through the material, and the analysis of their propagation makes it possible to detect defects, thickness variations, and structural changes in the metal under combat operating conditions of artillery systems.

The improvement and adaptation of ultrasonic testing for diagnosing artillery barrels will reduce maintenance time, increase the accuracy of technical condition assessment, help preserve the lives of artillery crews, and enable the creation of a database for further evaluation of the effectiveness of artillery systems in combat operations.

WAYS TO IMPROVE THE REGULATORY FRAMEWORK OF THE METROLOGICAL SUPPORT SYSTEM OF THE MINISTRY OF DEFENSE OF UKRAINE IN THE CONTEXT OF EUROATLANTIC INTEGRATION

V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

T. Mosharenkova; Y. Skorbach

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Processes of EuroAtlantic integration determine the need for harmonization of defense standards, particularly in the field of metrological support (MS). Analysis of the current normative base of the Ministry of Defense of Ukraine revealed a significant imbalance between the formal implementation of NATO standards and their practical applicability. The dominance of the identical (IDT) adoption method without proper expert assessment creates a “normative gap”: legal implementation outpaces methodological and technical readiness. To overcome this problem, a comprehensive approach is proposed, based on formalizing the procedure for assessing the compliance of national normative documents with international ones. A mathematical model has been developed, which uses semantic decomposition of documents and evaluates three key aspects: structural compliance (Levenshtein distance), information capacity (Shannon entropy), and content identity (modified Jaccard measure). The assessment results for each aspect are aggregated according to the minimum principle and integrated with expert conclusions. This allows for the classification of a document according to the standard NATO scale: IDT (identical), MOD (modified) or NEQ (not equivalent). Such an approach ensures objectivity, reproducibility of results, and creates prerequisites for automating the analysis of large arrays of normative acts. The model enables a paradigm shift from quantitative document accumulation to qualitative standard adaptation, tailored to national metrological and armament realities. Expected outcomes: enhanced testing reliability of weapons (equipment), assured mutual recognition of test results with partners, reduced metrological risks, and strengthened foundations for deeper EuroAtlantic defense-industrial cooperation.

SYSTEMATIC OPTIMIZATION OF METROLOGICAL SUPPORT OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT IN CONDITIONS OF LIMITED RESOURCES AND INTENSIVE COMBAT USE

*V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The acceleration of scientific and technological progress demands a significant restructuring of the metrological support (MS) system for weapons and military equipment (WME). Timely and well-founded decisions regarding the correctness of monitoring key WME parameters and the reliability of measurement results obtained using measuring instruments (MIs) involved in its operational cycle are only possible through a series of operations to estimate the expected result or to determine the values of the Metrological characteristics (MCs) of the key parameters of MIs during their functioning. The MCs of MIs should include both performance indicators obtained during the development of MIs and the numerical values of their technical data, as well as their expected and actual changes during operation when monitoring key WME parameters.

Solving this problem is significantly simplified given a baseline MS system for WME and MIs; however, in the absence of such a system, one resorts to mathematical modeling of the MS system's functioning process for WME and MIs, considering all possible variants of operational conditions.

The developed metrological support system model forms an analytical toolkit for the objective assessment of the technical condition of WME under real operational loads. Its implementation ensures high precision in identifying initial parameters and enables the adaptation of control algorithms to stochastic deviations in the operation of standard measuring instruments.

ENHANCEMENT OF ACCURACY AND STABILITY OF AC WORKING STANDARDS USING DIGITAL MEASUREMENT TECHNOLOGY FOR DEFENSE AND INDUSTRIAL APPLICATIONS

*V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
T. Deineko; A. Pidkaliuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The convergence of digital measurement advancements, defense-industrial needs during wartime, and rapid technological progress imposes stringent demands for measurement reliability and uniformity. Enhancing the accuracy and operational stability of AC working standards for precision source calibration is therefore of strategic importance. This research analyzes current limitations and proposes a comprehensive modernization strategy for working standards, addressing key contemporary challenges: intensified operational loads, high reliability requirements under resource constraints, and the need to align with digital metrology standards. The study focuses on the calibration process for reference AC sources, specifically examining the architecture, metrological characteristics, and error sources of working standards under dynamic and high-stress conditions.

Critical limitations identified include inadequate stability of analog components against thermal and mechanical stress, heightened sensitivity to electromagnetic interference in dense electronic environments, and the lack of integrated real-time digital monitoring and correction. To address these, a modernization strategy is

proposed, featuring: a shift to a modular architecture with high-resolution DACs (ADCs); deployment of active thermal stabilization using Peltier elements and predictive algorithms; expansion of operational frequency (current) ranges alongside wideband digital spectral analysis; and integration of an embedded software-defined core for automated control, adaptive calibration, and digital filtering. Emphasis is placed on ensuring long-term stability and reproducibility under simulated extreme operational loads.

Implementation is projected to yield a significant accuracy improvement (expanding permissible error margins by 30–40 %), boost confidence in calibration through continuous digital logging and verification, and ensure compliance with modern international standards for digital metrology and defense technologies.

ENHANCING FIELD ACCURACY FOR WEAPON SYSTEMS: A MACHINE LEARNING APPROACH TO METROLOGICAL SUPPORT

V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

I. Kovalenko; A. Zaichenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The introduction of modern weaponry into the Armed Forces of Ukraine (AFU) since the onset of full-scale war necessitates a robust technical maintenance and repair (TmR) system. A cornerstone of this system is metrological support (MS), essential for guaranteeing measurement uniformity and the necessary accuracy.

However, in field conditions, achieving high measurement accuracy is challenging. This is due to the technological limitations of intermediate signal conversion systems, which are fundamental to modern WME diagnostic and control tools. These systems are complex and their metrological stability in harsh environments require significant improvement.

Intermediate conversion, as the main stage of transforming analog signals into digital ones, is widely used in modern digital control and diagnostic systems for WME. Yet, their operational accuracy in field conditions significantly decreases due to the influence of temperature fluctuations, electromagnetic interference, vibrations, and component aging. Classical calibration methods are often insufficiently rapid and adaptive for combat conditions.

To overcome these limitations, the integration of machine learning (ML) methods for adaptive error correction is proposed. ML algorithms are capable of analyzing operational data, identifying complex dependencies, and dynamically compensating for errors, learning both at the commissioning stage and during operation.

The implementation of this approach enables the creation of self-calibrating systems capable of maintaining high accuracy across various conditions, which enhances the efficiency of TmR, reduces downtime, and increases technical readiness. Furthermore, ML provides the capability for predictive diagnostics, forecasting failures and optimizing spare parts logistics, thereby extending the lifecycle of WME.

Thus, the implementation of adaptive metrological systems based on machine learning is an important step in building a modern, viable, and technologically independent technical support system for the AFU, capable of effectively maintaining the combat readiness of various WME models under real operational conditions.

RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE WORKING STANDARD FOR CALIBRATING PRECISION AC SOURCES

*V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
T. Deineko; T. Mosharenkova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The dynamic development of modern models of weapons and military equipment necessitates increased demands on the precision and timeliness of monitoring their functional parameters. The effectiveness of a modern system of metrological support (MS) critically depends on the integrity of the traceability chain during the transfer of units of quantities from the reference base to standard means of measuring equipment at their operational sites. In this context, a priority scientific and technical task is the modernization of working standards intended for calibrating precision AC sources, which form the basis of control means for measurement systems in the field.

Ensuring high reproducibility of electrical quantity units requires the implementation of an innovative standard architecture that meets international standard requirements. The result of this research is a set of substantiated recommendations for improving the standard's hardware implementation and measurement uncertainty evaluation methodology. Specifically, the integration of mechanisms for dynamic self-correction of metrological characteristics and the optimization of the measurement node architecture are proposed. Implementing these solutions minimizes the influence of destabilizing factors and ensures the stable operation of measuring equipment under intensive operational conditions.

The theoretical foundation of the developed proposals is based on a mathematical model of uncertainty that considers correlation links between systematic and stochastic components under real load conditions. Applying the proposed approaches enables achieving target precision indicators and forming a scientific basis for optimizing inter-calibration intervals. Implementing these recommendations creates conditions for the digital transformation of metrological activities and guarantees full harmonization of the MS system of the Armed Forces of Ukraine with EuroAtlantic standards. This directly enhances the combat capability of units by increasing the reliability of measurement information.

APPLICATION OF SPECTRUM ANALYSERS TO CONTROL THE PARAMETERS OF RADAR SYSTEMS AND RADIO ELECTRONIC WARFARE SYSTEMS

*O. Koval, Candidate of Technical Sciences; A. Shulha
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of large-scale aggression by the Russian Federation against Ukraine, the issue of metrological support is of strategic importance, since errors in the operation of weapon systems can lead to a decrease in their effectiveness or failure to accomplish tasks.

Modern combat operations are characterized by the extensive use of unmanned aerial vehicles (UAVs), digital communication systems, and electronic warfare (EW) equipment. In such an environment, continuous monitoring of the radio frequency (RF) spectrum becomes a critical imperative for maintaining tactical superiority. Among the key instruments enabling this capability, the spectrum

analyser stands out. This device measures and visualises the amplitude of signals across various frequency bands, thereby allowing operators to verify whether emissions conform to specified parameters.

This capability is important in countering UAV threats, where the rapid identification of control or navigation signals can significantly enhance the protection of positions and assets.

To address these tasks, modern spectrum analysers of various classes are employed. Notable examples include: SIGLENT SVA1015X. This model represents a powerful and flexible tool for RF signal and network analysis. Operating in the 9 kHz to 3.2 GHz range with a resolution bandwidth from 1 Hz to 1 MHz, it is suited for signal monitoring and evaluation, cable and antenna testing, analog and digital modulation analysis, and preliminary electromagnetic compatibility (EMC) checks. Its relatively low cost makes it a viable option for unit-level and field deployments where a balance between accuracy and mobility is essential. Next model is ROHDE & SCHWARZ FPL1007. A universal spectrum analyser featuring a broad frequency range from 5 kHz to 7.5 GHz, capable of measuring both low- and high-frequency signals with a maximum analysis bandwidth of up to 40 MHz. In its standard configuration, the device offers advanced spectrum analysis functions, including channel power, harmonic, spurious emission, and amplitude modulation measurements, and supports spectrogram and pulse analysis.

In conclusion, the application of spectrum analysers significantly enhances control over the radio frequency environment. As the electromagnetic spectrum grows increasingly congested and contested, the role of advanced spectrum analysis will only become more pivotal for ensuring the resilience and effectiveness of modern radar and electronic warfare systems.

DEVELOPMENT OF PROPOSALS FOR IMPROVING THE METHODOLOGY FOR CALIBRATING HIGH-FREQUENCY GENERATORS USING MODERN MEASURING EQUIPMENT TECHNOLOGY

*O. Koval, Candidate of Technical Sciences; D. Basova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of large-scale aggression by the Russian Federation against Ukraine, the issue of metrological support is of strategic importance, since errors in the operation of weapon systems can lead to a decrease in their effectiveness or failure to accomplish tasks.

Diagnostics of weapon systems is impossible without the use of measuring generators, which are used to supply test signals during diagnostics and system tuning. All types of generators are used, including low-frequency generators, special signal generators, high-frequency pulse generators, and others. From a metrological point of view, measuring generators are an integral part of the measuring equipment used for calibration. The standardized metrological characteristics of generators are maintained by timely calibration. The existing methods for calibrating high-frequency generators, which were defined by Ukrainian state standard, are generally not valid, and the procedure for determining metrological characteristics specified in the relevant technical documentation involves the use of outdated working standards and equipment. In the context of combat operations and the rapid development of digital measurement technology, there is a need to simplify and improve calibration procedures while ensuring the metrological traceability of results. Therefore, the

development of a method for calibrating high-frequency generators using modern measuring instruments is a pressing issue.

According to the operating instructions for generators, the following metrological characteristics are determined for most types: relative error in setting the signal frequency; maximum level and limits of signal level adjustment at the uncalibrated generator output; error in setting the reference signal level and error in setting the attenuation at the calibrated generator output; harmonic coefficient of the envelope of the modulated output signal; basic error of amplitude modulation coefficient setting; basic error of frequency deviation setting. And if it is difficult to find something better and cheaper than the Ч3-54 frequency meter and the Б3-49 voltmeter for determining the frequency and regulating the signal level at the uncalibrated generator output, then to determine the signal distortion indicators, instead of the outdated measuring instruments of types C2, CK3, and C6, it is recommended to use a Keysight N9000A CXA series spectrum analyzer. The spectrum analyzer allows not only to determine the amplitude and frequency parameters of the signal, but also to evaluate the spectral composition, the level of harmonics and parasitic emissions, as well as the phase noise of the generator. Calculations show that the metrological characteristics are determined with sufficient accuracy and within acceptable limits.

The development of our own methodology for calibrating high-frequency generators using a spectrum analyzer is a relevant task that meets modern challenges and is aimed at improving the uniformity of measurements in the Armed Forces of Ukraine.

APPLICATION OF NON-CONTACT CURRENT MEASUREMENT METHODS FOR CONTROLLING THE PARAMETERS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

Y. Musairova, Ph.D.; A. Fokina

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the modern development of electrical and electronic systems, current measurement is a key aspect of ensuring the safety, efficiency and reliability of equipment. This is particularly important for powerful electrical installations, automated systems and in equipment where current is measured at high values and high frequencies.

Traditional measurement methods have disadvantages, such as the need to break the electrical circuit, which alters the measurement results and increases the risk of electric shock, complicating operation at high voltages. Accordingly, there is a need for non-contact measurement methods.

Non-contact methods, in particular those using the Hall effect and induction transducers, eliminate these drawbacks. They do not affect the circuit, increase the safety, accuracy and stability of measurements, and can operate with direct and alternating currents over a wide frequency range.

Non-contact meters are especially important for high currents up to 400 A at frequencies up to 400 Hz, which are used in aviation, military and special equipment. In these conditions, high metrological characteristics and resistance to electromagnetic interference make the choice of a measuring device quite difficult. Modern portable current meters such as the Fluke 325 allow measurements of both

direct and alternating current up to 400 A and can be an indispensable tool in the diagnosis of weapons and military equipment.

Research into the possibility of using non-contact current meters for metrological maintenance or diagnostics is a pressing issue today.

IMPROVEMENT OF THE CALIBRATION PROCEDURE FOR 6.5 DIGIT MULTIMETERS

N. Yahodka¹; Yu. Krykhtin², Candidate of Technical Sciences

¹A1124 Military unit;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern 6.5 digit multimeters (DMM) are widely used in military calibration laboratories. The most common models are the following: Keithley 2000, Fluke 8845A, Picotest M3500A, Rigol DM3068, Keysight 34401A and 34461A. The total number of such measuring instruments amounts approximately up to 40. Such DMMs occupy an intermediate and important position between portable, or handheld, multimeters (as a rule, 3.5, 4 or 4.5 digit) and high-precision 8.5 digit ones. At the same time, the issue of metrological confirmation of these DMMs remains unresolved. The current regulatory framework is limited to a single document (the Calibration procedure EM.18-24), which applies to the most popular DMM model Keysight 34401A and does not cover the existing diversity of instruments.

This study (based on operating documents, calibration procedures and certificates) analyses and summarizes the specifications of 6.5 DMMs, and also examines the recommendations of manufacturers and calibration laboratories regarding different DMM calibration. Based on the study of the potential working standards specifications, such as multifunctional calibrators Fluke 5730A, Transmille 4010, Meatest 9010+, Tunkia TH1950 as well as 8.5 DMMs Fluke 8508A, Keysight 3458A, Keithley 2002, Transmille 8104, it was proposed when calibrating 6.5 DMMs to use the method of their direct comparison with a precision 8.5 DMM (Keysight 3458A or Fluke 8508A), where a multifunctional calibrator is used only as a source with a stable output signal (for example, multi-product calibrator Fluke 5502E, which has been confirmed experimentally). The instability of the signal and DMM noise is compensated by statistical processing after ten measurements. The implementation of these proposals will allow for economic gains of at least three times.

PROPOSALS FOR THE USE OF QR CODES TO ORGANIZE QUICK ACCESS TO METROLOGICAL DOCUMENTATION AT THE VERIFIER'S WORKPLACE

V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

D. Krasnozhan; Y. Dobryi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Rapid access to up-to-date normative, methodological, and operational documentation is a critical factor for the efficiency of metrological support. A significant volume of such documentation is stored in paper form, which limits the speed of its updating and use, increases the risk of loss, and complicates information retrieval. Traditional identification systems, based on paper logs and local electronic

archives, have low mobility and require significant time expenditure. To eliminate these drawbacks, the implementation of a rapid access system using QR codes is proposed. This technology involves placing unique QR codes directly on measuring instruments, verification stands, or within workstation areas. Scanning the code with a mobile device provides instant access to electronic versions of technical descriptions, verification (calibration) procedures, certificates, schedules, and current regulatory documents. This solution significantly reduces information search time, minimizes the number of operational errors, enhances the relevance of the data used, and increases overall staff productivity. The proposed system streamlines workflow, reduces dependency on physical documentation archives, and supports real-time updates to procedural guidelines. Implementation is technologically straightforward, economically efficient, and aligns with modern trends in the digitalization of metrological infrastructure, contributing to the transition towards paperless and more agile metrological processes.

ENHANCEMENT OF IDENTIFICATION AND ACCESS SYSTEMS FOR METROLOGICAL DOCUMENTATION USING QR-CODE TECHNOLOGY

V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

D. Krasnozhan; I. Mukomol

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The necessity of digitalizing information support processes for metrological activities at the level of a verifier's workstation is substantiated. It is established that the use of paper media for storing normative and methodological documentation leads to low operational accessibility, an increased risk of using outdated versions, and significant expenditure of working time on information retrieval. To overcome these limitations, a concept for an integrated rapid access system based on QR-code technology is proposed. The key element of the system is the replacement of static identification plates on measuring equipment (ME) and equipment with unique QR codes, produced using durable methods (laser marking or protected polymer media). Scanning the code with a mobile device connects the user to the object's digital profile in a secure local or cloud storage repository. The system's functionality provides instant access to current versions of verification (calibration) procedures, technical data sheets, valid certificates, schedules for metrological maintenance, and operational logs in electronic format. Additionally, a mechanism for automatic control of ME validity periods is implemented, which blocks the generation of test protocols for equipment's with expired calibration intervals. The introduction of this solution increases workstation productivity by 20–25 % by eliminating operations associated with physical document flow. To ensure information security under heightened requirements, an architecture with role-based access (read-only mode for operators and edit mode for administrators) and the capability for autonomous operation in isolated local networks (Intranet) for critical infrastructure facilities is envisaged. This architecture mitigates risks associated with data breaches and ensures operational continuity in restricted network environments. The proposed system is technologically feasible, economically justified, and aligns with contemporary trends in establishing "paperless" metrological laboratories, thereby contributing to the overall digital transformation and efficiency of quality assurance systems in industrial and defense sectors.

INTERMEDIATE CONVERSION AS A RELIABLE APPROACH FOR ELECTRICAL MEASUREMENTS IN HIGH-INTERFERENCE ENVIRONMENTS

*V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
I. Kovalenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern measurement systems operate in conditions of electromagnetic interference, signal instability, and wide dynamic ranges. These challenges become especially critical in defense applications and during wartime, when the reliable functioning of electronic and radar equipment directly affects operational readiness. Under such circumstances, direct digital measurement methods may experience reduced stability and increased susceptibility to noise.

Intermediate conversion provides an effective alternative by transforming the measured electrical quantity into a more suitable physical parameter before final digital processing. A typical implementation includes converting the informative parameter into an analog voltage, followed by voltage-to-frequency (V-F) conversion. Frequency signals demonstrate high noise immunity, improved transmission stability, and compatibility with precise digital counting techniques.

An important advantage of this approach is the structural unification of the measurement channel. Regardless of whether frequency, phase shift, power, or RMS value is measured, the system generates a voltage proportional to the informative parameter, which is then converted into frequency for digital evaluation. This architecture reduces the influence of thermal drift, component instability, and external interference.

Therefore, intermediate conversion represents a promising direction in the development of modern digital measuring instruments, particularly for applications requiring high reliability and stability under harsh operational conditions.

IMPROVING THE TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT OF A SELF-PROPELLED ANTI-AIRCRAFT GUN

*A. Bandurka; O. Karpash, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern combat experience with Self-Propelled Anti-Aircraft Guns (SPAAG) underscores the critical importance of their operational reliability. However, the existing standard technical condition assessment system, based on Built-In Test Equipment (BITE), is predominantly reactive. It detects malfunctions only after they occur, resulting in undesirable equipment downtime.

To enhance the accuracy of technical condition assessment and enable the prediction of SPAAG operational reliability, the use of hybrid artificial neural network architectures is proposed. Based on an analysis of the SPAAG design, a complex set of diagnostic parameters (power supply characteristics, drive vibrations, and radar frequency stability) has been formulated. These parameters, following preprocessing, serve as input data for the models.

The combined application of Recurrent Neural Networks (LSTM) for telemetry time-series analysis and Convolutional Neural Networks (CNN) for processing spectral characteristics allows for the identification of non-linear dependencies between subsystem health and operational metrics. This ensures the identification of

latent degradation processes and the early detection of pre-failure states in electronic and mechanical components prior to actual failure.

Practical implementation of the proposed approach will facilitate a transition from scheduled maintenance or corrective maintenance strategies to Condition-Based Maintenance (CBM). This shift will increase the combat readiness of air defense units and reduce equipment restoration costs.

ORGANIZATION AND PRELIMINARY RESULTS OF INTERLABORATORY COMPARISONS OF EQUALLY ACCURATE WAVEGUIDE POWER CALIBRATORS IN THE FREQUENCY RANGE FROM 25.86 GHZ TO 37.5 GHZ

*Yu. Krykhtin, Candidate of Technical Sciences; T. Ostafiichuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The M1-11 power calibrator (a feed-through waveguide wattmeter with cross section (7.2×3.4) mm in the frequency range from 25.86 GHz to 37.5 GHz) is a working standard that is part of the reference standard of the Armed Forces of Ukraine for the power unit in waveguides in the frequency range from 5.64 GHz to 37.5 GHz. The results of M5-45 thermistor power sensors calibration with this power calibrator indicate incorrect effective efficiency (EE) determination at some control frequencies, especially at: 25.86 GHz, 26 GHz, and 34 GHz. The incorrectness lies in a systematic overestimation or underestimation of the EE for almost all M5-45 power sensors being calibrated at the specified frequencies (the EE norm at any of the eight control frequencies is from 0.85 to 1.05 without taking into account the relative error $\pm 6\%$).

The report suggests that the cause of this phenomenon is the abnormal uncertainty in measurement of the transmission coefficient of the power calibrator in the State Enterprise "Ukrmetteststandart". In order to prove this assumption, interlaboratory comparisons of three equally accurate M1-11 power calibrators were carried out using two different comparators (M5-45 power sensors). The EE measurements were performed using both the results of the initial and the last calibrations of calibrator from the reference standard. For the other two calibrators, only the initial calibration results were used.

The results of the EE determining are pretty close if we use the transmission coefficients of the calibrators obtained during the initial calibration. The graphs of the comparators frequency response, found according to the results of the last calibration of the M1-11 calibrator from the reference standard, differs significantly from the others.

THE ACCURACY ASSESSMENT OF THE TEKTRONIX TBS1102B OSCILLOSCOPE APPLICATION FOR MONITORING THE PARAMETERS OF THE 35D6 RADAR

*Yu. Krykhtin, Candidate of Technical Sciences; M. Shatska
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Effective monitoring of the transmitter parameters of the 35D6 radar requires the use of modern digital measuring equipment. The Tektronix TBS1102B digital oscilloscope is employed as part of the radar's control system and may serve as a measuring instrument during maintenance and scheduled servicing. The Tektronix

TBS1102B is a two-channel digital oscilloscope with a 100 MHz bandwidth, 8 bit ADC resolution, a sampling rate of 2 GS/s, a vertical sensitivity from 2 mV/div to 5 V/div, DC gain accuracy $\pm 3\%$, a time base range from 2.5 ns/div to 50 s/div, a time base accuracy 50 ppm.

Verification of the operational capability of the 35D6 radar includes monitoring the parameters of both the transmitting and receiving paths. The transmitter power and the shape of the probing signal are checked after radiation is enabled from the 355UF01 control panel, according to the readings of the "POWER" indicator and the envelope oscillograms of the probing signal displayed on the screen of the Tektronix TBS1102B oscilloscope. The number and duration of the envelopes must correspond to the established radar scanning mode.

During the investigation of the 35D6 radar pulse signal, the time interval and amplitude were measured. Based on the stated accuracy, the amplitude of a pulse signal, for example 4.24 V, is measured with an error of ± 0.13 V, the result of measuring the duration of the first pulse of the sequence is $6 \mu\text{s} \pm 0.3$ ns. The next pulses, with a duration of 3 μs and 1.5 μs , respectively, are measured with an accuracy of ± 0.15 ns and ± 75 ps. It was also noted that manufacturers use different approaches to standardizing the errors of digital oscilloscopes. Calculations show that, for example, the error in measuring time intervals can vary by several orders of magnitude, which is the subject of further research.

MODERN METHODS FOR EVALUATING THE NOISE CHARACTERISTICS OF RADIO RECEIVERS

*O. Koval, Candidate of Technical Sciences; V. Yudenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of Russia's armed aggression against Ukraine, ensuring the high accuracy and reliability of radio receiving devices used in communication, radar, monitoring and electronic countermeasure systems is particularly important. Modern methods of evaluating their noise characteristics are an important part of the research, design and debugging processes for such equipment, since the level of inherent noise directly determines the receiver's ability to reliably receive weak signals in conditions of interference and a complex electromagnetic environment. Any radio receiver is affected by noise during operation, which reduces the quality of signal reception. At elevated levels of internal noise, the sensitivity of the device decreases, and low-power signals may not be registered at all. Therefore, during the design and experimental research stages, it is essential to determine the noise parameters of receivers and analyse their frequency dependence.

In practice, one of the most common methods is to measure noise using a spectrum analyser. The essence of this method is that the signal from the output of the device under test is fed to the input of the analyser, after which the carrier frequency level and the noise level at a certain distance from it are determined. In modern devices, most calculations are performed automatically: the bandwidth of the filters is taken into account, and the spectral power density is recalculated. This scheme greatly simplifies the work compared to earlier methods, when some of the corrections had to be entered manually. However, this method has its limitations, since the result can be affected by the inherent noise of the measuring device itself.

For a more accurate assessment of phase noise, the phase detector method is used. In this case, the signal under study is compared with a reference generator, which has better stability characteristics. The phase difference between them is

converted into voltage, which can then be analysed as a normal electrical signal. Phase-locked loop frequency tuning is often used in such a circuit to maintain a stable measurement mode. The signal is then processed using digital methods, which makes it possible to see how the phase noise level changes depending on the reconstruction frequency. This approach is considered more informative than simply observing the spectrum.

Another modern method is the two-channel mutual correlation method. It is used when very low noise levels need to be measured. Two independent measurement channels are used, which simultaneously receive the same signal. Since the internal noises of the channels are not related to each other, and the noise of the device under study is common, special mathematical processing allows filtering out unnecessary components. As a result, the measurement accuracy is increased. This method is implemented in modern measuring complexes, where digital signal processing plays an important role.

In addition to phase noise, it is important to determine the noise factor of a radio receiver. For this purpose, calibrated noise sources and specialised analysers are used. By comparing noise levels under different conditions, it is possible to calculate the noise temperature and noise factor of the device. Modern equipment performs these calculations automatically, which reduces the likelihood of error.

Thus, modern methods of evaluating noise characteristics combine classical measurement principles with the capabilities of digital signal processing. The choice of a specific method depends on the required accuracy and the conditions of the experiment. The development of measurement technology allows for more reliable results, which is important for the creation of effective radio receiving systems.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR COLLECTING AND PROCESSING DATA ON THE TECHNICAL CONDITION OF MEASURING EQUIPMENT OF THE AVIATION BRIGADE

*D. Lytvynova; O. Karpash, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The safety of aircraft operation depends on the efficiency and reliability of the results of monitoring the parameters of on-board systems during maintenance. Such monitoring is carried out using measuring equipment, the metrological condition of which determines the accuracy of the measurement results and, accordingly, the validity of decisions regarding the admission of aircraft to flights.

In aviation departments, metrological accounting is mostly done on paper. Information about the availability of instruments, verification dates, calibration results, and operational control is stored in different departments, which complicates centralized access, operational analysis, and control of inter-verification intervals. In conditions of intensive use of aviation equipment and increased requirements for operational decision-making, such shortcomings create the risk of using unsuitable or expired measuring equipment.

In this regard, the creation of an information and measurement system that combines the functions of accounting, storage of measurement results, automated verification of compliance with regulatory requirements, and support for decision-making regarding the technical condition of the measurement circuit and aircraft onboard systems is a pressing task.

Achieving this goal is based on a combination of metrological principles, systems engineering approaches, and automated data processing methods. The proposed approach involves a phased transition from fragmented accounting to a unified measurement and information environment.

ANALYSIS OF METHODS FOR INSPECTING CYLINDRICAL OBJECTS OF COMPLEX SHAPE

V. Zapeka

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Barrel wear caused by erosion of the barrel bore leads to reduced firing accuracy, increased dispersion, higher ammunition consumption, and creates a risk of barrel destruction and a deadly threat to artillery crews. The intensity of wear is determined not only by the rate of fire, but also by the type of ammunition used and the operating conditions of the metal structures of artillery systems.

During the operation of military metal structures, in particular artillery barrels, at low temperatures, the risk of destruction or damage to individual components and mechanisms of artillery systems increases. This is due to increased material brittleness, failure of devices and control systems, as well as premature changes in the properties of sealing materials and hoses, which disrupts the operation of lubrication systems and leads to accelerated wear of parts and mechanisms.

In high temperatures, in turn, premature damage to elements made of rubber and polymer materials is possible. Intensive cyclic firing causes overheating and thermal distortion, which leads to overheating of the barrel channel, accumulation of internal stresses and, as a result, a significant reduction in the barrel's service life. Combat experience and analysis of scientific publications show that these problems are characteristic not only of Ukrainian (Soviet) artillery systems, but also, in particular, of European-made artillery systems.

The name of each method reflects the physical phenomenon underlying its implementation. Thus, the acoustic method is based on the use of elastic vibrations that are excited or arise directly in the object being controlled. The eddy current method involves analyzing the interaction of an external electromagnetic field with the field of eddy currents induced in the object by this field. The radio wave method is based on studying the interaction of electromagnetic radiation in the radio wave range with the object being inspected.

The radiation method consists of analyzing ionizing radiation after it passes through and interacts with the object being monitored. The electrical method is based on recording the parameters of the electric field that interacts with the object or arises in it under the influence of external factors. The thermal method involves measuring and analyzing the temperature fields of the controlled object. The optical method is based on studying the interaction of optical radiation with the object being inspected.

The visual method is an organoleptic inspection carried out using the human visual system. The magnetic method is based on the registration of magnetic scattering fields arising above defects or on the determination of the magnetic characteristics of the object being inspected. Inspection using penetrating substances is based on their ability to penetrate the cavities and cracks of defects in the object being inspected.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ACCURACY CHARACTERISTICS OF RADAR AND ACOUSTIC DETECTION MEANS FOR SMALL-SIZED UAVs

O. Babych; P. Korchma

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The report presents a comparative analysis of the technical capabilities of detection means for unmanned aerial vehicles (“Mavic”, “Lancet”, “Shahed”) under conditions of their reduced radar observability.

The capabilities of centimeter-waveband radar stations are presented. Their indispensable application as a means of long-range detection and tracking of UAVs is substantiated, since the propagation speed of electromagnetic waves ensures real-time coordinate measurement. However, their efficiency decreases significantly when operating against radio-transparent targets against the background of the underlying surface.

The “Zvuk” system, proposed by the Lviv Territorial Defense Forces, was examined as a passive acoustic system; according to the developers, it ensures covert operation and reliable detection of low-observable targets. A disadvantage of the system, as with any system employing the acoustic method, is the dynamic error caused by the low speed of sound in the air.

The report presents the calculation results of UAV detection for existing acoustic means. According to calculations, the absolute positioning error (due to the dynamic nature of the process) amounts to 10 %, and it increases as the object’s speed increases.

The integration of systems is proposed: acoustic means are used in standby mode to detect the fact of an air raid and the direction of movement for the subsequent activation of radar stations and the guidance of fire assets.

MEASUREMENT RESULTS LOGGING IN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS

A. Olkhovikova²; O. Koval¹, Candidate of Technical Sciences; D. Olkhovikov²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Military unit A0785

Measurement results logging in information and measurement systems (IMS) is the functional core of traceability and evidential validity of measurement information, as it ensures recording not only the numerical result but also the conditions and configuration that determine the correctness of interpreting the obtained data over time. In the context of an automated workstation (AWS) for metrological maintenance of control-and-test equipment (CTE), a protocol serves as a formalized carrier of information on the actual technical condition of the item and as the basis for management decisions regarding its fitness for use.

In modern IMS, logging should be treated as an information-and-metrological procedure that implements the requirements of identification, reproducibility, traceability, and compatibility with data exchange formats and subsequent processing.

Logging in an IMS shall be aligned with the concepts of metrological traceability: the protocol must contain references to calibration/verification procedures, reference standards’ uncertainty, as well as information on applied corrections (e.g., temperature corrections, zero corrections, drift compensation).

When using modern measuring instruments connected to a PC (typically via USB), a dedicated element of the protocol is the identification of the driver/command set/communication protocol and the instrument firmware version, since software changes can affect algorithmic processing inside the instrument.

The protocol format shall simultaneously ensure machine-readability and standardization, as well as human readability. In practice, this implies the expediency of multi-level storage: structured records for calculations and aggregation and a generated report for presenting verification results. In IMS intended for technical condition monitoring of CTE, protocols shall support group testing, generation of batch summaries, and accumulation of statistics for evaluating performance indicators.

In summary, measurement results logging in IMS should be interpreted as a system-level function integrating metrology, information security, and reliability engineering. For an IMS implemented within an AWS for metrological maintenance of CTE, logging ensures traceability to reference standards, reproducibility of control procedures, evidential validity of conclusions on technical condition, formation of a statistical basis for reliability assessment, and improved efficiency of maintenance under operational constraints.

DIGITAL ROLE-BASED ADMINISTRATION AND COMMUNICATION SYSTEM IN METROLOGICAL SUPPORT SYSTEM

V. Bovt

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This project represents the development of a digital web-based administration and communication system designed to replace traditional paper-based management processes. The system enables structured user management, secure communication between users, and transparent tracking of administrative actions through an integrated logging mechanism. It is built as a full-stack web application, combining a modern frontend interface with a secure backend and relational database structure.

The program allows different types of users, such as administrators and regional administrators, to access the system according to their assigned roles. Each role has specific permissions, ensuring that sensitive actions and data remain protected. Administrators can manage users, approve actions, and monitor system activities, while regular users can interact within their permitted scope. Additionally, the system includes a direct messaging feature that allows users to communicate within the platform, eliminating the need for external communication channels.

One of the key problems this system addresses is the inefficiency of paper-based administration. Traditional paper systems are slow, difficult to manage, and highly prone to human error. Documents can be lost, damaged, or misfiled. Searching for specific information often requires manual effort and significant time. Furthermore, tracking responsibility or verifying who performed a certain action is complicated in a paper-based environment.

The digital system solves these issues by centralizing all data in a structured database. Information is stored securely and can be retrieved instantly through search and filtering mechanisms. Every important action performed within the system is automatically recorded in system logs, ensuring transparency and accountability. This eliminates ambiguity and significantly reduces the risk of manipulation or undocumented changes.

Another major improvement over paper systems is efficiency. Tasks that would normally require physical document handling, manual approval signatures, or in-person communication can now be completed instantly through the application. Data consistency is maintained automatically by the database, reducing errors caused by duplicate entries or incorrect manual recording.

The system also improves accessibility and scalability. Unlike paper archives, which require physical storage space and manual organization, the digital platform allows structured storage without physical limitations. It can easily accommodate a growing number of users and records without increasing administrative complexity.

In conclusion, this project demonstrates how modern web technologies can replace outdated paper-based processes with a secure, efficient, and transparent digital solution. By integrating role-based access control, centralized data management, system logging, and internal communication, the application improves organizational workflow, reduces human error, and enhances overall productivity.

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR VERIFYING DIGITAL VOLTMETERS USING AUTOMATION TOOLS

O. Kushnir

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current stage of development of weapons and military equipment is characterized by the widespread introduction of complex radio-electronic systems, digital control complexes, and means of communication. Maintaining these systems in combat-ready condition is impossible without high-quality metrological service, which is based on reliable measurements of electrical quantities, in particular voltage.

The fleet of measuring equipment in the Armed Forces of Ukraine and at enterprises of the defense-industrial complex is being rapidly updated. Analog devices are being replaced by high-precision digital voltmeters and multimeters. However, analysis of current practices shows that their calibration procedures often remain outdated. The manual calibration method, which dominates in many metrology laboratories, is labor-intensive, requires significant time (up to 2–4 hours per device) and highly qualified personnel. In addition, the monotony of reading hundreds of readings leads to subjective operator errors, which is unacceptable in conditions of increased accuracy requirements.

Given the course towards the digitalization of the Armed Forces of Ukraine and the transition to NATO and EU standards, the introduction of automated measurement systems is a pressing task. Automation of verification not only reduces the time required for equipment maintenance, but also ensures transparency of results, automatic generation of protocols, and creation of electronic databases on the status of measuring instruments.

Thus, the topic of the bachelor's thesis, dedicated to improving the methodology for verifying digital voltmeters using automation tools, is timely and practically significant.

The aim of the study is to increase the productivity of calibrators and the reliability of metrological control results by developing proposals for automating the process of calibrating digital voltmeters.

The developed proposals allow the creation of an automated metrologist's workplace, which provides:

- a 5–8-fold reduction in the calibration time of a single voltmeter;

- elimination of operator errors when reading readings and completing documentation;

- automatic generation and archiving of verification reports in electronic form.

The results of the work can be used in regional military metrology units and military metrology laboratories to modernize existing workplaces.

IMPROVEMENT OF METHODS FOR MEASURING FUEL VOLUME IN STORAGE SYSTEMS

A. Vinnichuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Effective fuel resource management requires a highly accurate system for measuring fuel volumes. The inaccuracy of existing methods leads to significant material losses due to shortages, leaks, and unmetered sampling, creating risks for the economy, energy sector, and defense capabilities. The main problem lies in the combined impact of distorting factors: temperature fluctuations, changes in fuel density, geometric deformations of tanks, and the dynamics of their operation. Eliminating these shortcomings by developing a new method is a priority task.

The goal is to develop improved methods and tools for accurately measuring fuel volume in various containers, adapted for use in field and stationary conditions.

To achieve this, a comprehensive analysis and comparison of existing measurement methods and means (mechanical, hydrostatic, radar, ultrasonic, capacitive) in the context of fuel accounting systems was carried out at the first stage.

The analysis showed that the most appropriate approach to developing an effective digital means of measuring liquid level and volume is to combine non-contact detection methods with microprocessor signal processing.

The optimal structure of the information and measurement system (IMS) was also determined, which is based on the use of modern primary transducers (PT) and analog-to-digital converters (ADC). The functioning of the developed device is based on a mathematical model for calculating the volume of a rectangular (parallelepiped) tank, which allows automating the process of obtaining final data. In addition, the application of the concept of uncertainty in accordance with DSTU-N RMG 43 is justified, which will ensure high reliability of the device accuracy assessment under operating conditions.

Thus, the formed theoretical basis allows moving on to the stage of technical implementation of information processing algorithms and metrological calculations.

PROPOSALS DEVELOPMENT FOR MEASUREMENT CHANNEL DESIGN BASED ON THERMOCOUPLE MEASUREMENT TRANSDUCER FOR APPLYING IN ARTILLERY AMMUNITION MANUFACTURING PROCESS

S. Lavrentieva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The quality and safety of artillery weapons depend directly on strict adherence to heat treatment regimes for casings and parameters for stabilizing explosive substances.

The aim of the work is to design the architecture of a precision measuring channel based on a thermocouple that can be integrated into automated defense lines, taking into account the requirements of the AQAP 2110 standard.

The research is based on the analysis of the metrological characteristics of thermocouples in accordance with DSTU EN 60584-1:2016. To balance instrumental errors, a channel structure is proposed based on a combination of a low-drift analog amplifier and a 24-bit ADC that complies with the electromagnetic compatibility standards of DSTU EN 61326-1:2016. The technical implementation involves the use of a mathematical apparatus of polynomial approximation for signal linearization, which allows achieving stability of indicators in a wide temperature range.

Given the specifics of working with explosive mixtures, the design solutions are adapted to the requirements of DSTU EN 1127-1:2018. The metrological reliability of the developed channel was assessed by calculating the expanded uncertainty according to the DSTU-N RMG 43 methodology. This allows for documentary confirmation of the measuring system's compliance with the strict tolerances of military production. The results obtained form the basis for the introduction of intelligent control modules that can minimize production defects in the serial manufacture of ammunition.

IMPROVING ELECTRICAL ENERGY QUALITY MEASUREMENT DEVICES

I. Yurko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Electrical energy quality is a determining factor in the reliable and safe operation of modern electrical and electronic systems. Violations of electrical energy quality indicators lead to a reduction in the service life of electrical equipment, increased electricity losses, and the occurrence of emergency modes.

Due to the widespread use of conversion technology and automated control systems, there is a pressing need to develop high-precision digital meters for measuring electrical energy quality indicators with the ability to automatically process measurement results.

The purpose of our research is to develop a structural diagram of a digital electrical energy quality meter, analyze existing technical solutions, and assess the uncertainty of measuring key parameters.

To achieve this goal, the following tasks must be solved: – determine the nomenclature of electrical energy quality indicators in accordance with the requirements of DSTU EN 50160:2014;

- conduct a review and comparative analysis of modern digital meters;
- develop a structural diagram of a promising meter and justify the choice of component base;
- conduct a metrological analysis and assess measurement uncertainty.

At the first stage of research, an analysis of existing means and methods of electrical energy quality control and their regulatory support was carried out.

It was established that, according to the international standard DSTU EN 50160:2014, the quality of electrical energy (QEE) is determined by a set of parameters characterizing voltage by frequency, amplitude, curve shape, and symmetry.

It was also shown that the critical parameters for modern networks are the total harmonic distortion (THD) and dynamic voltage changes (drops/increases), which require a high-speed measuring system. It should be borne in mind that higher-accuracy devices use a sampling frequency of over 10 kHz and provide continuous recording of parameters, which is a benchmark for design.

It is proposed that the basis for improving the electrical energy quality meter could be an architecture with a powerful DSP processor or microcontroller with a Cortex-M4/M7 core that supports hardware floating point unit (FPU) operations, which is necessary for the fast implementation of FFT and RMS algorithms.

IMPROVING THE MEASURING SYSTEM FOR CONTROLLING THE CONSUMPTION OF FUEL AND LUBRICANTS

O. Ananin

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern conditions for the development of technology and engineering place increased demands on measurement accuracy and the reliability of technological process control. One of the important tasks of metrological support in the transport, industrial, and military spheres is the accurate control of fuel and lubricant consumption. The rational use of fuel and lubricants directly affects the economic efficiency of equipment operation, cost reduction, energy security, and environmental sustainability. In the Armed Forces of Ukraine, fuel consumption control is also of strategic importance, since the accuracy of measurements determines the planning of combat support and logistics for units.

The effective functioning of the Armed Forces of Ukraine, especially in conditions of intense combat operations and high rates of logistical support, directly depends on the rational and accurate accounting of fuel and lubricants, which are one of the most expensive and critically important resources in the structure of the military budget and material support. Accurate control of fuel consumption is not only an economic but also a strategic necessity, as it prevents losses, eliminates abuse, and ensures the operational readiness of equipment.

Existing measurement systems and methods for controlling fuel consumption in military units, developed mainly according to outdated standards, are often characterized by low efficiency, significant measurement errors, insufficient automation, and a high degree of human involvement in the accounting process. This leads to inaccurate planning, complicates the timely detection of unauthorized consumption, and reduces the overall efficiency of the logistics chain. In the context of defense sector reform and the introduction of digital transformation principles, there is a need to improve such systems by automating the processes of measurement, collection, transmission, and analysis of results in real time.

Developing proposals to improve the measurement system for controlling fuel and lubricant consumption will increase the accuracy and speed of cost accounting, reduce resource losses, improve control over the technical condition of equipment, and ensure more efficient management of material flows. Another important aspect is the metrological support of such systems, which guarantees the reliability of measurement results and their traceability. The implementation of such proposals will ensure the rational use of resources, reduce operating costs, and strengthen the material and technical base of the state's defense sector.

SPECIFIC FEATURES OF METROLOGICAL MAINTENANCE OF FOREIGN-MADE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS

A. Radzhabov¹; N. Naumenko²

¹*Logistics Command of the Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;*

²*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Metrological maintenance of anti-aircraft missile systems (AAMS) provided by our partners is a guarantee of their effective use for their intended purpose. There are several practical problems associated with the operation of these systems. NASAMS, IRIS-T, and PATRIOT AAMS are modern high-tech systems that require constant instrumental control of parameters. Each of these systems has its own closed parameter system with its own tolerances and control intervals, which are determined in accordance with the national standards of the manufacturing country. We receive the equipment, but we do not automatically receive full metrological sovereignty over it. Therefore, there is a need to integrate these systems into the Ukrainian system of measurement unity through domestic working standards and other metrological equipment.

Another problem is that the parameter control intervals specified by the manufacturing country do not correspond to the intensity of operation. Measuring equipment from the air defence missile system warehouse also requires periodic calibration. In addition, it should be taken into account that most of these systems have already been in operation for a sufficient period of time. Therefore, it is necessary to decide now what to use to calibrate the measuring equipment and how often. We must develop adaptive, intelligent metrological maintenance cycles based not on a calendar, but on actual operational load, system self-diagnostic data and failure statistics.

Another problem is the lack of operational documentation. Often, equipment comes with minimal technical documentation, especially regarding built-in control and calibration tools. This makes it impossible to fix even minor malfunctions caused by improper operation, which is impossible without the relevant information.

Resolving these issues will enable the effective use of air defence systems, ensure their proper operation and guarantee safety.

SPECIFIC FEATURES OF METROLOGICAL MAINTENANCE OF FOREIGN-MADE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS

O. Aleinik

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Electrical measuring instruments are a class of devices used to measure various electrical quantities. Electrical measuring instruments are widely used in energy, communications, industry, transport, scientific research, medicine, and in everyday life for measuring electricity consumption. Using special sensors to convert non-electrical quantities into electrical ones, electrical measuring instruments can be used to measure a wide variety of physical quantities, which further expands their range of applications.

The most significant feature for the classification of electrical measuring equipment is the measured or reproduced physical quantity, according to which the devices are divided into several types:

ammeter – for measuring electric current;

voltmeters – for measuring electrical voltage;
ohmmeters – for measuring electrical resistance;

In order for the re-equipment of weapons and military equipment to proceed smoothly, it is necessary to have simple and uniform rules for checking electrical measuring instruments. If you quickly and correctly check whether the device is working, calibrated, and in normal condition, there will be fewer malfunctions and errors during repair or operation. Keep records of the calibration date, device condition, and test results.

Uniform rules for checking devices must be established. All units should check devices according to a clear list of items: external condition, operation, accuracy, calibration date. Conduct checks on site. Before issuing or accepting a device, check that it is working, that the case is intact, and that the batteries are not discharged. Personnel should also be trained in basic inspections. This will enable everyone to quickly determine whether a device is suitable or not, fill out the documents correctly, and assemble ready-made device kits. Each kit should contain the main devices, cables, batteries, and brief instructions. This reduces the time needed for reassembly.

PROPOSALS FOR AUTOMATED ACCOUNTING OF MEASURING EQUIPMENT IN THE LEGISLATIVELY REGULATED SPHERE IN MILITARY MEDICAL INSTITUTIONS

O. Hurieva; M. Korotka

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In wartime, it is very difficult to maintain combat readiness without high-quality medical care. The level of medical development is primarily determined by the quality of medical equipment. The diagnosis of a sick or wounded person is performed using diagnostic equipment. Medical measuring instruments, like other measuring equipment, are subject to legally regulated metrology and must undergo mandatory calibration. The timeliness of this work is a guarantee of the reliability of measurement results. Therefore, the current task is to create an information system for accounting for medical measuring equipment. This means moving from chaotic paper records to a digital system: the architecture of an automated accounting system for measuring instruments for military medicine. The goal is not simply to digitise logs, but to create a unified automated information and analytical system for accounting for measuring instruments (AIS-MI). The core of such a system should be the digital meta-profile of each device, a dynamic database that accumulates its entire 'biography', from the model and manufacturer to each case of calibration, repair and transfer between departments. This ensures complete metrological traceability, transforming an individual device from an anonymous piece of equipment into a documented participant in the process of providing medical services, for which a specific person is responsible.

It is proposed to create a modular AIS-MI, where each module is responsible for performing specific tasks.

For example, the 'Metrological Calendar' module does not simply passively record the dates of the next calibration, but, based on built-in algorithms, the module builds a dynamic schedule, taking into account the shelf life, intensity of use of the device, and statistics on its failures. A task plan is formed in advance for the metrological service of the military medical facility, and the system automatically sends notifications: first to the responsible technician, then to the head of the

department, and then to the management of the facility. This eliminates the human factor and ensures that no device is used with expired calibration.

Conclusions: the proposed modular AIS-MI is capable not only of keeping records, but also of serving as a basis for making informed decisions, ensuring that every measurement in a military hospital is based on a reliable, documented and up-to-date instrument. This is a direct investment not in software, but in the health and combat readiness of personnel.

MEASURING EXCESS PRESSURE IN THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE LAUNCHING INSTALLATION OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEX

M. Zhuravel

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At the current stage of development of air defense systems, taking into account the experience of using troops (forces) in the Russian-Ukrainian war, special attention is paid to improving the reliability and speed of anti-aircraft missile systems. One of the key elements of the launcher of any modern air defense missile system (for example, the S-300PS) is its hydraulic system. It performs extremely important functions: levelling the launcher (extending the outriggers), raising and lowering the boom with transport and launch containers, and ensuring that the mechanisms are locked in the combat position.

The effectiveness of combat missions directly depends on the accuracy and speed of controlling the parameters of the working fluid in the hydraulic system, primarily excess pressure. Today, many pieces of military equipment still use analog pressure gauges. They have a number of disadvantages: low accuracy, dependence on the human factor (the need for visual reading), the inability to transmit data remotely in real time, and low vibration resistance during missile launch.

In the context of improving and modernizing military equipment, it is necessary to develop proposals for the introduction of modern intelligent systems for measuring excess pressure. This will not only increase the accuracy of control, but also automate diagnostic processes, which ultimately reduces the deployment time of the complex and prevents emergency situations.

The practical significance of the results obtained lies in the possibility of real modernization of existing air defense missile systems. The proposed solutions allow for continuous remote pressure monitoring, automatic detection of fluid leaks, and increased overall combat readiness of air defense units by reducing the time required for maintenance and diagnostics.

IMPROVEMENT OF THE INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF UAV COMPONENTS

E. Dobryi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern unmanned aerial vehicles (UAVs) are actively used in military affairs, reconnaissance, and the civilian sector. Their effectiveness largely depends on the reliability of the information and measurement system (IMS), which provides

constant monitoring of the technical condition of key components: power plant, batteries, navigation and data transmission systems.

An analysis of existing IMS shows that they do not always provide sufficient measurement accuracy, fast information processing, and timely detection of malfunctions. This reduces the combat effectiveness of UAVs and increases the risk of key components failing during missions.

To improve the control system, it is proposed to:

- introduce high-precision sensor modules and new-generation inertial measurement units;

- use artificial intelligence algorithms to predict technical failures;

- create a unified digital platform for collecting and analyzing data from all UAV nodes; implement a self-diagnostic system and automatic notification of deviations from the norm;

- ensure the protection of transmitted information through encryption and data backup.

The implementation of these measures will contribute to improving the accuracy and speed of monitoring the technical condition of UAV components, timely detection of failures, reducing maintenance costs, and increasing the service life of the devices.

Improvements to the IVS will increase the reliability of unmanned systems and their readiness to perform tasks in difficult combat conditions.

Therefore, the modernization of the information and measurement system for monitoring the technical condition of UAV components is an important direction for improving the efficiency and reliability of unmanned systems. Its implementation will ensure the automation of monitoring processes, the timely detection of malfunctions, and create a basis for the further development of intelligent technical diagnostic systems in the military sphere.

IMPROVEMENT OF METHODS FOR MEASURING ELECTRICAL PARAMETERS IN INDUSTRIAL ELECTRICAL INSTALLATIONS

A. Kobyliatskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Industrial electrical installations require high precision control of electrical parameters – current, voltage, frequency, resistance, and power. The accuracy of these measurements determines the stability of equipment operation, accident prevention, and personnel safety. Significant electromagnetic interference, vibrations, and temperature fluctuations make it difficult to obtain reliable results, so the choice of measuring instruments is an important task.

Analog electromechanical devices remain simple and reliable, but are characterized by low accuracy and inertia, which limits their use in critical measurements. Digital devices provide high accuracy and the ability to integrate into automated systems, but require a stable power supply and regular calibration. Strain gauge and piezoresistive sensors allow real-time monitoring with good accuracy, but are sensitive to temperature changes. Piezoelectric sensors are effective in dynamic processes but are not suitable for long-term static measurements. Fiber optic sensors provide maximum resistance to interference, although they are expensive and require special equipment.

Modern industrial processes are characterized by variable loads, current and voltage fluctuations. Adaptive sensor systems are capable of automatically changing

the measurement range, sensitivity, and polling rate depending on the operating mode of the installation. This allows for increased control accuracy at critical moments and reduced error during sudden parameter changes. Such systems reduce the risk of sensor overload and ensure measurement stability in dynamic production conditions.

Industrial power grids are subject to electromagnetic interference, high-frequency pulses, harmonics, and noise signals that affect measurement accuracy. The use of digital filters (low-pass filters, adaptive filters) makes it possible to separate the useful signal from noise. Additional algorithms for temperature compensation and correction of nonlinear distortions increase the stability of the sensors and ensure the reliability of results even in difficult production conditions.

The integration of sensors and devices into a single enterprise information network allows for continuous monitoring of parameters, receiving alerts about emergency modes, and analyzing trends in changes in electrical quantities. This opens up the possibility of creating early fault detection systems, increases personnel safety, and reduces repair costs. Remote monitoring allows operators to control the status of equipment without having to be near dangerous or hard-to-reach installations.

The combination of different types of sensors provides a more complete and accurate set of data. For example, strain gauge sensors provide stable static measurements, while piezoelectric sensors provide ultra-fast response to sudden dynamic changes. Fiber optic sensors can be used in areas with strong electromagnetic interference. Combined circuits minimize the shortcomings of individual technologies and significantly increase the reliability of control in industrial conditions.

Modern measurement technologies are developing faster than standards and testing methods are being updated. It is necessary to introduce current standards for accuracy, calibration, verification frequency, and operating conditions of sensors. This will ensure compliance with modern equipment, improve the comparability of results, and increase the overall reliability of measurements. Updated standards will make it easier for companies to implement new technologies and maintain stable quality control of electrical parameters.

OUTLINE OF A PROMISING MOBILE LABORATORY FOR MEASURING EQUIPMENT

O. Konoshi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern development of the Armed Forces of Ukraine requires effective means of metrological support in field conditions. One solution is to create a mobile laboratory for measuring equipment based on a mobile platform (van, truck, or container unit). Such a laboratory is equipped with autonomous power supply, air conditioning, communication, and data processing systems.

The main purpose of the mobile laboratory is to verify, calibrate, and diagnose measuring instruments directly in the units and parts of the Armed Forces. The set of measuring equipment includes reference instruments (signal generators, frequency meters, amplitude calibrators, pressure gauges, etc.) for testing digital oscilloscopes, pressure gauges, and other measuring equipment.

Advantages of the mobile laboratory:

high autonomy and adaptability to operating conditions;

stability of measurements thanks to climate control systems and anti-vibration solutions;

reduction of time spent on metrological work due to automated data collection and processing;

ability to provide prompt service to remote units.

The use of modern digital technologies allows reducing the size and weight of the laboratory, increasing the accuracy and speed of metrological operations, and improving the combat capability of military units by providing reliable measurement data in a timely manner.

IMPROVEMENT OF THE METHODOLOGY FOR METROLOGICAL MAINTENANCE OF AN/TPQ-36 COUNTER-BATTERY RADAR STATIONS

A. Mykhailova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of the Russian-Ukrainian war, one of the most common means of determining enemy firing positions in modern combat is counter-battery radar (CBR). The enemy's firing battery is detected by recording part of the projectile's flight trajectory. Modern systems solve this problem automatically. The simplest trajectory is a parabola, which is characteristic of mortar shells.

In artillery fire, the key role is played by the accuracy of target information and the speed of determining corrections. As a result, reconnaissance means must provide reliable information about the target in real time. Among the well-known means of artillery reconnaissance is the CBR radar. With the help of modern CBR stations, which use electronically controlled pattern formation, it is possible to simultaneously detect and track several ballistic objects along their flight paths and, within a few seconds, predict their points of impact and the location of the firing weapons.

In Ukraine, for a number of reasons, the development and creation of CBR means has not been given sufficient attention. The artillery reconnaissance radars adopted for service, 1RL232 and 1RL239, have been in operation for more than 30 years and, in terms of their tactical and technical characteristics, do not fully meet the requirements of modern combat, mainly due to their limited target detection capabilities.

Thus, without modern artillery reconnaissance equipment, it is impossible to ensure the effectiveness of artillery fire, while competent technical maintenance of these types of weapons and military equipment is ensured by the high level of technical training of personnel and their thorough practical skills in various conditions typical of modern combat.

Technical support units are part of the main units of regional military metrology units and are designed to carry out adjustments, routine repairs (restoring operability) of fire control systems, weapon stabilization systems, and special equipment for armored armament and military equipment, as well as special control and testing equipment for guided anti-tank missiles of military units and institutions of the Armed Forces of Ukraine. The specific nature of this field of activity requires the application of both acquired skills and abilities and the mastery of functions that are not typical for metrology specialists. Perseverance in difficult conditions, high

professionalism, technical expertise, and dedication to the cause will continue to help technical support specialists restore weapons and military equipment to strengthen the country's defense capabilities.

OUTLINE OF A PROMISING THERMAL VISION SIGHTING SYSTEM FOR A GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEX

I. Mukomol

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern armed conflicts are characterized by the active use of robotic systems that perform a wide range of tasks, from reconnaissance to fire support. One of the key elements of the effectiveness of such systems is a thermal imaging sight, which provides detection, recognition, and tracking of targets in all weather conditions and at night.

The thermal imaging targeting system works by registering infrared radiation emitted by objects with different temperatures. The main elements are an IR radiation receiving matrix, a lens, a signal processing module, and an information display. To improve targeting accuracy, the advanced system uses machine vision algorithms that automatically recognize target types.

The proposed sight design combines thermal imaging and optoelectronic channels, which ensures high image quality and the ability to operate in different spectral ranges.

This approach increases the target detection range and allows the operator or autonomous module to make decisions faster. Particular attention is paid to image stabilization when the ground complex is in motion. The use of gyro-stabilized platforms and digital vibration compensation algorithms allows the image to remain clear even when moving over rough terrain. This significantly expands the combat capabilities of the complex.

The promising thermal imaging sighting system is integrated into the overall robotic complex control system. It can operate in automatic target tracking mode, transmitting coordinates to the fire module and synchronizing with the weapon guidance system.

This reduces operator involvement and increases accuracy. The development of such systems is important for improving the efficiency and autonomy of modern ground combat platforms. The introduction of new-generation thermal imaging sights will contribute to the development of Ukrainian robotic systems and strengthen the defense capabilities of the Armed Forces of Ukraine.

PROPOSALS FOR THE OPERATIONAL PROCEDURE “MILITARY GAME” REGARDING THE ORGANIZATION OF LOGISTICAL SUPPORT MEASURES FOR THE BATTALION

T. Pylypenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rational organization of logistical support for a battalion is an important factor in maintaining the combat readiness of units during combat missions. Military games, as a modeling method, allow for the early assessment of real risks, testing the effectiveness of decisions, and forming optimal procedures for supply, maintenance, and resource recovery. The main task is to increase the resilience of the logistics

chain to external threats, minimize delays, and provide units with everything they need at the right time.

The military game assesses supply routes, transport capabilities, response time to changes in the combat situation, and the ability of logistics elements to operate autonomously. Particular attention is paid to issues of fuel, ammunition, medical supplies, equipment evacuation, and coordination between battalion services. The analysis identifies bottlenecks in the logistics system and allows optimal solutions to be developed.

Proposals for improving operational procedures:

- develop detailed military game scenarios that simulate various conditions, such as disruption of supply routes, enemy fire, changes in the pace of attack or defense, which will allow assessing the readiness of logistics support for non-standard situations and increasing the adaptability of personnel;

- introduce automated systems for accounting and forecasting needs, which during military games track resource consumption in real time and forecast necessary replenishments, allowing the command to make decisions based on objective data.

- develop backup routes and alternative delivery methods, including the use of unmanned systems, small transport groups, or dispersed warehouses, which should increase the resilience of logistics to enemy actions.

- improve coordination between battalion support services by defining clear communication and accountability procedures during different phases of combat. Coordination between the rear, medical services, repair units, and command reduces response time to unit needs.

- conduct training for personnel in conditions as close as possible to combat, using realistic constraints, time frames, and deadlines, which will help develop decision-making skills under stressful conditions and improve the coordination of logistics teams.

WAYS TO IMPROVE THE ACOUSTIC METHOD OF CONTROLLING GEOMETRIC PARAMETERS FOR ARTILLERY SYSTEM BARRELS

V. Yuzva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The acoustic inspection method allows determining the condition of the barrel using sound waves. Simply put, the system “listens” to the echo inside the barrel, and the nature of the sound can indicate whether there is wear, cracks, or deformation. This is convenient because there is no need to disassemble the gun, and the inspection takes little time. However, to make the method more accurate and reliable, it needs to be improved.

First of all, the sensors should be improved so that they can detect even weak vibrations and work stably in different conditions. It is also worth taking measurements at several points along the barrel to get a more complete picture. Signal processing plays an important role – noise must be filtered out and useful features must be correctly identified from the sounds obtained.

Another direction is the use of machine learning algorithms that can learn to recognize typical defects from a large number of examples. Over time, the system will become more accurate and will be able to automatically indicate where the problem is. It is equally important to have convenient calibration and an intuitive

interface for the operator so that the result is presented simply – for example, “normal”, “needs checking”, or “defect”.

It is also advisable to combine the acoustic method with other control methods, such as visual inspection or caliper measurement, to increase accuracy.

As a result, improvements to the acoustic method make it a convenient and effective tool for quickly checking the condition of artillery barrels. This will allow timely detection of wear, avoidance of emergencies, and extension of the service life of equipment.

Another interesting idea is to create a digital database of acoustic profiles for different types of barrels. These are like “passports” for sound – over time, it will be possible to see how the condition of a particular gun changes after each check. Such a database makes it possible to predict how long the barrel can still serve and when it is best to check it again.

It is also possible to improve the measurement process itself: to make small portable modules that attach to the outside and automatically perform checks. This is convenient in field conditions and does not require a special stand.

In the future, it may be possible to combine the acoustic method with artificial intelligence, which will learn to recognize new types of defects on its own. This will make it possible to create a “smart” diagnostic system that helps military personnel and technicians quickly assess the condition of weapons.

USE OF WEIGHING DEVICES FOR EQUIPPING THE EXPLOSIVE PART OF SMALL GROUP UAVs

A. Sapicheva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern combat operations, small unmanned aerial vehicles, in particular FPV drones and commercial multi-rotor systems, have become one of the key means of attack and reconnaissance. Their effectiveness directly depends on the ratio of payload weight to the power capabilities of the power plant.

The process of equipping the combat unit (CU) of such drones often takes place in field or semi-industrial conditions, where there is no standardized metrological control. Even a 5–10 % deviation in the weight of the CB from the calculated value leads to a significant deterioration in tactical and technical characteristics: reduced flight range, loss of maneuverability, engine overheating, and the inability to perform combat missions. In addition, an important factor is the centering (balancing) of the UAV: a shift in the center of mass due to uneven distribution of explosives or striking elements complicates control and reduces accuracy.

A separate aspect is personnel safety. Working with explosives requires strict adherence to dosage standards, and existing manual weighing methods often force the operator to be in close proximity to the hazardous object.

Thus, the development of specialized proposals and hardware solutions for the use of high-precision weighing devices for equipping and balancing UAVs is a relevant scientific and applied task that will increase the efficiency and safety of unmanned systems.

The relevance of the topic is due to the fact that in modern military conflicts, small groups of UAVs (in particular, FPV drones and drops from “mavics”) play a very important role. Their effectiveness depends on two opposing factors: the mass of the explosive (destructive power) and flight characteristics (range,

controllability). Overloading a drone by 50–100 grams can significantly reduce its range or lead to a loss of stability. In addition, the manual loading process requires strict adherence to safety regulations, where the accuracy of the explosive dosage is of paramount importance.

ANALYSIS OF CONTROL OF TECHNICAL FLUID PROPERTIES

V. Shynkarenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern conditions of highly maneuverable combat operations, the reliability, combat readiness, and combat capability of the weapons and military equipment of the Armed Forces of Ukraine largely depend on the quality of technical fluids – fuel and lubricants, coolants, brake fluids, hydraulic fluids, and special fluids. According to data from the State Audit Service of Ukraine for the period 2023–2025, 17.8 % of all registered failures of military equipment were caused by the use of technical fluids that were of poor quality or did not meet physical and chemical requirements. In monetary terms, the direct and indirect losses from such failures exceed UAH 1.2 billion annually. In the context of intensive international military-technical assistance, significant wear and tear of equipment, and difficult storage conditions, the issue of technical fluid quality control has become particularly acute and pressing.

Insufficient control at the stages of acceptance, storage, and issuance of special technical fluids leads to:

- premature failure of internal combustion engines, high-pressure fuel equipment, hydraulic and transmission systems;
- reduced mobility of units;
- increased costs for unscheduled repairs and the purchase of new batches of fuel and lubricants and special fluids.

Thus, the development of a modern, multi-level system for controlling the properties of technical fluids is one of the priority tasks for improving the material and technical support of the Armed Forces of Ukraine.

The practical significance of the results obtained lies in the fact that the implementation of the proposed system will approximately allow:

- reducing the number of equipment failures due to poor-quality technical fluids by (35–40) %;
- saving up to (12–15) % of budget funds allocated for the purchase of fuel and lubricants and special fluids;
- ensure operational quality control directly in the field.

CONTROL OF FUEL AND LUBRICANT CONSUMPTION DURING THE OPERATION OF FUEL TANKERS

O. Chervonna

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Gasoline, diesel fuel, aviation fuel, oils, lubricants, and other technical fluids – dozens of types of fuel and lubricants produced from petroleum – ensure the operation of military equipment, providing it with mobility and maneuverability on the battlefield, transforming it from a static object into a full-fledged combat unit.

Specialists responsible for the storage, transportation, and quality control of fuel and lubricants, as well as for the timely and uninterrupted supply of fuel to the troops, play an extremely important role in the modern Armed Forces. They are like red blood cells in the circulatory system, carrying oxygen throughout the body, ensuring the functioning and performance of combat tasks by units.

The system of supplying troops with fuel and lubricants is complex and multi-stage. It covers planning, procurement, supply, storage, distribution, and final consumption. Since billions of hryvnias are allocated to fuel and lubricants every year, the lack of effective control mechanisms quickly turns this process into a source of large-scale corruption and losses. The most effective way to counter such risks is to maximize automation and transparency at all stages of fuel circulation.

Refueling equipment is the final and one of the most critical stages of supplying fuel to the troops. The level of combat readiness and combat capability of units depends on its high-quality performance. Refueling must be carried out in a timely manner and without fuel wastage, which is only possible if mechanized refueling equipment and field refueling points are maintained in good working order and used rationally.

Current trends in military logistics require maximum automation of refueling processes and improvement of fuel consumption control systems. Existing accounting systems do not always provide adequate accuracy, speed of information processing, and protection against unauthorized interference. Therefore, research and development of proposals to improve measurement systems that control fuel consumption at fuel stations is extremely relevant from a technical, economic, and defense point of view.

IMPROVEMENT OF THE METEOROLOGICAL OBSERVATION SYSTEM AT MILITARY AIRFIELDS

*V. Syvyi; O. Vorobiov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The existing meteorological observation system at many military airfields is based on technologies and regulations developed in the last century. The high proportion of manual labor performed by meteorological observers, the discreteness of measurements, and outdated methods of information transmission create risks of delays in decision-making by flight managers.

Modern experience in combat operations and the operation of military aviation in armed conflict is characterized by intensive rearmament, the transition to new types of Western-style aircraft, and changes in combat tactics, which convincingly proves that meteorological support is a very important element of the combat control system. The effectiveness of aviation complexes and the safety of manned and unmanned aircraft flights directly depend on the timeliness, completeness, and reliability of information about atmospheric conditions.

In addition, the country's course towards Euro-Atlantic integration and the rearmament of the Ukrainian Armed Forces Air Force with modern Western-made aircraft (such as the F-16, Mirage, etc.) places new, more stringent demands on meteorological support. Modern onboard systems require high-precision data in formats compatible with NATO (STANAG) and ICAO standards.

All this necessitates a radical modernization of the existing infrastructure through the introduction of automated weather observation systems (AWOS), remote atmospheric sounding methods, and modern information processing

algorithms. Thus, the development of proposals for improving the meteorological observation system at military airfields is a relevant scientific and applied task that is important for the defense capability of the state.

The relevance of the topic of the qualification work is determined by the need to harmonize the meteorological support system of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine with NATO standards, the need to improve the accuracy of data for the operation of modern fighter jets (F-16, etc.) and UAVs, as well as the need to ensure the autonomy and mobility of meteorological units in conditions of martial law.

PROPOSALS FOR DETERMINING THE FREQUENCY OF CALIBRATION OF MEASURING EQUIPMENT

N. Yaroshyk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The frequency of calibration of measuring equipment is established to ensure the reliability and accuracy of measurements during their operation. Correctly determined inspection intervals allow timely detection of possible deviations in the operation of equipment and prevent measurement errors that could affect product quality or process safety.

The length of the period between calibrations depends on a number of factors: frequency of use, operating conditions, design features of the equipment, and accuracy requirements. If the equipment operates in difficult conditions – high humidity, dust, vibration, temperature fluctuations – the calibration interval should be shortened. On the other hand, when operating in stable conditions and infrequent use, it can be increased.

Another important criterion is the analysis of previous calibration results. If the equipment demonstrates stability and no significant errors, the period between calibrations can be optimized by increasing it. In case of regular deviations, more frequent checks or maintenance are recommended.

In addition to the actual operating conditions, when establishing the frequency, it is necessary to take into account the requirements of regulatory documents and standards that regulate the minimum calibration intervals for certain groups of measuring instruments.

Thus, the determination of the calibration frequency must be individual and based on the technical condition of the equipment, its operating conditions, and regulatory requirements. The optimal approach ensures high measurement accuracy, resource savings, and improved quality of technological processes.

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У МЕТРОЛОГІЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

В.В. Бурцева¹, к.т.н.; Р.В. Григорчук²; О.М. Друмя²

¹Військова частина А0785;

*²Управління метрології та стандартизації озброєння Командування Сил
логістики Збройних сил України*

Аналіз сучасних підходів щодо автоматизації процесів метрологічної діяльності та підтримки прийняття рішень у системах метрологічного забезпечення збройних сил країн-членів НАТО та США свідчить про переважне застосування клієнт-серверних інформаційних ресурсів. Такі

системи, як правило побудовані на промислових системах управління базами даних Oracle, та використовують програмні інтерфейси, реалізовані мовами C++, .NET або Java, для централізованого зберігання, аналізу та оброблення даних.

Необхідність проведення дослідження зумовлена відсутністю інформаційної системи збору та оброблення даних, а також неможливістю прямого застосування закордонних аналогів без урахування специфіки метрологічної діяльності у сфері оборони України. Отже, доцільним є розгляд питання створення єдиного централізованого інформаційного ресурсу, призначеного для систематизованого накопичення, ведення та оброблення інформації щодо повної номенклатури засобів вимірювальної техніки, супроводження їх життєвого циклу, обліку технічного стану, періодичності та результатів метрологічного підтвердження, а також контролю простежуваності вимірювань. Накопичені дані про характер і частоту відмов створюють передумови для прогнозування технічного стану техніки та визначення оптимальних міжкалібруваних інтервалів із використанням методів статистичного аналізу.

Водночас, централізована фіксація протоколів калібрування та дій повірника з використанням системи контролю доступу сприятиме підвищенню ефективності управління якістю й оцінюванню ризиків відповідно до вимог ISO/IEC 17025.

(НЕ)ВИПРОБУВАННЯ “БРЕЙВАНІВСЬКИХ” РОЗРОБОК

*В.Ю. Тимчук¹, к.т.н., с.н.с.; В.В. Шарапа²;
Д.І. Гразіон³, к.військ.н., с.н.с.; Є.М. Межевікін⁴*

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;
²Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України;

³Центральний науково-дослідний інститут ЗС України;
⁴Генеральний Штаб Збройних Сил України

Експертне оцінювання (ЕО) матеріалів заявок в програмі кластеру BRAVE1 на розробку систем, комплексів, зразків (СКЗ) озброєння та військової техніки (ОВТ) додатково покладено на наукові установи Збройних Сил України (ЗСУ). В тезах (Богущий та Тимчук, у цій збірці) названо причини невідповідності заявок вимогам ЗСУ, зокрема і щодо випробувань СКЗ.

Так, заявки можуть містити такі описи: “проведення напівпольових випробувань у середовищах, максимально наближених до реальних умов застосування”, СКЗ “плануються до випробування в бойових умовах”, “...полігонних випробувань”, “через стендові та польові випробування в умовах, наближених до бойових”, “протокол випробувань засобу РЕБ від [...] щодо стійкості до вібрацій, до кліматичних та термічних факторів на лабораторних установках” (тобто не за цільовим призначенням).

Такі форми випробувань не визначені Постановами Кабінету Міністрів України: а) від 17 лютого 2021 р. № 159 (зі змінами) “Порядок проведення випробувань зразків ОВТ”; б) від 8 березня 2024 р. № 262 (зі змінами) “Деякі питання забезпечення розвитку інновацій та технологій для потреб оборони” (в останній врегульовано: “21. У період воєнного стану переданий розробником зразок розробки може бути допущений до експлуатації за

результатами проведення випробувань в умовах ведення операцій (бойових дій) або шляхом проведення демонстраційних..." випробувань на підставі технічних умов на розробку, довідки про безпечність розробки, затверджених розробником програми та методики випробувань (п. 22), які проводить визначений підрозділ або військова частина.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В АРТИЛЕРІЙСЬКИХ ПІДРОЗДІЛАХ

*В.В. Вознюк; М.В. Баландін, д.філос.; О.М. Дорохов; С.М. Стеценко
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Аналіз виконання вогневих завдань артилерійськими підрозділами під час російсько-Української війни показав збільшення негативних чинників, які суттєво впливають на точність вогню. Одним з таких проблемних питань є зношеність оптичних приладів наведення вогневих засобів та приладів їх орієнтування. Вирішити питання зношеності даних пристроїв можливо лише за рахунок врахування індивідуальних помилок кожного приладу (пристрою) та їх врахування під час визначення установок для стрільби.

Також, суттєвою проблемою є наявність великої кількості різноманітних засобів підготовки стрільби і управління вогнем, в яких відсутні дані щодо їх повірки, і взагалі точності визначення умов стрільби. Такими засобами є метеорологічні станції, термометри, балістичні станції (станції виміру початкової швидкості снаряду), які отримані як централізовано, так і придбані підрозділами самостійно.

Наявних метрологічних сил і засобів в артилерійських підрозділах немає, а сили старшого начальника, як правило, не використовуються. Доставляти прилади і пристрої для їх повірки до спеціалізованих установ займає багато часу, а в більшості випадків просто неможливе.

Шляхами вирішення даного проблемного питання є створення в інтересах артилерійських підрозділів мобільних метрологічних груп, на які необхідно покласти вирішення даних проблемних питань в районах ведення бойових дій або районах відведення поблизу до лінії бойового зіткнення.

Слід зазначити необхідність відповідного приладного забезпечення таких мобільних груп та укомплектування їх фахівцями відповідного рівня підготовки.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА СТІЙКІСТЬ ДО ВПЛИВУ СТРУМУ ШТУЧНОЇ БЛИСКАВКИ

*С.В. Рудаков, к.т.н., доц.
Національний університет цивільного захисту України*

Викладено сучасний стан метрологічного забезпечення в Україні натурних випробувань сучасної військової техніки на стійкість до прямої дії на них потужних імпульсів струму (напруги) штучної блискавки та аперіодичних комутаційних імпульсів напруги [1]. Показано, що подібні випробування технічних об'єктів на блискавкостійкість та комутаційну стійкість можуть проводитися відповідно до вимог нормативних документів США SAE ARP

5412: 2013, SAE ARP 5416: 2013, міжнародного стандарту IEC 62305-1: 2010 в польових умовах на унікальних вітчизняних високовольтних електроустановках, які оснащені сучасними засобами виміральної техніки (ЗВТ). Наведені основні технічні характеристики для метрологічного забезпечення натурних випробувань вказаних технічних об'єктів на блискавкостійкість та комутаційну стійкість: вимірвальних коаксialних потужнострумних шунтів типу ШК-300M1 і ШК-300M2, ємнісних і омичних високовольтних та надвисоковольтних подільників напруги типу ЄПН-100, ЄПН-1,2, ОПН-1,2, [2]

Література

1. Баранов М.І. Виникнення локальних осередків пожежі кабельної продукції при дії на неї надструмів / М.І. Баранов, С.В. Рудаков // Проблеми пожежної безпеки. Харків, 2015. Вип. 37. С. 20-26. Режим доступу: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol37/Ppb_2015_37_6.pdf.

2. Baranov M.I., Rudakov S.V. Electrothermal action of the pulse of the current of a short artificial-lightning stroke on test specimens of wires and cables of electric power objects // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2018. vol.91. n.2. pp. 544-555. doi: 10.1007/s10891-018-1775-2.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КОНТРОЛЯ

В.В. Кузавков, д.т.н., проф.; А.В. Ланко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

В Україні, класична теорія оцінки надійності, спирається на визначенні одиничних та комплексних показників. До одиничних показників віднесено: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережуваність. Комплексні показники є комбінацією одиничних. Такий підхід розповсюджується і на зразки радіоелектронного обладнання (РЕО).

Як наслідок, оцінка надійності РЕО потребує суттєвих статистичних даних про об'єкт контролю. На рівні Держави ці дані регулюються ДСТУ.

Підхід інших провідних держав, як наприклад США, ґрунтується на використанні довідкових даних, таких як MIL-HDBK-217 (Military Handbook), який містить розрахунки інтенсивності відмов для кожного радіоелектронного компонента (РЕК) в складі РЕО, враховуючи зовнішні фактори впливу (температуру, середовище та інше).

Європейський підхід вважається одним із ефективних. Його головна відмінність від американського (MIL-HDBK) полягає в тому, що в ньому враховано не лише статистика втрат працездатності, а також облік причин відмови (враховуючи людський фактор). Унікальна особливість цього підходу це наявність коефіцієнта Process Grade який математично виражає вплив якості технічних та управлінських процесів на інтенсивність відмов РЕО. Зрозуміло, що при цьому також необхідний великий обсяг статистичних даних.

Для оцінки надійності зразків РЕО, які постачаються в ЗС України іноземними партнерами, в умовах обмеженої інформації про ці зразки, виникла наукова задача. Ця задача полягає у створенні комплексної методики оцінки надійності зразків РЕО іноземного виробництва.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ АДАПТАЦІЇ АВС АНАЛІЗУ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗС УКРАЇНИ

В.С. Яровий, д.філос.; М.О. Мордвінов; Ю.М. Ющенко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

Метрологічне забезпечення є критично важливою складовою підтримки технічної справності озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ЗСУ), особливо в умовах сучасної війни це є завданням стратегічного рівня, покладеним на спеціалізовані структури Міністерства оборони України.

З огляду на виклики сучасної війни та потреби цифровізації, виникає необхідність модернізації підходів до управління ресурсами метрологічного забезпечення. Одним із найбільш ефективних підходів у цій сфері є застосування АВС аналізу, який вже давно довів свою ефективність у системах логістики, стандартизації та управління запасами в арміях країн НАТО.

Для успішної адаптації АВС аналізу до системи метрологічного забезпечення ЗСУ, перш за все необхідно визначити релевантні критерії важливості ЗВТ. На основі аналізу положень нормативної бази з питань метрологічної діяльності у ЗСУ, а також стандартних логістичних підходів у країнах НАТО, обґрунтовуються деякі основні параметри.

Таким чином, застосування цієї методики дозволяє інтегрувати об'єктивні та експертні фактори у класифікацію та матиме практичне значення для ЗСУ, а саме:

- дозволить виявити та зосередити ресурси на пріоритетному ЗВТ;
- мінімізувати простоту бойової техніки через недоступність або зношеність ЗВТ;
- сприятиме оптимізації витрат на обслуговування та закупівлю ЗВТ.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ АДАПТАЦІЇ XYZ АНАЛІЗУ ДО УМОВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗС УКРАЇНИ

О.М. Терещенко; В.С. Яровий, д.філос.; Ю.М. Ющенко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

Метрологічне забезпечення є критично важливою складовою підтримки технічної справності озброєння та військової техніки Збройних Сил України (ЗСУ), особливо в умовах сучасної війни це є завданням стратегічного рівня, покладеним на спеціалізовані структури Міністерства оборони України.

З огляду на виклики сучасної війни та потреби цифровізації, виникає необхідність модернізації підходів до управління ресурсами метрологічного забезпечення. Важливим ефективним підходом у цій сфері є застосування XYZ аналізу, який довів свою ефективність у системах логістики, стандартизації та управління запасами в арміях країн НАТО.

Предметом дослідження виступає покрокова методика XYZ аналізу для впровадження в систему метрологічного забезпечення Збройних Сил України з урахуванням сучасних умов бойових дій і досвіду інтеграції стандартів НАТО, як інструментів оптимізації управлінських рішень, підвищення ефективності ресурсного забезпечення та підтримки належного технічного стану засобів вимірювальної техніки.

Таким чином, застосування цієї методики має практичне значення для ЗСУ, а саме:

дасть змогу оптимізувати склади та обмінний фонд у військових частинах;
підвищить прогнозованість навантаження на метрологічні лабораторії;
дасть можливість уникати надлишкових закупівель ЗБТ, що не використовуються або використовуються епізодично;
дасть підґрунтя для бюджетного планування.

MEASUREMENT INTEGRITY AND CALIBRATION STRATEGIES IN AIR DEFENSE SYSTEMS

N. Klochko, Ph.D.

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Measurement integrity is essential for the reliable operation of air defense systems, as accurate determination of range, velocity, angular coordinates, frequency, and timing parameters directly affects target detection and tracking performance. In distributed radar and sensor networks, oscillator drift, synchronization mismatch, gain instability, and environmental influences may propagate through data fusion processes and amplify positioning errors, making integrity assurance a continuous rather than periodic task. Effective calibration strategies, therefore, combine traceable laboratory verification with embedded diagnostics, built-in test equipment, internal reference signal injection, and condition-based recalibration triggered by indicators such as frequency drift, signal-to-noise ratio degradation, and timing instability. Synchronizing nodes is critical, since even minor timing errors can cause spatial inconsistencies in multi-sensor tracking. Integrating periodic verification, real-time parameter monitoring, algorithm performance validation, and secure management of calibration constants ensures sustained measurement accuracy and operational reliability of modern air defense systems. In addition, calibration strategies must account for dynamic operational loads and environmental variability that influence system behavior over time. Continuous monitoring of key performance indicators, including transmitter power stability, receiver sensitivity, detection probability, and false alarm rate, enables early identification of degradation trends before they impact mission-critical functions. Harmonized calibration procedures and standardized uncertainty reporting across distributed nodes further support consistency in multi-sensor data fusion and reduce correlated measurement errors. By combining traceability, adaptive verification, synchronization management, and controlled configuration practices, air defense systems can maintain measurement integrity throughout the whole operational lifecycle.

METROLOGICAL ASSURANCE OF THE RELIABILITY OF FUEL AND ENERGY RESOURCE ACCOUNTING

A. Zbroi; V. Tsykh, Ph.D., Associate Professor

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

In conditions of generating capacity shortages and instability of Ukraine's energy system, the issue of rational use of fuel and energy resources (FER) transforms from an economic dimension into a category of national security. Ukraine's Energy Strategy and regulatory acts define the implementation of energy management and monitoring systems as a priority task.

However, practical experience in operating such systems, particularly in the public sector of the Ivano-Frankivsk region, has revealed a significant gap between the functional capabilities of the software and the actual state of the data collection infrastructure. The key obstacle to effective management is the low reliability and discreteness of primary data.

Ensuring the stable functioning of critical infrastructure requires a revision of approaches to metrological assurance. In this context, high-quality and high-precision accounting of consumed resources ceases to be a purely economic category and transforms into a tool for ensuring the survivability of strategically important facilities.

The implementation of reliable measurement methods allows for operational load balancing, forecasting deficits, and avoiding critical network overloads under conditions of limited supply. Consequently, minimizing instrumental error and ensuring high data discreteness become necessary conditions for making immediate management decisions in extreme situations.

Ultimately, bridging the gap between software analytics and physical metering infrastructure is a fundamental prerequisite for maintaining full operational control over the state's energy security.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ПОРІВНЯННЯ ОЦІНОК ТРАЄКТОРІЙ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА, ЯКІ ОТРИМАНІ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ ТА ЗАСОБАМИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ

*В.В. Борц; О.Л. Костріков; М.І. Світенко, к.т.н.; А.О. Семіров
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

При проведенні випробувань значний інтерес являють собою оцінки траєкторних параметрів, що характеризують положення в просторі відносно встановлених систем координат, як джерело інформації про характеристики рухомих об'єктів.

В загальному випадку, оцінки траєкторії руху об'єкту, які отримані різними методами та засобами, можуть мати не тільки відмінні характеристики точності, що динамічно змінюються, але ще й різні дискретності відліків в часі. В таких умовах порівняння траєкторій створює значні методологічні виклики.

Ефективне порівняння оцінок траєкторій вимагає методів, які не просто стійкі до шуму та змінних швидкостей, а й за своєю суттю призначені для моделювання або апроксимації безперервної, істинної траєкторії, а не просто оперування дискретними, спостережуваними точками. Траєкторні дані, які містять шум та мають нерівномірну або низьку частоту дискретизації, можуть суттєво спотворити результати застосування наївних мір схожості. В доповіді розглянуто відомі методи порівняння траєкторних даних, проаналізовано їх переваги та вади.

Дослідження показали, що не існує єдиного універсально оптимального методу, оскільки ефективність значною мірою залежить від конкретних характеристик даних та вимог застосування. Наголошено, що незалежно від обраної метрики, попередня обробка даних є критично важливою. Зменшення шуму, обробка викидів, а також передискретизація (ресемплінг) та інтерполяція для стандартизації дискретності є необхідними кроками для підвищення надійності та точності порівняння.

ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ПІДТВЕРДЖЕННЯ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

*М.І. Світенко, к.т.н.; А.О. Семироз; О.В. Шабанова, к.е.н.; О.О. Якимович
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Загальна методологія випробувань передбачає оцінювання характеристик об'єкту випробувань в контрольованих умовах. Вказані умови (впливи на об'єкт) при проведенні робіт повинні бути оцінені або відтворені з необхідною точністю. Для цього використовують випробувальне обладнання – технічні засоби, які забезпечують певний вплив на об'єкт випробувань протягом певного часу, відповідно до визначених вимог.

Випробувальне обладнання умовно поділяється дві основні групи: обладнання, що забезпечує вимірювальний контроль за характеристиками впливу, та засоби, що забезпечують безпосередньо формування необхідних умов проведення експерименту згідно з методиками випробувань в заданих діапазонах, з необхідною точністю, протягом встановленого терміну.

Після скасування ГОСТ 24555-81, який встановлював процедуру атестації випробувального обладнання, та впровадження в Україні ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 “Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій”, декларується вимога щодо необхідності калібрування вимірювального обладнання. Це створило колізію стосовно питання необхідності перевірки працездатності або калібрування випробувального обладнання.

В доповіді розглянуто пропозиції щодо розв'язання порушеного питання шляхом удосконалення нормативного забезпечення випробувальної діяльності.

ПИТАННЯ АКТУАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВИХ СТАНДАРТІВ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИПРОБУВАНЬ

*В.В. Борщ; М.І. Світенко, к.т.н.; А.О. Семироз
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

За останні кілька років у сфері національної стандартизації та метрології відбулись суттєві структурні зміни: скасовано значну кількість міждержавних стандартів (ГОСТ), частину державних стандартів (ДСТУ) переглянуто або викладено в нових редакціях, запроваджено нові підходи до технічного регулювання та гармонізації з міжнародними нормами.

Водночас у військових стандартах (ВСТ), які тією чи іншою мірою регламентують організацію метрологічного забезпечення випробувань дослідних зразків озброєння та військової техніки, часто містяться посилання на скасовані або замінені нормативні документи, що більше не застосовуються в національній системі стандартизації, застосовується застаріла термінологія, висуваються вимоги до засобів вимірювальної техніки та методик вимірювань, що базуються на неактуальних нормативних засадах. Все це створює нормативну невизначеність при їх практичному застосуванні.

Таким чином, існує об'єктивна необхідність перегляду зазначених у доповіді стандартів з метою: актуалізації нормативних посилань, гармонізації

термінології з чинним законодавством та стандартами, приведення структури документа у відповідність до сучасної моделі організації метрологічної діяльності, забезпечення сумісності результатів випробувань з міжнародними вимогами.

Зазначене сприятиме підвищенню достовірності результатів випробувань, забезпечення єдності вимірювань і зміцнення нормативної сумісності системи військової стандартизації України з міжнародними вимогами.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ТА ПРОВЕДЕННІ ВИПРОБУВАНЬ ПЕРВИННИХ МОБІЛЬНИХ УКРИТТІВ

*О.В. Шабанова, к.е.н.; О.В. Скиба; В.О. Подчерніна
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

У серпні 2025 року набув чинності національний стандарт ДСТУ 9329:2025 “Первинні (мобільні) укриття. Основні параметри та методи випробування”. Ним визначено ряд вимог до просторових характеристик укриттів, стійкості їх конструкції до руйнівних чинників та навіть до елементів інтер’єру. У положеннях стандарту також викладено порядок проведення випробування щодо стійкості укриття до впливу надлишкового тиску повітряної ударної хвилі. Для забезпечення відповідних умов випробування та об’єктивного оцінювання його результатів необхідно ретельно спланувати, забезпечити та застосувати вимірювальне обладнання. Воно повинно забезпечити єдність вимірювань у певні часові терміни з необхідною точністю.

Так, для визначення достатності площі та об’єму (відповідно 0,6 м² та 1,75 м³ на одну особу) укриття, розмірів дверей та люків використовуються прилади вимірювання внутрішніх габаритних розмірів (рулетки, лінійки тощо). Для з’ясування відповідності облаштування виходів (під кутом 90°) застосовуються кутоміри.

Для вимірюванні відстані від стіни до вибухового заряду та висоти його закладання застосовуються засоби вимірювання лінійних розмірів. Маса заряду вибухової речовини (згідно з ДСТУ 9329:2025 застосовується 2 кг тротилу) перевіряється відповідними вагами з похибкою не більше 0,01 кг. Тиск повітряної ударної хвилі визначається відповідними датчиками, з верхньою межею не менше 300 кПа. Результати впливу вибуху на конструкцію визначається як візуально, так і за допомогою засобів, що здатні виявити тріщини всередині стін та перекриття. Усі вимірювальні засоби проходять метрологічне підтвердження.

ОЦІНЮВАННЯ КОНТРОЛЕПРИДАТНОСТІ ПАК-ОРІЄНТОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

*Д.Т. Шевченко
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Оцінювання контролепридатності складного виробу, що містить програмно-апаратний комплекс (ПАК), охоплює апаратну, програмну та інтеграційну складові. Під час проведення льотних випробувань

застосовується структурована методика, яка використовується у сферах оборонної техніки, авіоники, промислової автоматизації, енергетики тощо.

На загальному рівні методика оцінювання контролепридатності (diagnosability / testability / maintainability) складного дистанційно керованого модуля може бути представлена у нейтральному, узагальненому вигляді без прив'язки до конкретної конструкції. Такий підхід дозволяє застосовувати її для верифікації надійності, оцінювання діагностичних можливостей і процедур технічного обслуговування систем, а також для сертифікації, планування технічного обслуговування, розроблення процедур тестування та підвищення безпеки експлуатації (зокрема у цивільних або дослідницьких застосуваннях).

Метою оцінювання контролепридатності складних виробів, до яких відносяться літальні апарати полягає у встановленні здатності системи своєчасно виявляти власні відмови, локалізувати їх, інформувати персонал, що проводить обслуговування та забезпечувати збереження працездатності або реалізацію безпечної деградації функцій.

Під час формування критеріїв оцінювання рекомендується керуватися загальноновизнаними стандартами у сфері надійності, функціональної безпеки та технічного обслуговування, а також нормативними документами, що регламентують порядок випробувань і верифікації технічних систем.

МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ФОТОГРАФІЙ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ

*О.О. Якимович; В.В. Борц; О.В. Шабанова; О.Л. Костріков
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Фотографія, як надійний та об'єктивний інструмент наукових досліджень під час випробувань відіграє важливу роль у аналізі процесів, оцінці результатів, отриманні вимірювальної інформації та створенні звітності. Проте швидкоплинність та неповторюваність експериментів, вплив освітлення та природних явищ, можливість здійснення обмеженої кількості фотознімків за певний період часу та технічні характеристики фотоапаратури визначають підвищені вимоги до налаштувань фототехніки та можливостей редагування. Тому нагальною проблемою є дослідження можливостей покращення візуалізації фотознімків як за допомогою апаратних засобів, так і використовуючи цифрову постобробку фотоматеріалів.

В доповіді представлено результати експерименту з проведення фотозйомки у різних умовах освітлення. В ході дослідження оцінювалися відхилення основних параметрів фотографії: масштабування дослідного зразка відносно поля кадру, просторова роздільна здатність, кількість пікселів на дюйм, глибина різкості, точність фокусування, значення експозиції, баланс білого, цифровий шум. В ході експерименту застосовувались: фотокамера Nikon d-90 з об'єктивом Nikkor 50 mm f/1.4G, калібрувальна мішень Spyder Color Checker. Для контролю параметрів застосовувався графічний редактор Adobe Camera Raw. За результатами дослідження запропоновано методи обробки фотографій які мінімізують брак і надають можливість реконструкції первинних даних.

Також у доповіді наводяться результати порівняння апаратних і програмних методів покращення зображення з урахуванням переваг і недоліків форматів збереження файлів RAW та JPEG.

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПОЛІГОН ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ ТА СИСТЕМ

*О.Л. Костріков; В.В. Борц; О.О. Якимович
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

При вирішенні задач по вимірюванню взаємного просторового положення різних об'єктів у діапазоні від десятків метрів і більше використовують різноманітні геодезичні прилади, на кшталт віддалемірів, тахеометрів, теодолітів, нівелірів, приймачів ГНСС, тощо. Вказані прилади також застосовують при проведенні випробувань озброєнь та військової техніки.

В Україні зараз є чинними 20 стандартів, що встановлюють метрологічні і технічні вимоги та методи перевірки різноманітних геодезичних приладів. З цих стандартів 12 є гармонізованими міжнародними стандартами. Вісімнадцять стандартів описують різні методики лабораторної або польової перевірки метрологічних характеристик традиційних геодезичних приладів та приймачів ГНСС різних систем.

Польові методики перевірки базуються на використанні спеціальних геодезичних полігонів, які використовують спеціальні точки на місцевості (опорні пункти), що мають чітко визначене положення. При цьому кожна методика вимагає певного розташування опорних пунктів при перевірці характеристик окремого типу приладів.

Аналіз польових методик, які наведені у нормативних документах, показав, що у більшості випадків вимоги до конфігурації розташування опорних пунктів перетинаються, але в залежності від типу приладу та характеристики, що перевіряється, мають велику розбіжність по відстані між опорними пунктами полігонів.

В результаті проведених досліджень, сформульовано вимоги до геодезичного полігона для проведення польових перевірок метрологічних характеристик як традиційних геодезичних приладів, так і приймачів ГНСС та запропоновано його масштабовану конфігурацію.

ОБґРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ ЕТАЛОНА ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ

О.М. Удніков¹; Г.А. Толмач¹; С.В. Климченко^{2,1}; Б.В. Любішин¹

¹Військова частина А0785;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

У сучасній метрологічній практиці більшість прецизійних засобів вимірювальної техніки, зокрема цифрові мультиметри та калібратори високого класу точності, використовують напругу 10 В як основний опорний рівень.

На даний час Військовий еталон одиниці постійної електричної напруги Збройних Сил України базується на мірах з номінальним значенням напруги близько 1 В. Передача розміру одиниці до рівня 10 В здійснюється опосередкованим методом із застосуванням перетворювача напруги ПЗ27 або блока калібрування компаратора Р3017. Експлуатація зазначених технічних засобів є неефективною через їхнє значне моральне та фізичне зношення. Основними дестабілізуючими факторами є: висока часова нестабільність та

додаткова похибка масштабування. Використання цих засобів вносить суттєву складову в невизначеність вимірювань, що нівелює метрологічні характеристики еталонних мір постійної напруги.

Для підвищення точності відтворення одиниці напруги та забезпечення єдності вимірювань виникає нагальна потреба у прямому відтворенні номіналу 10 В. Оптимальним рішенням є доукомплектування еталона сучасною твердотільною мірою напруги, наприклад, типу Fluke 732C.

Модернізація еталона шляхом інтеграції міри Fluke 732C дозволить розширити його функціональні можливості, забезпечити відповідність вимогам щодо точності та гарантувати якісне метрологічне обслуговування сучасної виміральної техніки в структурі Збройних Сил України.

НЕОБХІДНІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ШКАЛИ ЧАСУ ПО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІЙ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ

*О.В. Мироненко; А.Г. Ротарь; Р.М. Пароз
Військова частина А0785*

У зв'язку з активною роботою засобів РЕБ синхронізація за допомогою GNSS-приймачів створює проблеми. Тому розглядається перехід на передачу шкали часу по волоконно-оптичній лінії зв'язку та синхронізацію за протоколом RTP. Таке рішення дозволяє не залежати від прийому супутникових сигналів і знижує вплив зовнішніх завад на точність часу.

Експеримент проведено між двома точками синхронізації з використанням оптичного каналу зв'язку та обладнання TimeProvider 4100 (профіль Telecom-2008). Еталон частоти та часу формувався від водневого стандарту.

Отримані метрологічні характеристики похибки RTP-синхронізації: середнє (сTE) 396 нс, діапазон 365-422 нс, розмах (Pk-to-Pk) 57 нс, СКВ (dTE) 11,8 нс. Відсутність різких стрибків фази свідчить про стабільну роботу алгоритмів фільтрації пакетного джитеру в обладнанні TimeProvider 4100. Систематичний зсув порядку 400 нс обумовлений асиметрією затримок у мережевому обладнанні та може бути усунений компенсаційними поправками в RTP Slave.

Передача шкали часу по волоконно-оптичній лінії зв'язку з використанням RTP є перспективною альтернативою GNSS у умовах активних завад. Проведений експеримент підтверджує досяжність наносекундної точності синхронізації при використанні обладнання TimeProvider 4100 та коректного формування опорного сигналу (TOD).

СУЧАСНІ ВИМОГИ ДО СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ЗБЕРІГАЧІВ ВІЙСЬКОВИХ ЕТАЛОНІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

*О.В. Мироненко; О.А. Меркулов; В.В. Ніколенко
Військова частина А0785*

Дослідження військових еталонів (ВЕ) Збройних Сил (ЗС) України та допоміжного устаткування, яке забезпечує стабільне функціонування цих еталонів, а також їх калібрування та регулярне технічне обслуговування покладається на зберігачів військових еталонів.

Необхідність забезпечення потрібного рівня знань та навичок зберігачів ВЕ в умовах постійної ротації особового складу вимагає впровадження сучасної

системи їх індивідуальної підготовки з питань забезпечення відтворення та/або зберігання, а також передавання розміру одиниці фізичної величини із необхідною точністю.

Тривалий відрив особового складу регіональних метрологічних військових частин від безпосереднього виконання функціональних обов'язків, пов'язаних з проведенням метрологічної діяльності, для виконання заходів з відбиття збройної агресії РФ, обумовив нагальну необхідність у зміні підходів до обсягів та термінів підготовки фахівців-метрологів.

Фахівцями науково-дослідного відділу ВЕ військової частини А0785 у 2025 році за результатами виконання оперативного завдання Командування Сил логістики ЗС України розроблено та введено в дію стандарт індивідуальної підготовки СТІ 081Б.26А-709700.001 “Забезпечення єдності вимірювань. Підготовка зберігача військового еталону Збройних Сил України” та довідкового матеріалу до нього.

Впровадження зазначеного стандарту індивідуальної підготовки спрямовано в першу чергу на розвиток та удосконалення індивідуальних спроможностей військовослужбовця до опанування посади зберігача ВЕ та відповідного удосконалення наявних знань, навичок та умінь.

ВІЙСЬКОВО-МЕТРОЛОГІЧНЕ СУПРОВОДЖЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ЖИТТЄВИМ ЦИКЛОМ

*О.А. Меркулов; О.В. Мироненко; В.В. Ніколенко
Військова частина А0785*

Забезпечення єдності вимірювань (ЗЄВ) є критично важливим для ефективного та безпечного (що не менш важливо) застосування за призначенням озброєння та військової техніки (ОВТ) та управління ресурсами у сфері безпеки та оборони України.

Завдання ЗЄВ вирішують за рахунок проведення комплексу заходів метрологічного забезпечення (МЛЗ) виробів ОВТ упродовж усього їх життєвого циклу (ЖЦ).

Військово-метрологічного супроводження (ВМЛС) ОВТ охоплює процес планування, організації проведення та координації усіх заходів МЛЗ виробів ОВТ. Заходи ВМЛС ОВТ проводять безперервно та постійно впродовж усіх стадій (етапів) ЖЦ з урахуванням базових принципів системи керування ЖЦ (СКЖЦ) ОВТ згідно з вимогами ДСТУ В 15.001:2023.

На теперішній час технічним комітетом стандартизації “Стандартизація озброєння та військової техніки” (ТК 176) розроблено та впроваджено до застосування основні нормативні документи щодо ВМЛС ОВТ:

ДСТУ В 15.901:2024. Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Метрологічна діяльність. основні положення (чинний з 01.02.2025);

ДСТУ В 3263:2025. Озброєння та військова техніка. Експертиза щодо виконання метрологічних вимог. Основні положення (на заміну ДСТУ В 3263-95, чинний з 01.02.2026).

Авторами на основі аналізу комплексу стандартів СКЖЦ ОВТ визначено основні положення та зміст заходів ВМЛС, як складової СКЖЦ.

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ З ПЕРЕДАВАННЯ РОЗМІРУ ОДИНИЦІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОПОРУ

*М.А. Котова; В.В. Лабушняк
Військова частина А0785*

На даний час у Збройних Силах (ЗС) України застосовується великий парк еталонних та робочих засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) електричного опору різноманітних типів. Простежуваність з передавання розміру одиниці електричного опору від військового еталону Збройних Сил України ВЕЗСУ 08-02-02-09 до робочих ЗВТ встановлює військова метрологічна схема (ВМС), в якій наводяться ланцюги калібрування з використанням робочих еталонів (РЕ) 2-го та 3-го розрядів. Існуюча ВМС відповідає державній повірочній схемі, наведеній у ДСТУ 3712-98. Проблема полягає в тому, що ВМС, як і державна повірочна схема, не відповідають сучасним вимогам щодо метрологічного підтвердження парку ЗВТ, що застосовується в ЗС України. Так у ВМС не визначена простежуваність при передаванні розміру одиниці електричного опору високоточним цифровим мультиметрам закордонного виробництва, а також універсальним калібраторам із вбудованими мірами електричного опору. Крім того, згідно ВМС, робочі еталони 3-го розряду можуть застосовуватись лише для передавання розміру одиниці робочим ЗВТ, що суперечить існуючій практиці з метрологічного підтвердження, за якою високоточні РЕ 3-го розряду використовуються для повірки (калібрування) багатозначних мір та вимірювачів електричного опору 3-го розряду меншого рівня точності.

У доповіді наводиться аналіз змін у парку ЗВТ електричного опору, що застосовуються у ЗС України, та надаються пропозиції щодо корегування ВМС з метою приведення її у відповідність до сучасних вимог.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ У ВІЙСЬКОВИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЯХ

*О.О. Коротій; А.П. Мострянський; Я.Ю. Силенко
Військова частина А0785*

Сучасний стан парку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) у військових вимірювальних лабораторіях (ВМЛ) та військових частинах характеризується структурною неоднорідністю. Вона зумовлена одночасною експлуатацією морально та фізично застарілих ЗВТ виготовлених за часів срср поряд із новітніми сучасними зразками. Ця ситуація ускладнює процеси ремонту ЗВТ, створює ризики неефективного використання бюджетних коштів, знижує рівень метрологічної готовності ЗВТ та уповільнює терміни проведення ремонту.

Повноцінний ремонт застарілого парку ЗВТ унеможливилося повною відсутністю запасних частин через припинення їх серійного виробництва. Застаріла елементна база втратила свої технічні характеристики і не відповідає сучасним вимогам щодо надійності. Водночас ремонт (діагностування) гальмується: відсутністю експлуатаційної та ремонтної документації; дефіцитом діагностичного обладнання для дефектування; обмеженням

доступом до безкоштовного програмного забезпечення процесів експлуатування таких ЗБТ; й обмеженою, доступною для придбання, номенклатурою оригінальних запасних частин (елементів) та комплектуючих, вартість яких є іноді надвисокою.

Для вирішення проблеми необхідний комплексний підхід, що передбачає: виведення з експлуатації застарілих ЗБТ із заміною на сучасні аналоги; оновлення ремонтних підрозділів ВМЛ; організацію перепідготовки персоналу; укладання договорів з офіційними представниками виробників, які гарантуватимуть постачання запчастин, сервісну підтримку та передачу технологічної (ремонтної) документації на етапі закупівлі ЗБТ.

CALIBRATION OF MEASURING SIGNAL GENERATORS (UNMODULATED SINUSOIDAL OSCILLATIONS WITH FREQUENCIES UP TO 1000 MHz)

*V. Ivanov
A3386 Military Unit*

The effectiveness of the use and maintenance of weapons, military and special equipment depends on the quality of measurements taken during testing, parameter control, and maintenance of radio-electronic systems. Measurement signal generators are used as standardized signal sources to simulate influences on the object under control. To confirm the metrological integrity of generators, metrological verification must be carried out at specified intervals. Currently, there are no standardized procedures for calibrating measuring signal generators (unmodulated sinusoidal oscillations with a frequency of up to 1000 MHz) in Ukraine. When involving enterprises of the national metrological service in the performance of these works, there is a need to develop, agree, and approve the calibration procedure for these devices, which in turn increases not only the cost of these works, but also the time required for their performance.

The report provides an analysis of the regulatory framework and main approaches in international metrological practice regarding the calibration of measuring signal generators.

It justifies the composition of working standards for performing two operations: establishing the relationship between the values provided by the standards with their inherent measurement uncertainties and the corresponding values of the output signal frequency and output signal voltage level of the signal generator.

Based on the results of the research, a formalized procedure for calibrating measuring signal generators (unmodulated sinusoidal oscillations with a frequency of up to 1000 MHz) for use in military metrology laboratories is proposed.

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ УПОВНОВАЖЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ЛАБОРАТОРІЙ В СИСТЕМІ МІНІСТЕРСТВА ОБОРОНИ УКРАЇНИ

*С.Г. Дроздов; І.О. Горяча; О.О. Коротій; В.В. Ніколенко
Військова частина А0785*

На даний час процес уповноваження військових метрологічних лабораторій (ВМЛ) регламентується вимогами “Інструкції з уповноваження ВМЛ у системі Міністерства оборони (МО) України” (Інструкція), яка

затверджена наказом МО України від 02.07.2019 року № 355. За результатами проведення уповноваження ВМЛ встановлено, що частина вимог зазначеної Інструкції вимагає уточнення та перегляду.

Серед основних напрямків коригування положень Інструкції доцільно визначити наступні.

1. Зменшення терміну дії Свідцтва про уповноваження ВМЛ до трьох років. Це обумовлено тим, що відбувається: швидке старіння наявного парку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та суттєвими змінами в укомплектованості ВМЛ сучасними військовими еталонами та іншими ЗВТ; постійна ротація персоналу ВМЛ; виникнення нових вимірювальних задач для нагальних потреб Збройних Сил України.

2. Розширення переліку метрологічних робіт на які уповноважуються ВМЛ стосовно проведення калібрування військових еталонів (відповідно до вимог Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”) та відповідне коригування найменувань інших метрологічних робіт, на які уповноважується ВМЛ.

3. Наявності у ВМЛ облікованої та актуалізованої “бібліотеки” нормативних та керівних документів на методи і засоби калібрування (повірки) військових еталонів і ЗВТ, ремонту ЗВТ та метрологічного обслуговування спеціальної контрольно-перевірочної апаратури.

Перегляд зазначеної Інструкції дозволить підвищити якість та об’єктивність проведення уповноваження ВМЛ.

ДЖЕРЕЛА ПОХИБОК ПРИ ФОРМУВАННІ ЕТАЛОННОГО СИГНАЛУ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

Г.А. Толмач¹; О.М. Удніков¹; С.В. Климченко^{2,1}

¹Військова частина А0785;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Альтернативним методом калібрування термоперетворювачів напруги (ТПН) є визначення їх характеристик за допомогою еталонного сигналу змінної напруги, значення якого отримується шляхом вимірювання періодів. З метою оцінювання якості такого сигналу необхідно визначити фактори, які впливають на точність його формування. До них належать:

- відхилення форми сигналу від ідеальної синусоїди, нелінійні спотворення;

- похибка відтворення постійної напруги, що вимірюється;

- точність вимірювання періодів, отриманих в результаті компарування змінної та постійної напруги;

- вплив частоти сформованого сигналу на якість синусоїди та швидкість спрацювання елементів компарування;

- час затримки спрацювання елемента компарування при порівнянні миттєвих значень постійної і змінної напруги;

- гістерезис компаратора при зростанні та спаданні сигналу;

- ослаблення амплітудних значень сигналу на виході за рахунок смісних і індуктивних втрат в кабелях, температурних факторів, комутаційних і електромагнітних завад;

- квантування за рівнем – сигнал формується за допомогою цифро-аналогового перетворювача, виникає похибка дискретизації (шум квантування);

– вплив вхідного імпедансу навантаження – сигнал може “просідати”, залежно від того, яке обладнання підключене.

Сукупність цих факторів безпосередньо впливає на якість сигналу і складає бюджет невизначеності при калібруванні ТПН змінного струму, що є основою для подальших досліджень.

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

І.С. Жук

Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії

У сучасних бойових умовах актуальності набуває забезпечення підвищення точності вимірювань показників надійності озброєння та військової техніки (далі - ОВТ) під час експлуатації. Основу підвищення рівня ефективності контролю експлуатаційних якостей ОВТ становить перехід від традиційного графікового контролю параметрів до моніторингу та технічного обслуговування на основі фактичного стану систем.

Методики метрологічного забезпечення, інтегровані з алгоритмами штучного інтелекту (далі – ШІ), дозволяють автоматизувати аналіз результатів вимірювань, оперативно оцінювати технічний стан систем та прогнозувати можливі відмови.

Стан ОВТ оцінюється за комплексом метрологічно вимірюваних параметрів, що формують вектор характеристик системи. Внутрішні параметри відображають стан окремих блоків та комплектуючих, зовнішні – функціональні вихідні характеристики системи. ШІ дозволяє автоматично визначати кореляції між внутрішніми і зовнішніми параметрами, що підвищує точність діагностики та оцінки запасу працездатності.

Аналіз динаміки змін параметрів із використанням ШІ дозволяє прогнозувати залишковий ресурс системи, оцінювати наближення фактичного стану до граничних значень та своєчасно визначати оптимальні строки поточного обслуговування.

Таким чином, впровадження ШІ у метрологічні процеси під час експлуатації ОВТ дозволяє:

- підвищити точність вимірювань та оцінки технічного стану ОВТ;
- скоротити час збору та обробки метрологічних даних;
- прогнозувати можливі відмови ОВТ в реальному часі;
- оптимізувати ресурси ремонтних і метрологічних підрозділів.

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ АWG ДЛЯ ІМІТАЦІЇ БОЙОВИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

І.О. Горяча; Ю.О. Дуболазов; О.О. Коротій
Військова частина А0785

Ефективність сучасного озброєння, зокрема систем радіолокації, РЕБ та захищеного зв'язку, критично залежить від їхньої здатності стабільно функціонувати в умовах складної електромагнітної обстановки. Проте існуюче метрологічне обслуговування у ЗС України базується на застарілих

генераторах імпульсів (наприклад, генератор випробувальних імпульсів ІІ-15), які перевіряють лише базові параметри на “ідеальних” сигналах. Такий підхід ігнорує реальні шуми та не дозволяє відтворити складні види модуляції (QAM, OFDM), що унеможливило оцінку реальної стійкості апаратури до сучасних загроз.

Вирішенням є перехід від статичної верифікації до динамічного стрес-тестування на базі генераторів сигналів довільної форми (AWG). Впровадження цієї технології відкриває нові можливості. Наприклад, математичне моделювання (direct synthesis) – синтез будь-яких сигналів, включаючи специфічні сигнатури ворожих РЛС та алгоритми постановки завад, без необхідності мати реальні зразки ворожої техніки. Ще однією новою можливістю є контрольоване спотворення (signal impairment) – можливість програмно додавати до сигналу шуми, джиттер та інтерференцію для визначення граничної завадостійкості приймальних трактів. Також використання AWG дозволяє використовувати технологію “real-world replay” – запис реальних сигналів у польових умовах із подальшим їх багаторазовим відтворенням у лабораторії, що дозволяє “програвати” сценарії РЕБ без виїзду на полігон.

Традиційні засоби вимірювання вичерпали свій ресурс. Впровадження AWG є бажаним для моделювання реальних сценаріїв радіоелектронної боротьби та гарантування надійності військової техніки в бойових умовах.

СЕКЦІЯ 18

СОЦІАЛЬНО-ГУМАНІТАРНІ ПРОБЛЕМИ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ, РЕФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Керівники секції: полковник Сидоров К.І.;
к.філос.н. проф. прац. ЗС України Квіткін П.В.
Секретар секції: к.філос.н. доц. прац. ЗС України Дятлова І.В.

THE PERSONALITY OF A MILITARY LEADER: CURRENT PROBLEMS OF FORMATION

K. Sydorov¹; P. Kvitkin², Candidate of Philosophical Sciences, Professor

¹Command of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Russia's armed aggression against Ukraine, the transformation of warfare, and the revolution in military affairs have intensified the problem of training military personnel and shaping the personality of the military professional, primarily officers, within the system of military education.

During the process of creating and transforming the national system of military education, an organic combination was ensured between national historical traditions of training defenders of the Motherland, the experience of officer training in the armed forces of leading countries of the world, and the combat experience of employing troops and forces in the struggle against the aggressor.

The quintessence of the further development of the military education system is the formation of the personality of the military leader. Among the key problems in the process of forming the personality of a military professional are the following:

First, the definition and legal consolidation of such concepts as military professional, officer, and sergeant. Understanding the essence and content of these concepts is the starting point for the functioning of the military education system.

Second, the starting point for shaping the personality of a military professional is the formation of worldview positions and national self-awareness, general culture, and social as well as moral-psychological qualities. This requires appropriate components within educational programs and social mechanisms for their formation.

Third, the definition and legal consolidation of the social status of military personnel in society, their rights and duties, and the social guarantees corresponding to this status, as well as the purposeful formation of a stable military-professional stratum within society.

INFORMATION SECURITY OF THE INDIVIDUAL: CURRENT PROBLEMS OF FUNCTIONING

P. Kvitkin, Candidate of Philosophical Sciences, Professor;

V. Lukianenko; M. Buhas

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Among the factors ensuring effective and sustainable development of society, as well as achieving victory over an enemy in war – something military commanders have emphasized since ancient times – the moral factor occupies an important place.

It is therefore not accidental that the issue of influencing the enemy's armed forces, and especially the issue of counteracting such influence, has become increasingly relevant in the context of the transformation of warfare and the growing role of armed violence in interstate relations.

Information security of the individual is the readiness and ability of a person to preserve the integrity and stability of their worldview positions, system of values and value orientations, beliefs, and life strategies under conditions of informational-propaganda and informational-psychological influences on consciousness and psyche, as well as in the context of the civilizational identification of society and the individual and sociocultural transformations of society.

The factors influencing the effectiveness of the functioning of the individual's information security include:

- the level of formation and integrity of all components of personal information security (worldview-mental, cognitive, and cultural);
- the intensity and direction of informational-propaganda and informational-psychological influences directly aimed at introducing destructive information into a person's consciousness and/or subconsciousness;
- the level of development of consciousness and the stability of the individual's psychological functioning;
- the immediate conditions of an individual's life activity;
- the effectiveness of the functioning of the system for counteracting the enemy's informational-propaganda and informational-psychological influences.

THE COSSACKS OF INDEPENDENT UKRAINE: THE PARADOX OF REVIVING THE PAST IN THE REALITIES OF THE PRESENT

R. Hula¹, Doctor of Historical Sciences, Professor;

I. Perederii², Doctor of Historical Sciences, Professor; Y. Tkach¹

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Yuri Kondratyuk "Poltava Polytechnic National University"

The modern Ukrainian Cossacks played a role in the processes of state formation, the establishment of the foundations of national ideology, and the formation of the mental foundations of Ukrainian society at the beginning of Ukrainian independence. At the end of the 20th century, the activation of political life in Ukraine led to the emergence of Cossack public formations. However, the development of the Cossacks took on the characteristics of a nonlinear, multi-stage process. In our opinion, the characteristic features of its revival and functioning as a social institution in the period 1991–2015 include: the organizational spontaneity of the movement objectively determined the spontaneity and controversy of sociopolitical processes; the attempt to replace the Cossacks with a formalized surrogate that was more convenient for the authorities; the revival and organizational formation of the Cossack movement was closely linked to and determined by the personal moral qualities of those who led these processes; the absence of any clear, universally understood ideas and spiritual guidelines; an indifferent, passive (and sometimes openly scandalous position regarding the participation of Cossack units in the ATO zone in 2014–2015 and during the active phase of the war for independence from February 24, 2022).

That, the "Cossack idea" in Ukraine is currently in a state of systemic crisis and has not worked, at least in a political sense. Probably, the glorious historical Cossack past should remain in our memory as a brick in the historical foundation on which the complex of new ideologemes of the modern Ukrainian nation is being built.

DRUGS, THE ARMY, WAR: A COMPLEX SET OF CONTRADICTIONS AND PARADOXES

*R. Hula¹, Doctor of Historical Sciences, Professor;
I. Perederii², Doctor of Historical Sciences, Professor; V. Vnukov
¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;
²National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

The chronological boundaries of drug use in warfare can be divided into two periods. The first period, from 5000 BC to the 19th century, was dominated by plant-based drugs: opiates, hashish, and marijuana. The second stage, in our opinion, can be traced back to the beginning of the 19th century and continues to this day, characterized by the total predominance of drugs created on the basis of chemical synthesis: morphine, cocaine, LSD-25, pervitin, amphetamines, and heroin. Avalanche-like waves of drug addiction in human history have generally been associated with wars, and the emergence of most narcotic drugs and psychotropic substances and their spread throughout the world have been directly caused or intensified by armed conflicts. However, the use of narcotic drugs in wartime is vital, as they act as analgesics to relieve pain shock during severe injuries in order to save the lives of military personnel. Humans are biosocial beings. The biological component of their essence is an objective reality, so humans will always seek means and drugs that allow them to artificially increase their combat and physical potential and maintain their moral and psychological balance in the extremely stressful conditions of the horrors of war. On the other hand, humans are social beings who, in the conditions of extreme cruelty and brutality of armed conflict, are capable of independently overcoming the negative consequences of drug addiction with the help of mechanisms of psychological and physical self-regulation, social support, and a targeted state program to combat drugs, in which military personnel participating in armed conflicts should be given special attention and care.

UKRAINIANS IN THE ARMY OF W. ANDERS IN THE USSR AS A MOBILIZATION RESOURCE UNDER THE CONDITIONS OF SOVIET-POLISH MILITARY AND POLITICAL CONTRADICTIONS (1941-1942)

*R. Hula¹, Doctor of Historical Sciences, Professor;
I. Perederii², Doctor of Historical Sciences, Professor; V. Moroz¹
¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;
²National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

The Army of Władysław Anders was a Polish armed formation of the Second World War period, created in 1941 on the territory of the USSR and intended to conduct joint combat operations with the Red Army against Nazi German invaders. The reasons for the formation of this army in the USSR included the catastrophic defeats of the Red Army in the defensive battles of 1941–1942 and the loss of vast territories; the need to use the potential mobilization resource of professionally trained military personnel of Polish nationality; and the imitation of loyalty by the Soviet leadership toward the Polish government-in-exile as an ally in the anti-Hitler coalition. The reasons for the appearance of Ukrainians within Polish military formations were the deportations and imprisonment of Ukrainians in 1939–1941 as former citizens of the Polish state; the amnesty of 1941, which enabled their release

from the GULAG camps; the desire for physical survival under conditions of hunger, disease, and exhaustion; the unwillingness to serve in the Red Army after experiencing Soviet repression; and the opportunity to legally leave the territory of the USSR. According to documents, the number of individuals who identified themselves as Ukrainians amounted to only 594 servicemen (0.9 % of the total personnel) and about 2,000 Ukrainians served in Polish units, while Western Ukrainians constituted up to 2 % of certain subunits. Thus, the participation of Ukrainians in the army of General Władysław Anders refutes the Soviet mythology that their contribution to the victory over Nazism occurred exclusively within the ranks of the Red Army.

THE ROLE OF INTERNATIONAL VOLUNTEERING IN ENSURING UKRAINE'S NATIONAL SECURITY

*O. Kravchenko, Doctor of Historical Sciences, Associate Professor
Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics*

The international volunteer movement plays an important role in ensuring Ukraine's national security in the context of Russian aggression. Volunteer comes from the French word *volontaire*. Volunteer activity is voluntary, socially oriented, non-profit activity that includes various areas of volunteer assistance, including to the Armed Forces of Ukraine and other military formations, and is aimed at supporting measures to ensure national security and defense.

International volunteer activities are regulated by the Declaration on Volunteers (1990), the Declaration on Volunteer Activities (2001), and the Council of Europe Convention (2000).

International volunteering strengthens Ukraine's defense through the International Legion, which is part of the Main Directorate of Intelligence of the MoD of Ukraine, and foreign fighters in the Ground Forces who participate in combat operations. Foreign volunteers provide critically important resources such as weapons, ammunition, drones, armored vehicles, thermal imagers, radio stations, cars, and medical supplies and equipment.

SAFE PROGRAM – THE EUROPEAN UNION'S NEW ROLE IN GLOBAL SECURITY

*M. Mikołajczyk, Doctor of Historical Sciences, Professor
Adam Mickiewicz University*

The SAFE (Security Action for Europe) program is one of the key instruments for strengthening European defense capabilities in the face of growing geopolitical threats. The development of European defense capabilities aims to reduce the European Union's dependence on suppliers from third countries, in particular the United States. As an EU financial mechanism, SAFE provides up to €150 billion in the form of low-interest loans to member states for urgent investments in military equipment, interoperability, and the resilience of defense systems. The program stipulates that these funds will be invested exclusively within EU countries. However, the initial investment plans of 19 countries exceeded the available pool by a significant amount, with Poland reporting the largest commitment Poland, which plans to spend around €43.7 billion on projects related to, among other things, air defense, ammunition production, artillery systems, and unmanned technologies. The

authors argue that SAFE could become an important tool for strengthening the EU's defense readiness, but its effectiveness will depend on the ability of member states to cooperate effectively and implement investments in a rapidly changing security environment.

MILITARY-POLITICAL SPEECH AS A SPECIFIC TYPE OF POLITICAL COMMUNICATION

*T. Chernyshova, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor;
A. Yashchuk*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Within the framework of domestic military-political discourse, the evolution of the Ukrainian armed forces is being analyzed, their decisive role in ensuring state stability is emphasized, and the interaction between the military and society is being examined. Confrontation is presented as an inevitable factor of national existence, the importance of the information dimension for the formation of social and military processes is emphasized, and the determination of the people to defend their values and honor is noted. The ideological basis is the concepts of national consolidation, rejection of pacifist attitudes, and the interpretation of Russia as Ukraine's long-standing historical opponent.

A military-political speech, the characteristics of which are determined in the context of two separate types of rhetoric: military and political. The subject matter of such a speech is a set of complex issues related to various types of military conflicts as factors of geopolitics, as well as the activities of the military aimed at resolving them. First and foremost, the following issues are raised protection of state sovereignty and territorial integrity of the country; mobilization of the nation to repel military aggression and information attacks; the establishment of international cooperation and assistance in confronting the enemy; the formation of a realistic image of the aggressor in the minds of the world community; analysis of the situation on the front lines etc.

Speakers who deliver military-political speeches are usually statesmen whose activities are directly related to the country's armed forces, or representatives of the senior military leadership. In wartime, such speakers are primarily heads of state, who also serve as supreme commanders of the armed forces.

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING OF A MODERN MILITARY LEADER IN THE CONTEXT OF INFORMATION WARFARE

*I. Diatlova, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor;
T. Ostafichuk*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A pressing problem for Ukrainian society in the context of modern information warfare is the development of critical thinking in military leaders.

Critical thinking is a special type of mental activity that allows a person to make a rational judgment about a point of view or model of behavior proposed to them.

Critical thinking is formed on the basis of the following principles: analysis and evaluation of information; argumentation; motivation for cognitive activity and sociability.

Critical thinking is scientific thinking, the essence of which lies in making carefully considered and balanced decisions, and it is characterized by such properties as awareness and self-improvement.

With the help of critical thinking, a modern military leader is able to assess potential threats and opportunities, recognize propaganda, distinguish facts from manipulation, identify reliable sources of information, justify decisions made in difficult circumstances and in stressful situations, choose the most appropriate course of action under pressure and limited information.

The characteristics of critical thinking include: skepticism toward information; analytical thinking; logic and objectivity.

A modern military leader with developed critical thinking should possess the following qualities: readiness for planning; flexibility; perseverance; ability to recognize and correct one's mistakes.

Thus, it is possible to highlight the advantages of critical thinking: it allows you to objectively analyze information; promotes the development of strategic thinking; increases the efficiency of resource management; helps to raise the moral and ethical level of military leadership.

In wartime, this skill can save the lives of soldiers, help effectively manage military units in critical situations, and prevent strategic mistakes.

DISPELLING THE MYTH OF “RUSSIAN CRIMEA”

*I. Nikiforov, Ph.D., Associate Professor; A. Bondarenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The narrative about “Crimea being historically Russian” is a political myth that emerged in the 19th–21st centuries and is actively used by Russian propaganda. Historical facts prove the opposite: the Russian period is a relatively short episode in the centuries-old history of the peninsula (no more than 5 % of 3225 years).

Until 1783, Crimea had never been part of Russia. Over the millennia, various civilizations changed on the peninsula – from the ancient Greeks to medieval states. From the 15th century to the end of the 18th century, the Crimean Khanate existed, and it was the Crimean Tatars who shaped the cultural, demographic, and political image of the peninsula and are its indigenous people.

After the fall of the empire in 1917, the Crimean Tatars proclaimed the Crimean People's Republic. However, it was liquidated by the Bolsheviks, and Crimea became part of the USSR as an autonomous region. The Soviet government controlled Crimea from 1921 to 1941, and again after the expulsion of the German occupiers in 1944–1953.

The greatest tragedy was the deportation of 1944, during which the Soviet authorities forcibly evicted more than 200 000 Crimean Tatars to Central Asia in three days. After that, Crimea was Russified, and attempts were made to erase the memory of the indigenous people. It was the deportation that became the key reason for the formation of a Russian-speaking majority on the peninsula.

In 1954, Crimea was transferred to the Ukrainian SSR, given its economic and infrastructural dependence on Ukraine. After the collapse of the USSR in 1991, the majority of Crimea's residents supported Ukraine's independence in a nationwide referendum.

In 2014, Russia carried out a military operation to seize Crimea and held a forced “referendum”. The international community recognized these events as an occupation. After that, a new wave of detatarization began on the peninsula (persecution of Crimean Tatars, political repression, militarization of the region, etc.).

Thus, the history of Crimea shows that the claim of its “ancestral Russianness” has no historical basis and is the result of the total destruction of the indigenous population by Russia.

HISTORICAL PARALLELS OF THE UKRAINIAN STRUGGLE FOR INDEPENDENCE ON THE EXAMPLE OF THE FIRST RUSSIAN-CHECHEN WAR (1994–1996) AND THE ACTIVITIES OF UNA-UPS-D

*I. Nikiforov, Ph.D., Associate Professor; S. Givak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The participation of UNA-UPS-D volunteers in the First Russo-Chechen War (1994–1996) was not a coincidental episode but a strategic step in countering Russian imperialism. Analysis proves that this experience laid the ideological and practical foundations for the Ukrainian volunteer movement, which became the cornerstone of national defense in 2014 and 2022. Key aspects of the study:

– Ideological Motivation: The struggle of the Chechen people was viewed by Ukrainian nationalists as a form of preemptive self-defense for Ukraine. Russia’s defeat in Chechnya was seen as a factor capable of weakening imperial influence across the entire post-Soviet space;

– Military Experience: the Ukrainian “Viking” detachment participated in the fiercest battles, including the defense of Grozny (January 1995). Volunteers served not only as infantry but also as skilled instructors in air defense and anti-tank warfare.

– Information Parallels: a direct link has been established between the propaganda methods of the Russian Federation in 1994 and 2022. The narrative of “fighting terrorism” in Chechnya has transformed into modern “denazification”, sharing a common goal: the dehumanization of the enemy and the legitimization of aggression;

– Legal and Political Dissonance: in the 1990s, volunteers acted contrary to the official position of Kyiv and were prosecuted under “mercenarism” statutes. Today, however, this movement is fully legalized by the state, indicating a fundamental shift in the perception of national security.

In conclusion, the activities of UNA-UPS-D in Chechnya served as a “school of war”, proving the possibility of effective resistance against superior Russian forces through the tactics of small mobile groups and high ideological motivation. This historical experience is crucial for understanding the origins of the modern resilience of Ukrainian society.

DIRECTIONS OF QUALITY ASSURANCE OF PATENT RESEARCH IN THE SYSTEM OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT DEVELOPMENT

*O. Rohulia, Candidate of Pharmacy Sciences, Associate Professor;
O. Kurenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Rohulia, Ph.D.
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Conducting patent research requires a systematic approach, a clear search strategy and a thorough analysis of the results obtained in order to identify patterns and trends in the development of weapons and military equipment. In this regard, the

directions for ensuring the quality of patent research at the stages of information search, analysis of the previous level of military equipment and assessment of the patent situation have been systematized.

Given the importance of timely initiation of patent research, which minimizes the risks of the need for further radical redesign or refusal to grant a patent, it is important to clearly define the goals, objects and boundaries of the search to ensure the relevance of the results obtained. Also, a significant factor in ensuring quality is research within national and international patent databases and using specialized search services in the field of intellectual property.

An important direction for the well-founded formulation of conclusions regarding the novelty and patentability of the object of research is a comprehensive analysis of both patent documentation and scientific publications, reports on scientific and research work, etc.

The quality of patent research is improved by the correct and sufficient selection of keywords that adequately reflect the specifics of the relevant technical field. To prevent omissions of important information and inadequate assessment of the patent situation, it is advisable to take into account changes in patent classification systems, record information sources and researched terms.

Therefore, the quality of patent research in the system of development of weapons and military equipment is ensured by a systematic approach, timely and clearly structured search using national and international resources. The validity of conclusions on novelty and patentability is achieved through a comprehensive analysis of patent and scientific information, correct formulation of requests and proper documentation of results.

MILITARY EDUCATIONAL LEADERSHIP AS A COMPONENT OF NATIONAL SECURITY OF UKRAINE

V. Mosharenkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

T. Mosharenkova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the context of contemporary socio-political transformations, Ukrainian lawmakers, civil society organizations, and educators increasingly emphasize the exceptional role of military education in preserving and developing Ukrainian statehood. A key task in this context is the need to transform existing principles of the military personnel training system regarding the transition from an authoritarian management style to the formation of value-based leaders with strategic management development competencies for effectively addressing modern challenges and threats, that is, educational leadership.

The development of educational leadership at all levels of management structures in the higher military education system must ensure: operating conditions in which leaders can act proactively, show initiative, and implement acquired experience; a high level of professional knowledge among scientific and pedagogical staff, commanders at all levels, the formation of leadership qualities in them, and the ability to make prompt and effective decisions in crisis situations; effective training of officers and cadets (sergeants) through its focus on understanding the components of national power, state interests and security, and the ability to operate in the contemporary security environment; interoperability with the

military training systems of allied countries through the implementation of their educational leadership experience.

In the process of institutional transformations, military educational leadership should promote adherence to certain norms, rules, and principles of leader professionalism, impartiality of officials, fulfillment of authoritative duties, avoidance of populism, unification of leadership criteria as a result of globalization processes, etc. This will enable the formation of general competencies of a military leader, ensure the transition from a “qualification-based” model of professional development to a “competency-based” one, and most importantly, transform the military education system into one of the cornerstones in the foundation of Ukrainian statehood, its security and development.

CURRENT ASPECTS OF IMPLEMENTING THE SYSTEM OF MORAL AND PSYCHOLOGICAL SUPPORT FOR PERSONNEL OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

A. Golota¹; M. Kozhushko¹;

A. Demenko², Candidate of Philosophical Sciences

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²State Enterprise “Central Design Bureau “Proton””

The paradigm of the system of psychological support for personnel (PSP) of the Armed Forces (AF) of Ukraine fundamentally differs from the paradigm of moral and psychological support (MPS) of the AF of Ukraine in terms of the realism of its field of activity and practical capabilities in realizing the potential of social and humanitarian support of military service. The use of previous forms and methods of work should not hinder the process of effective implementation of the new system, becoming obsessed with the terminology of MPS, thereby hindering the understanding of the essence of PSP. Reforming this area of military command should be carried out in the context of reforming the Armed Forces of Ukraine, taking into account new organizational structures, new weapons and style of military command, the growing level of psychological readiness and psychological resilience of servicemen. It is necessary to realize that the MPS is a functional of the state, and the PSP is its component in the security and defense forces of Ukraine.

The PSP system should have a reasonable structure, but be in a certain way a body of situational response to potential unforeseen situations. In the field of psychological support of personnel, expert influence on the state of personnel training, their personal protection, fire cover and camouflage, MPS, evacuation means, etc. is also of great importance. The formation of a single information space of the security and defense forces of Ukraine, the introduction of the position of deputy commander for strategic communications and PSP, remains an important communication task.

FORMING POLITICAL COMPETENCE: THE EDUCATIONAL PROCESS

I. Budur; S. Boiko; R. Mykhailovskyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The political competence of citizens is one of the conditions for democratization in Ukraine. After all, it is in a democratic political system that interest groups form public, legal, and communicative mechanisms for interacting with the authorities.

Democratic interaction requires a corresponding level of political competence from citizens.

Political competence is influenced by the level of education, self-identification, media literacy, and the ability to navigate current political events and information flows. In terms of education, a competency-based approach has become widespread in secondary and higher education, focusing on the development of “key competencies” in students. However, competence cannot be reduced to a set of factual knowledge that a student must acquire; “being competent” is not synonymous with “being educated”.

Competence means active citizenship. According to the recommendations of the European Parliament and the Council of Europe, competence is defined as “... a combination of knowledge, skills, and attitudes relevant to a given situation, and key competences as those necessary for personal fulfillment and development, active citizenship, social cohesion, and employment”. This fully applies to political competence, which is not just “knowledge about politics”.

Thus, according to the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, key competencies include: the ability to read with understanding; express one’s opinion orally and in writing; think critically and systematically; logically justifying one’s position; acting creatively; showing initiative; constructively managing emotions; assessing risks; making decisions; solving problems; cooperating with others.

The political competence of citizens is one of the components of the formation of a new institutional design. In the context of large-scale military aggression, questions about the effectiveness of individual social and political institutions are becoming more acute. There is also an urgent need to determine further directions for institutionalization in the process of Ukraine’s European choice.

KEY ASPECTS OF SHAPING THE POLITICAL AWARENESS OF CITIZENS

*M. Herasimova; D. Gromyko; R. Mykhailovskyi
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The contemporary political consciousness of Ukrainian society is determined by the peculiarities of Ukraine’s historical development. Political scientists identify the following factors that have had a decisive influence on the political consciousness of Ukrainians: for a long time, the territory of Ukraine was divided into parts and was under the influence of countries that were sometimes hostile to each other; also, for centuries, Ukrainians were a stateless nation and therefore have virtually no experience of their own state power on their territory; the ruling class or elite of the Ukrainian people was constantly subjected to assimilation and real denationalization. As shown by the analysis of the results of various sociological studies, public opinion on the state and political system of our country has long remained uncertain, and a significant proportion of respondents note their incompetence in resolving important issues of political life in society.

Important indicators of political awareness are citizens’ political knowledge of political events and processes taking place in society, the formation of personal attitudes towards them, and participation in the political life of society. Political awareness is the level of citizens’ knowledge of political processes and institutions and their ability to apply this knowledge, which is the basis for the functioning of democracy. It encompasses an understanding of the administrative-territorial structure, legal norms, international relations, and changes in the social sphere. High

awareness shapes political effectiveness – citizens' belief in their ability to influence decisions.

The successful resolution of state-building tasks in Ukraine is impossible without the formation of political consciousness among citizens, political awareness and competence, the acquisition of rich political experience, and a democratic political culture. Therefore, political awareness and consciousness are important factors in the life of society and citizens. Performing important functions, they significantly influence the political life of society.

These measures are aimed at making citizens more conscious participants in political processes.

IMPACT OF OPERATIONAL RELIABILITY OF THE LATEST WEAPONRY SAMPLES ON THE MORALE AND PSYCHOLOGICAL STATE OF PERSONNEL

R. Rublova; O. Bombela

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The process of rearming the Air Force of the Armed Forces of Ukraine with modern Western-style aircraft systems (such as the F-16, JAS 39 Gripen) requires not only technical re-equipment but also a revision of approaches to morale and psychological support. Operational reliability is a decisive factor that shapes the level of trust of flight and engineering personnel in the equipment.

High indicators of engine gas-dynamic stability and avionics reliability significantly reduce the cognitive load on the pilot. Confidence that the power plant has adequate throttle response (acceleration response) under complex maneuvering conditions directly translates into combat stress resistance.

For technical personnel, the reliability of aircraft systems correlates with the predictability of maintenance processes. The implementation of predictive monitoring systems allows for the prevention of sudden failures.

Modern cockpits with the HOTAS (Hands On Throttle-And-Stick) concept and integrated FADEC (Full Authority Digital Engine Control) systems simplify interaction within the “human-machine” system.

The formation of a high morale and psychological state is impossible without a deep understanding by the personnel of the structural features and safety margins of the equipment. It is proposed to integrate modules on psychological adaptation for working with high-reliability digital systems into technical training courses. Emphasis should be placed on studying the operating algorithms of diagnostic systems as a means of increasing confidence in aircraft airworthiness.

APPLICATION OF MODERN TEACHING TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

N. Kudriavtseva

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today, in the educational process, the concept of ‘modern technologies’ has transformed into the creation of intellectual ecosystems. This is a unified digital environment that integrates cadets and teachers into a common space for convenient interaction. Such a system not only automates processes but also creates a flexible

learning model focused on the cadet's personality, ensuring high-quality training in the context of digitalisation.

One of the basic platforms of this ecosystem is Google Classroom, a service for organising distance and blended learning. It allows you to create courses, assign tasks, evaluate work, and maintain constant communication with cadets. The platform provides access to training materials from any device and automates control. To make learning interactive and gamified, it is advisable to use tools such as Wordwall or Mentimeter.

Wordwall is an educational resource that can be used to organise differentiated and individualised learning. It allows you to create various interactive exercises: games, quizzes, crosswords, etc. Thanks to it, you can monitor the level of assimilation of educational material, quickly adjust the programme, and objectively evaluate the results.

Mentimeter is an innovative tool that significantly changes the interaction between cadets and teachers during classes. The service allows you to create presentations with interactive elements for learning, engage cadets in active discussion, and conduct instant polls directly during the lesson.

Modern education has to compete for attention with TikTok and video games, so it actively borrows their engagement mechanics. However, it is important to remember that handwriting and reading paper books remain critical for developing deep memory. Technology is a powerful tool for enhancing, not replacing, human intelligence.

ADVANCED MOLECULAR DIAGNOSTICS AS A COMPONENT OF ARMED FORCES MEDICAL SUSTAINABILITY: THE J-PET APPROACH

*P. Moskal, Ph.D., Professor; E. Stępień, Ph.D., Professor; A. Khreptak, Ph.D.
Jagiellonian University, Kraków, Poland*

Modern armed conflicts result not only in acute battlefield injuries but also in a significant burden of long-term chronic health conditions affecting military personnel and veterans, including traumatic brain injury, chronic inflammation, cardiovascular complications, implant-associated infections, and delayed oncological risks. Many of these conditions remain undetectable using conventional anatomical imaging modalities such as CT or MRI, particularly at early stages.

Positron emission tomography (PET) enables the visualisation of metabolic and molecular processes in vivo, allowing for early detection and monitoring of pathological changes before structural damage becomes evident.

However, the widespread implementation of PET diagnostics is limited by the high cost of crystal-based scanners and the infrastructure required for radionuclide production.

The Jagiellonian Positron Emission Tomography (J-PET), based on plastic scintillator technology, may enable the development of PET systems that are 5–10 times less expensive than conventional scanners. The J-PET is compatible with currently used PET radionuclides, including generator-produced ^{68}Ga from $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ systems, allowing integration with existing nuclear medicine infrastructure, while its future combination with the long-lived $^{44}\text{Ti}/^{44}\text{Sc}$ generator may enable onsite ^{44}Sc -labelled radiopharmaceutical production, reducing dependence on cyclotron infrastructure and isotope transport logistics.

From a social and humanitarian perspective, the decentralisation of PET diagnostics enabled by J-PET technology may support long-term medical surveillance, rehabilitation planning, and evidence-based decision-making in veteran healthcare systems, contributing to improved healthcare resilience within national defence structures.

ВИНАХІДНИЦТВО І РАЦІОНАЛІЗАТОРСТВО ЯК ВИД НАУКОВОЇ ТА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: ВПРОВАДЖЕННЯ НЕПАРАМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ У ВІЙСЬКОВІЙ МЕДИЧНІЙ СТАТИСТИЦІ

О.В. Тварковська¹; М.Ю. Першин²; А.А. Тварковська²

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба;

²Вінницький національний медичний університет ім. М.І. Пирогова

В умовах воєнного стану та обмежених ресурсів особливого значення набуває раціоналізація наукових підходів до аналізу медико-статистичних даних. Військова медична статистика характеризується малими вибірками, нерівномірністю розподілу показників, наявністю порядкових шкал оцінки тяжкості стану, бойової травми та функціональних порушень. За таких умов традиційні параметричні методи аналізу не завжди є коректними.

Раціоналізаторським підходом до оптимізації досліджень є впровадження непараметричних методів статистики – критерію Манна–Уїтні для порівняння незалежних груп, точного критерію Фішера для аналізу частотних показників при малих вибірках та коефіцієнта рангової кореляції Спірмена для оцінки взаємозв'язків між клінічними та функціональними параметрами. Використання цих інструментів дозволяє підвищити достовірність результатів без необхідності штучної нормалізації даних або збільшення обсягу вибірки.

У військовому контексті таке методологічне вдосконалення має практичне значення: забезпечує швидке прийняття обґрунтованих управлінських рішень, оптимізує аналіз ефективності лікувально-евакуаційних заходів, сприяє оцінці бойових санітарних втрат та результатів реабілітації. Таким чином, застосування непараметричних методів статистики можна розглядати як форму інтелектуального раціоналізаторства, що підвищує ефективність науково-технічної діяльності у сфері військової медицини.

THE CAUCASUS CASPIAN REGION AS ONE OF THE MOST IMPORTANT GEOPOLITICAL CENTERS AND AZERBAIJAN'S ROLE IN ENSURING REGIONAL SECURITY

N.A. Aliyev; S.N. Alekperova

National Defense University, Baku, Azerbaijan

The historical destinies of Azerbaijan are inseparably linked with the Caucasus Caspian region. Both in the past and in the modern era, due to its geographical location Azerbaijan was and continues to remain one of the key links in the confrontation of the major geopolitical forces in this region, a center of military political events unfolding here for more than two millennia. The emergence of the independent Republic of Azerbaijan and the steadily growing influence of NATO in

this region have given traditional international rivalry an entirely new geopolitical character.

In the modern era of fundamental geopolitical changes on a planetary scale, the geostrategic significance of the Caucasus Caspian region, with its vast hydrocarbon resources, has once again become one of the most important geopolitical factors. The emergence in the early 1990s of independent states in the South Caucasus and Central Asia, and the sharply increased geopolitical activity of the West throughout the Eurasian space in this connection, led to a radical revision of many geopolitical realities previously considered unshakable, including those associated with the Caucasus Caspian region. These realities manifest themselves under qualitatively new geopolitical conditions, when in the early 1990s the United States laid claim to a monocentric world, declaring almost the entire world a zone of its strategic interests. A special place in this U.S. geostrategy is occupied by the gigantic geopolitical mass, the “heart of the world,” Eurasia, including the Caucasus Caspian region. In his book *Out of Control*, Z. Brzezinski emphasized: “...in the future no state or coalition of states should consolidate into a geopolitical force that could push the United States out of Eurasia” [1].

In the modern era, this is especially clearly traced in the vast and resource rich Central Eurasian and Caucasus Caspian geopolitical space that forms part of Eurasia. A number of leading states have already emerged here, planning and in practice turning the area into a kind of geostrategic set of strongpoints for further deepening and fragmenting all of Eurasia.

The settlement of the Armenian Azerbaijani conflict and the deoccupation of the territories of the Republic of Azerbaijan changed the geopolitical balance in the Caucasus Caspian region and created conditions for sustainable development, peaceful cooperation, and the обеспечение regional security [2, pp. 46–48]. Azerbaijan not only consolidated its political and military strategic superiority for the coming decades, but also achieved international acceptance of the results of the war and created an entirely new “balance of forces” in many spheres, from geopolitics to the military technical domain, and opened new opportunities for developing cooperation in the South Caucasus.

Within the framework of expanded regional cooperation, Azerbaijan pays special attention to increasing the utilization of the Baku Tbilisi Kars railway for cargo transportation along the Middle Corridor. The promising project to build the China Kyrgyzstan Uzbekistan railway is also in the focus of Azerbaijan, the main transport hub on the western shore of the Caspian Sea. Via the Trans Caspian route, cargo from this mainline will pass through Azerbaijan, Georgia, and далее to Turkey and Europe, and may also be directed through the western branch of the North South International Transport Corridor to Russia, which expands trade and investment with Uzbekistan. For Armenia, these projects could become a chance to break out of economic blockade and begin cooperating with its neighbors [3].

Thus, the tense geopolitical struggle around the Caucasus region that took shape at the turn of the twentieth century and in the 2020s required the leadership of the Republic of Azerbaijan, alongside a clear definition of its geostrategic role in the region, to pursue an active and consistent foreign policy in this direction and to maintain a high level of combat readiness of the country’s Armed Forces. With the initialing on August 8, 2025 in Washington of the draft “Agreement on the Establishment of Peace and Interstate Relations between the Republic of Azerbaijan and the Republic of Armenia,” the region entered a fundamentally new political phase. Azerbaijan effectively broke the line of confrontation in geopolitical terms, opening a new path for cooperation. At the same time, the central point of the new

geopolitical reality is the creation in the region of new alliance lines, an atmosphere of trust and friendship, the development of cooperation, and the provision of security.

Література:

1. Nikolai von Kreitor. Brzezinski and American Geopolitics of Expansionism. *Izvestia*, 2001, November 26.

2. Aliyev N.A., Mammadzada V.M. *Geosecurity Environment in the South Caucasus and Azerbaijan in the Post War Period*. Baku: "AFpoligrAF", 2023, 112 p.

3. Aliyev N.A., Darabadi P.G. *Geopolitics in the Caucasus Caspian Region and Azerbaijan*. Baku: "AFPoligrAF", 2017, 288 p.

СОЦІАЛЬНО-ГУМАНІТАРНІ ПРОБЛЕМИ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

О.М. Рудковський; Ю.Г. Лівінська, Ph.D.; М.В. Цицик

*Науковий центр Сухопутних військ Національної академії сухопутних військ
ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Національна безпека є ключовою умовою існування та розвитку держави й охоплює воєнні, політичні, економічні, інформаційні, соціальні та гуманітарні складові. У сучасних умовах зростає значення соціально-гуманітарного виміру, оскільки він визначає рівень суспільної стабільності, згуртованості та довіри громадян до державних інституцій. Внутрішня соціальна нестабільність може становити не меншу загрозу для держави, ніж зовнішня агресія.

Соціально-гуманітарна безпека розглядається як стан захищеності життєво важливих інтересів людини, суспільства та держави у соціальній і духовно-культурній сферах; включає забезпечення належного рівня життя населення, доступності освіти й охорони здоров'я, збереження національної ідентичності, інформаційної безпеки та міжетнічної злагоди. Соціальна нерівність, бідність, безробіття, трудова міграція та демографічна криза негативно впливають на суспільну стабільність і створюють довгострокові виклики для економіки та обороноздатності держави.

В умовах воєнного стану особливої актуальності набувають питання внутрішнього переміщення населення, психологічної підтримки громадян, подолання демографічних втрат і протидії дезінформації. Вирішення соціально-гуманітарних проблем потребує комплексного підходу, спрямованого на підвищення якості життя населення, зміцнення суспільної єдності та забезпечення внутрішньої стійкості держави як важливої складової національної безпеки.

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ ВІЙСЬКОВИХ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

В.П. Варакута, к.військ.н., доц.; М.В. Варакута

*Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету "Харківський політехнічний інститут"*

В умовах повномасштабної агресії росії проти України, інформація стала такою ж зброєю, як артилерія, танки чи БпЛА. У доповіді визначені основні загрози інформаційної безпеки для українських військових, які активно використовує противник, а саме:

– розвідку на основі відкритих джерел (OSINT) та геолокацію, що включає фото й відео з соцмереж, пости родичів, випадкові “сторіс” з позицій, ландшафт місця, фон місцевості та звуки. Навіть один кадр із характерною будівлею або ландшафтом може дозволити ворогу визначити позицію підрозділу;

– хибні (фейкові) волонтери, “журналісти” або люди, які представляються військовими або представниками командування;

– компрометація мобільних пристроїв через злам акаунтів через фішингові (інтернет-шахрайство) повідомлення, встановлення шпигунського програмного забезпечення, прослуховування, відстеження через SIM-карту або Wi-Fi та використання IMEI для ідентифікації;

– витік інформації від родичів та знайомих військового в розмовах із сторонніми особами.

Інформаційна безпека українського військового – це в першу чергу дисципліна. Один необережний пост може коштувати життя. Обережність у словах, фото та діях – така ж частина бойової підготовки, як стрільба чи тактика. Саме своєчасні профілактичні дії з військовими (проведення теоретичних і практичних занять, тренінгів тощо), дотримання кібергігієни (складні паролі, оновлення програмного забезпечення тощо), здійснення заходів з інформаційної безпеки та системне вивчення, аналіз та розроблення протидії діям противника, забезпечать достатній рівень інформаційної безпеки українських військових в умовах російсько-української війни.

РОЛЬ СТРАТЕГІЇ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ У СИСТЕМІ ПРАВОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБОРОНОЗДАТНОСТІ ДЕРЖАВИ В УМОВАХ ТРИВАЮЧОЇ РОСІЙСЬКОЇ АГРЕСІЇ

*І.М. Островська-Бугайчук, к.пед.н., доц.; О.В. Вигівська, к.іст.н.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

В умовах триваючої збройної агресії проти України особливої актуальності набуває питання ефективності, нормативної визначеності та практичної дієвості Стратегії воєнної безпеки України як ключового документа у сфері воєнної політики держави. Зазначена Стратегія визначає стратегічні цілі, принципи та пріоритети забезпечення національних інтересів у воєнній сфері, формуючи концептуальні засади функціонування сектору безпеки і оборони.

Повномасштабна війна засвідчила суттєву трансформацію характеру загроз, що проявляється у застосуванні гібридних методів ведення війни, кібератак, інформаційно-психологічних операцій, а також активному використанні новітніх технологій. У зв'язку з цим проблемним аспектом залишається своєчасне оновлення стратегічних положень відповідно до динаміки воєнно-політичної ситуації та забезпечення їх адаптивності до нових викликів безпекового середовища.

Окремої уваги потребує проблема розриву між декларативними положеннями Стратегії та реальними механізмами їх імплементації. Крім того, актуалізується необхідність узгодження положень Стратегії з іншими програмними та нормативно-правовими актами у сфері національної безпеки, що дозволить забезпечити цілісність стратегічного планування та уникнути дублювання функцій або прогалин у регулюванні.

Сучасні безпекові виклики зумовлюють необхідність удосконалення механізмів реалізації Стратегії воєнної безпеки України, підвищення її адаптивності та практичної спрямованості. Забезпечення відповідності стратегічних положень реальним потребам сектору безпеки і оборони, є ключовими умовами зміцнення обороноздатності держави.

ТРАНСФОРМАЦІЯ ВІЙСЬКОВОГО ЗАКОНОДАВСТВА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ ВІЙСЬКОВОЇ СЛУЖБИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ДЕРЖАВ-ЧЛЕНІВ НАТО

І.В. Красота¹, к.і.н.; М.В. Борисенко¹, д.і.н., проф.;

О.Л. Тракалюк², к.пед.н.; В.М. Панько³

¹Науково-методичний центр кадрової політики Міністерства оборони України;

²Департамент кадрової політики Міністерства оборони України;

³Національний університет оборони України

Практична робота стосовно трансформації військового законодавства України з питань військової служби з урахуванням досвіду держав – членів НАТО розпочалась з прийняттям Стратегії залучення, розвитку та утримання людського капіталу в силах оборони України на період до 2027 р. (далі – Стратегія), яка затверджена наказом Міністерства оборони України від 29 грудня 2024 р. № 862. У 2025 р. терміни дії Стратегія наказом Міністерства оборони України від 29 грудня 2024 р. № 862 були подовжені до 2032 р.

Одним із основних завдань Стратегії є розроблення та прийняття Кодексу України про військову службу (далі – КВС).

У 2025 р. Науково-методичним центром кадрової політики Міністерства оборони України (далі – НМЦ КП МОУ) під час опрацювання науково-дослідної роботи “Обґрунтування нормативно-правових змін у законодавстві України з питань військової служби” (шифр “Поєднання”) обґрунтовано технічне завдання науково-дослідної роботи “Обґрунтування нормативно-правових змін у законодавстві України з питань військової служби з урахуванням досвіду держав-членів НАТО” шифр “Поєднання – 2” (далі – НДР “Поєднання – 2”), яку планується протягом 2026-2027 рр.

Отже, основне завдання у 2026-2027 рр. НМЦ КП МОУ при проведенні наукових досліджень НДР “Поєднання – 2” розробити КВС з урахуванням досвіду кодифікації держав – членів НАТО.

СОЦІАЛЬНО-ГУМАНІТАРНІ ПРОБЛЕМИ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ, РЕФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

М.Г. Чалий; О.О. Карпенко

*Військово-юридичний інститут Національного юридичного університету
ім. Ярослава Мудрого*

Ключові слова: національна безпека, оборонний сектор, реінтеграція ветеранів, інформаційна безпека.

Актуальність теми полягає в тому, що в умовах повномасштабного вторгнення російської федерації, Україна має проводити реформи для

удосконалення свого безпекового середовища, оскільки рф використовує не тільки військові методи, а й інформаційні та соціальні.

Мета України – встановити головні соціально-гуманітарні чинники, які можуть гальмувати розвиток Збройних Сил України. Завдання – окреслити практичні орієнтири вдосконалення законодавства. Теорією є концепція про соціальну стійкість та цивільний контроль над сектором безпеки через Міністра Оборони. Застосовувати системний підхід і узагальнення нормативних документів. Оскільки, результативність військових реформ залежить від впорядкованості державної політики, щодо оборонної та гуманітарної політики. Це і є гіпотезою нашого питання.

Ключовим ресурсом обороноздатності є стійкість суспільства до інформаційно-психологічних загроз (ІПСО), вдосконалення системи освіти задля підвищення національної свідомості, історичної пам'яті у населення, сприяє його готовності до участі у захисті держави та зміцнює державу зсередини. Визначено, що інформаційна та кібербезпека є надзвичайно важливою цеглиною оборонного мура, оскільки ворог спрямовує свій деструктивний вплив на деморалізацію населення та підризу легітимності державних інституцій. Контрпропаганда, як і прозора взаємодія з населенням знижує рівень соціальної напруги.

Обґрунтовано, що на безздатність підрозділів має вплив їх морально-психологічний стан. Постійна емоційна підтримка, реабілітація і належне матеріальне забезпечення є запорукою надійного кадрового ресурсу. Також можна зазначити, що ефективна ветеранська політика є необхідним чинником виживання держави в майбутньому, адже інтеграція військових у цивільне життя мінімізує потенційні соціальні загрози й зміцнює громадянське суспільство. Зокрема популяризує проходження військової служби.

Додатково визначено, що необхідно більше розвивати міжвідомчу взаємодію, для реформування освіти, охорони здоров'я та оборонного сектору в сфері соціального забезпечення. Координація дій державних інституцій гарантує успішність гуманітарної політики й покращує результативність адміністративних рішень. Запровадження ефективних методів підготовки молоді та забезпечення цивільного контролю – сприяють укріпленню демократичного функціонування сектору безпеки і оборони.

Вирішення соціально-гуманітарних проблем є життєво необхідним для формування потужної системи національної безпеки України. Всебічний характер реформ забезпечується поєднанням змін у війську, із покращенням соціального захисту, інформаційної безпеки, програм реінтеграції ветеранів, тощо. Реалізація цих підходів на практиці сприятиме збереженню української державності і стабільності суспільства в довгостроковій перспективі.

ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВІД ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ

В.В. Салогор; В.В. Каменецький; М.М. Костащук; Д.М. Шабанов
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння
та військової техніки

У контексті зростаючої кількості мінно-вибухових загроз у зонах бойових дій, а також у постконфліктних регіонах, зростає потреба в ефективних, безпечних та економічно доцільних технологіях розмінування. Одним із таких

технологічних рішень є застосування БпЛА, які дедалі частіше інтегруються у гуманітарні місії та операції з очищення територій від вибухонебезпечних предметів (далі – ВНП).

БпЛА, залежно від їхньої конфігурації, масогабаритних характеристик та сенсорного оснащення, здатні виконувати низку критично важливих функцій у процесі розмінування.

Завдяки оснащенню високоточною оптико-електронною апаратурою, мультиспектральними та тепловізійними камерами, БпЛА забезпечують детальний моніторинг поверхні землі. Це дозволяє оперативно виявляти підозрілі об'єкти, визначати зони потенційного забруднення мінами та іншими ВНП, а також створювати геоприв'язані карти мінної небезпеки. Застосування фотограмметрії та технологій 3D-моделювання дає змогу фахівцям з розмінування отримати високоточні цифрові моделі місцевості.

Завдяки регулярним обльотам БпЛА можна фіксувати динаміку змін на підозрілих ділянках, виявляти нові загрози або фіксувати випадки самознищення боєприпасів. Це важливо як для планування операцій, так і для звітності та оцінки ефективності розмінування. БпЛА вже сьогодні є невід'ємною частиною сучасних технологій гуманітарного розмінування. Їхня функціональна гнучкість, мобільність, безпечність та адаптивність до різних умов робить їх перспективними засобами операцій з розчищення територій від вибухонебезпечних предметів.

ІНТЕГРАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ ДО ЄВРОПЕЙСЬКОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

В.М. Феденько; В.Т. Бояров; О.В. Кушніренко;

І.С. Задорожний, д.т.н., проф.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки;*

Національний університет “Чернігівська політехніка”

Сучасні умови розвитку оборонних спроможностей держав Європи зумовлюють необхідність гармонізації процесів модернізації та випробувань авіаційної техніки відповідно до вимог європейського нормативного та інформаційного середовища.

Ключову роль у формуванні єдиного підходу до стандартизації та обміну даними відіграють структури Європейське оборонне агентство (EDA), Європейське агентство з безпеки польотів (EASA) та НАТО, які визначають вимоги до сертифікації, цифрової сумісності результатів випробувань, кіберзахисту та управління життєвим циклом виробів. Врахування стандартів STANAG, вимог EASA до льотної придатності та принципів EDA щодо спільних програм розробки і тестування створює передумови для взаємного визнання результатів випробувань модернізованої авіаційної техніки.

Інтеграція передбачає цифрову трансформацію випробувальної інфраструктури: впровадження систем управління випробуваннями (Test

Management Systems), використання цифрових двійників, хмарних середовищ обміну технічною інформацією, застосування технологій великих даних та елементів штучного інтелекту для оброблення телеметричної інформації. Формування єдиних форматів даних, протоколів обміну та механізмів захисту інформації забезпечує включення національних центрів випробувань до спільного європейського інформаційного поля.

Таким чином, інтеграція випробувань модернізованої авіаційної техніки до європейського інформаційного простору з питань новітніх технологій є стратегічним напрямом розвитку національної системи оборонних досліджень і випробувань, що забезпечує взаємосумісність, технологічну сумісність та міжнародне визнання результатів оцінювання відповідності.

СЕКЦІЯ 19

ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ, ПРАВОВІ ТА СОЦІАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ПРОФЕСІОНАЛІВ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

Керівники секції: полковник Сидоров К.І.;
к.філос.н. доц. полковник Кротюк В.А.
Секретар секції: д.філос. підполковник Худавердова А.О.

PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPING PROFESSIONAL RELIABILITY IN MILITARY PERSONNEL

*K. Sydorov
Air Forces Command of Armed Forces of Ukraine*

In modern warfare, psychological factors are becoming increasingly important and decisive. Errors in cognitive processes, indecisive actions, disturbances in the self-regulation of mental states, and deviant behaviour are examples of mental unreliability. This phenomenon has long been the focus of military psychology.

Research conducted during recent armed conflicts, particularly the Russian-Ukrainian war, has shown that the professionally necessary qualities of military personnel, developed in the process of professional psychological training, include:

- professional thinking (skills in assessing the operational situation and analysing real and potential threats);
- professional memory (development of skills for rapid memorisation, high-quality retention, and effective recognition of information);
- professional attention and observation (skills for distributing attention to objects of activity and switching between them).

Research has also shown that the effectiveness of service and combat activities largely depends on personal adaptive potential, an important psychological factor that determines a soldier's psychological readiness.

At the same time, there are psychological and psychophysiological qualities of a military person's personality that negatively affect the successful performance of service and combat tasks:

- increased emotional and volitional instability;
- lack of clear motivational attitudes;
- inability to regulate psychological and physical state;
- decrease in activity when working under time constraints, obstacles, and adverse factors;
- unstable concentration, slow switching, and distribution of attention;
- slowness and impulsiveness of sensorimotor coordination of actions;
- reduced ability to operate with spatial-temporal representations and other psychophysiological qualities.

Taking into account the specific nature of different types of troops and their diverse service and combat tasks, it is necessary to develop the professionally significant qualities and skills of military personnel, enriching this process with psychological content, since when performing tasks in extreme conditions, there is a need for self-organisation of attention, memory, thinking, and activation of acquired experience and skills. To achieve this, setting and formulating tasks, and analysing work progress, are necessary. To maintain the necessary level of purposeful

psychological readiness among military personnel, we suggest using psychological debriefing, one of the most effective methods for assessing the erroneous actions of military personnel after extreme conditions. Another important and relevant element of psychological support for military personnel in extreme conditions of service and combat operations is teaching them self-regulation skills.

KNOWLEDGE SOCIETY AS A SOCIOCULTURAL BACKDROP FOR MILITARY PROFESSIONAL TRAINING

*O. Dzoban, Doctor of Philosophical Sciences, Professor;
V. Krotiuk, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The concept of a “knowledge society” encompasses not only the accumulation of information but also its interpretation, critical reappraisal, creative application, and transformation into innovation. It is a society where knowledge serves as the cornerstone of economic activity, social interaction, cultural development, and political governance. In light of the advancement of modern information technologies, the professional life of a contemporary military expert has become inextricably linked with science and cutting-edge knowledge.

The term “knowledge society” transcends the traditional notion of an information society by emphasizing not merely access to information, but the capacity to comprehend, transform, and apply it creatively.

A knowledge society represents more than just a technological or economic shift; it is a profound sociocultural evolution that necessitates conscious management, interdisciplinary dialogue, and the active engagement of all societal members. Educational and scientific institutions, technology, human potential, and social processes constitute the fundamental pillars of such a society.

This report interprets the knowledge society as an enhanced version of the information society, identifying a set of conditions that allow for the classification of an information society as a knowledge society (namely, the expanding scale and significance of knowledge application, as well as the increasing scope of its reproduction and distribution). Furthermore, it analyzes the challenges facing Ukrainian society within the context of global transformations and proposes approaches to fostering an innovative environment capable of stimulating the professional development, creativity, and interdisciplinary collaboration of military experts.

HUMAN-CENTRICITY IN HIGHER MILITARY EDUCATION: ADVANTAGES AND PROSPECTS FOR IMPLEMENTATION

S. Sobolieva¹, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor; I. Kivshar²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

One of the main tasks of modern higher military education is the formation of an intellectual military leader, capable of choosing an individual trajectory of personal and professional self-development and self-realization, and of acting effectively in the conditions of modern warfare. One way to solve these problems is to introduce a human-centered approach to the educational process.

Human-centricity in education is a special approach and organization of the educational process, the focus of which is the personality of the student, his needs,

interests and abilities. Its goal is to develop potential, form a harmonious, independent, responsible specialist.

The key components of human-centricity in higher military education are: the formation and improvement of partner subject-subject relations in the “teacher-cadet (listener)” system; adaptation of training programs to the needs of a specific person in order to determine individual educational trajectories; emphasis on the formation of soft skills (critical thinking, emotional intelligence, communication skills, etc.); creating a psychologically safe and comfortable educational environment, in which there is no authoritarian pressure and there is respect for the dignity of the student; introducing the principles of professional autonomy, which involves the development of initiative and responsibility in students in making independent decisions within their competence.

Human-centricity in higher military education is an important paradigm shift in the system of training an officer-leader and mentor, one of the ways to cardinal changes in the creation of an intellectual, adaptive and invincible army.

ФОРМУВАННЯ СВІТОГЛЯДНОЇ КУЛЬТУРИ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Ю.Ю. Калиновський, д.філос.н., проф.; В.В. Лук'яненко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Високий рівень світоглядної культури офіцерського корпусу є запорукою духовно-психологічної стійкості у ЗС України. Саме офіцери виступають провідниками ідей, цінностей, принципів, що покладені в основу патріотичного виховання, гідної моральної й професійної поведінки військовослужбовців. Світоглядна культура майбутнього офіцера формується завдяки засвоєнню фундаментальних знань, гуманістичних та національно-спрямованих цінностей, переконань, ідеалів, принципів. Розвиток світоглядної культури військовослужбовців передбачає виховання емоційно-вольових установок та мотивів, без яких оволодіння знаннями, формування переконань й ідеалів у ціннісно орієнтованому освітньому процесі, професійній діяльності не буде ефективним. Особиста світоглядна культура майбутнього офіцера – це фундаментальна, цілісна та інтегративна характеристика. Духовним центром у її психологічній структурі є ціннісне ядро, яке визначає природу та зміст світогляду захисника Вітчизни. Науковці виокремлюють низку критеріїв розвиненості світоглядної культури особистості: пізнавальний критерій, який виявляє наявність і свідоме засвоєння майбутнім офіцером світоглядних знань, зокрема про природу, суспільство, людину, світ; оцінно-ціннісний критерій, який визначає усвідомлення військовослужбовцем його ставлення до світоглядного змісту навчального матеріалу, до подій і явищ, які відбуваються у суспільстві й у світі в цілому, його ціннісні орієнтації, ідеали; діяльнісний критерій, за допомогою якого визначається готовність офіцера до реалізації власних світоглядних переконань у практичній площині. Отже, формування світоглядної культури майбутнього офіцера потребує реалізації комплексних програм навчального та виховного характеру, створення у ВВНЗ атмосфери нетерпимості до порушень військової дисципліни, моральних норм та Кодексу офіцерської честі.

CHARACTERISTICS OF THE COMPONENTS OF PROFESSIONAL COMMUNICATION FOR OFFICERS

*V. Lukianenko; V. Shcherbak
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The components of professional communication for officers include communication skills (the ability to plan, predict, collect and process information, and prepare documents), moral and psychological qualities (decency, exactingness, restraint, patriotism), and leadership functions (management, control, the ability to work in combat conditions). All these components are essential for the effective performance of official duties and ensuring the combat readiness of the unit.

A military leader must understand that military management is a directed influence of a commander on the personality of a soldier, a military collective, or individual socio-psychological processes where nonviolent communication should be present. This method of communication, which helps people to negotiate effectively, avoid conflicts, build healthy relationships, and find common ground even in difficult situations, was developed by American psychologist Marshall Rosenberg.

The main goal of nonviolent communication method is to create an atmosphere of trust and mutual respect by focusing on four key components: observations, feelings, needs, and requests. The method teaches us to move from “the language of judgment, demands, and evaluations” to “the language of life”, which is based on empathy and compassion.

Nonviolent communication in the Armed Forces should be used to improve interaction, resolve conflicts, and maintain the psychological readiness of personnel. It involves focusing on respect and understanding rather than criticism or violence, which is especially important during combat missions.

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE LESSON LEARNED SYSTEM IN THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*V. Lysechko, Doctor of Technical Sciences, Professor;
O. Lozko; S. Kaduk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern conditions require the creation of effective tools for evaluating the effectiveness of the lesson learned (LL) system. This will allow not only to assess the current state, but also to promptly take corrective actions at all stages to improve the effectiveness of processes.

The results of the analysis of domestic and foreign publications on the topic of evaluating the effectiveness of the LL system indicate that many scientists are interested in finding tools to evaluate the effectiveness of this system. There are certain difficulties in evaluating the effectiveness of the LL system, since it is impossible to directly compare the amount of resources spent with the effect obtained, because there can be no direct relationship between costs and profits in this system. Based on this, the development of an effective tool for assessing the effectiveness of the LL system is a pressing task. The methodology for assessing effectiveness is a set of interrelated criteria, indicators, and techniques aimed at assessing the results of the LL system's functioning. It covers all stages of the LL system's operation. The results of applying the methodology provide not just

statistical data, but a clear map of vulnerabilities at each stage of the LL system's operation. The implementation of this methodology will allow for continuous monitoring of the status, performance, and effectiveness of the system.

SOCIO-PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM FOR THE STUDY AND IMPLEMENTATION OF EXPERIENCE

O. Savchuk¹, Candidate of Psychological Sciences;

V. Pasichnyk², Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Academy of the National Guard of Ukraine

The effectiveness of the Armed Forces of Ukraine under wartime conditions depends on the capacity for continuous organizational learning. The development of the system for the study and implementation of experience (SIE) in accordance with NATO standards (Lessons Learned) is primarily a socio-psychological process, the success of which is determined not by technical means, but by the level of leadership responsibility and organizational culture.

The main obstacle to the development of the SIE system is the tradition of a "blame culture" inherent in military organizations. Conversely, a "learning culture" requires trust and a psychologically safe environment. The leading role in creating such an environment belongs to the commander-leader. This leadership role is manifested in the organization of group work, particularly during After Action Reviews (AARs), and the ability to integrate individual observations of subordinates into collective knowledge.

Given this, the strategic task for Higher Military Educational Institutions is to foster the readiness of graduate officers to demonstrate leadership responsibility for SIE in subordinate units. Professional training must include mastering reflexive analysis methods, root cause analysis techniques, and group dynamics management skills during debriefings.

Consequently, the essence of socio-psychological support for the development of the SIE system in the Armed Forces of Ukraine is to facilitate the transformation of the officer corps' mindset, which involves transitioning from perceiving experience as a form of reporting to realizing its critical importance as a tool for survival and achieving combat superiority.

THE INTERRELATION BETWEEN SELF-ESTEEM AND LEADERSHIP QUALITIES IN FUTURE SIGNAL OFFICERS

T. Mosharenkova;

O. Khmelevska, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The success of becoming a modern leader officer depends on their ability to understand the conceptual foundations of personnel management and mastery skills to analyze the influence of internal and external environment on the strategic decision-making in terms of difficult conditions through challenges and threats. At the same time in context of higher dynamics in social expectations special attention attracts structural components their inner regulations of psychological functional such as self-esteem and self-conception. Considering this, cause for exploring military leadership phenomenon there was an essential need in clarification on the

influence of the level formed self-esteem in signal cadets on their ability to invest in personal and career growth, communicative skills and leadership potential.

The results of empirical study, which was conducted among cadets (sergeants) of the second and fourth year of pursuing degree through university's faculty. It shows us the high-level possession of theoretical and practical knowledge for performance communicative practice, motivation to achieve success in management, interest in dialogic communication, and valuable orientations towards military career. This study gave us opportunity to make a conclusion that on successful professional self-determination, self-realization, and manifestation of leadership qualities prominent influence has level of military self-esteem, confidence in their choices, actions and decisions, feeling of self-dignity, tendency to take on leadership roles and responsibility.

The research confirmed the need for further work aimed at problem solving integration by studying self-esteem and leadership skills as interconnected factors of personal development. Directly, it influences self-value, ability to self-realization and is essential for professional growth, providing functional readiness to completion assigned tasks.

FORMING A STANDARD FOR TRAINING OF TROOPS FOR CONVENTIONAL REQUIREMENTS OF WARFARE

*A. Babych, Candidate of Juridical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The starting point of the process of forming a model of behavior in the troops in compliance with the conventional requirements of warfare (hereinafter – KVVV) is the organization of their training with a clear definition of the order of training and the final result. In the activities of the troops, such aspects are accumulated in the category of "standard", a regulatory document that establishes for general and repeated use rules, guidelines or characteristics of activities and their results. Such a sphere of formation should be covered by the standard for training troops for KVVV.

The troops have a Program of work on military standardization for a certain period of time, which determines the terms of revising or developing standards for a certain type of troop activity. The development of a standard for training for KVVV is a methodology adapted to the situation. The scope of application of the military standard for training for KVVV is: in peacetime – combat training of troops, in conditions of conducting combat troops – the behavior of troops on the battlefield.

This determines the specifics of implementing such a standard through a set of relevant competencies: understanding war (armed conflict) as a social phenomenon (a method of resolving disputes through the use of weapons); knowledge of the prerequisites for the humanization of armed struggle; understanding of the moral and ethical principles of behavior of a soldier and officer on the battlefield;

knowledge of special norms of international humanitarian law; the ability to promptly assess the situation and make a decision based on social responsibility; be able to identify and classify facts of violations, actively act to stop or localize them.

THE GENDER FACTOR IN THE DIMENSION OF MILITARY HISTORY

A. Khudaverdova, Ph.D.

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The Ukrainian military-historical experience in the context of the Russian-Ukrainian war demonstrates significant transformations in the understanding and implementation of gender roles within the military sphere.

Traditionally, military service had long been perceived as an exclusively male prerogative. However, a closer examination of various historical periods reveals that women were actively involved in sustaining the functioning of military formations, preserving cultural heritage, and often becoming direct participants in armed struggle.

The twentieth century – from the ranks of the Ukrainian Sich Riflemen to the underground movements of the OUN and the UPA – consolidated the role of women in medicine, intelligence, communications, and combat operations.

The Russian-Ukrainian war has led to profound gender integration within the military sphere. Since 2014, the number of women in the Armed Forces of Ukraine has increased significantly. Female service members actively participate in combat missions on an equal footing with men, representing a wide range of specialties, including command and combat positions. Female snipers, artillery operators, UAV operators, and unit commanders prove daily that courage has no gender; what matters is professionalism and love for one's country – a love that, in wartime, transforms from an abstract feeling into concrete actions aimed at defending the state.

Unfortunately, a significant portion of women's historical and heroic contributions remains insufficiently represented in official historical narratives, leading to a fragmented perception of national memory. There is a pressing need to restore historical justice through thorough scholarly research and proper commemoration of these achievements, which is critically important for shaping the integral identity of the modern warrior. The true resilience of Ukraine lies in the effective synergy of the combat and intellectual potential of both men and women. Only shoulder to shoulder, recognizing the contribution of each and every one, is it possible to achieve the long-awaited Victory.

PECULIARITIES OF TRAINING MILITARY PERSONNEL FOR MODERN WARFARE

A. Khudaverdova, Ph.D.; K. Borysenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The war that Ukrainian society has been experiencing since February 24, 2022 places high demands on the training of military personnel (forces) and on their moral, psychological, and mental condition, as it has a catastrophically negative impact on the psyche of the personnel of the Armed Forces of Ukraine

The high intensity of combat operations, tension, rapid developments, the specific tactics employed by the enemy, new weapons, crimes against prisoners of war and civilians, looting – these are only a small part of the factors that are traumatic for the psychophysiological condition of military personnel.

The psyche of military specialists operates at the limit of permissible loads, which leads to decreased performance efficiency, psychological trauma, and mental disorders.

For the effective performance of military personnel in combat conditions, the following are required: a high level of motivation and well-developed moral and combat qualities; military-professional mastery; neuropsychological resilience; rapid adaptability; the ability to overcome the impact of negative combat factors; cohesion within units, etc.

High-quality training of specialists for conducting combat operations under modern conditions is possible only on the basis of knowledge of the patterns of warfare, the functioning of the psyche, and the behavior of personnel in a specific combat environment, that is, taking into account the specifics of objectives, tasks, means, and methods of activity in different conditions and types of combat. There is a need to implement the latest and most effective tools and methods of psychological and professional training, as well as to develop modern preventive and rehabilitation measures that prevent mental health disorders and restore the professional capabilities of military personnel.

MILITARY LEADERSHIP – A KEY ELEMENT OF COMBAT POWER

O. Khmelevska, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

P. Harnets

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

This thesis, through the examples of Military educational institutions of the Bundeswehr, explores the modern stage of approaches to developing military leadership. Studying the basis of military leadership begins in Officer schools and is based on the unique concept of Innere Führung (Internal Governance) and the principle of Auftragstaktik (Tactics of completing tasks), which form the image of an officer as a “Citizen in uniform”. Innere Führung (Internal Governance), it is a philosophical and ethical basis of service. It assumes soldiers are free citizens who conscientiously defend democratic values. Leadership is based not on blind obedience but on mutual respect, transparency of decisions, and legal responsibility. Auftragstaktik (Task execution tactics) means that the Commander determines the goal and tasks, but at the same time, it gives the subordinate complete freedom in choosing ways to achieve them. It develops independence, determination, and responsibility in the officer on the battlefield. The main leadership competencies that are brought up are moral stability (the ability to distinguish between legal and illegal orders, the right to resist in case of violation of human dignity); social competence (ability to build trust, motivate subordinates and resolve conflicts within the team); adaptivity (readiness to quickly change management methods depending on the situation, transition from authoritarian to coaching style). In such way, studying the basis of military leadership focuses on the formation competent leader officer through the integration of theory and practice with the accent on interactive methods, case analysis, personal qualities (intellect, morality, professionalism) and understanding the leader role in the command structure, which corresponds to modern doctrines, such as the American FM 6-22, for effective performance of tasks in peacetime and wartime, underlining that leadership it is process of development. Citizenship Education and the development of leadership qualities are fundamental components of the Bundeswehr’s corporate philosophy and define the ideological and value principles of military service. At the same time, this concept is very multifaceted. Forming the moral, legal, and ethical basis of the professional activity

of military personnel. This concept is aimed at raising a responsible leader-citizen, who combines the professionalism of a serviceman with adherence to democratic values, human rights, and norms of the constitutional order. The principle of “citizen in uniform” ensures the integration of military personnel into society, emphasizing that they are not only subject to military discipline, but also remain bearers of rights and freedoms guaranteed by the state, with a special duty to protect. The rejection of blind obedience is a key feature of this system. Independent thinking, legal responsibility, and the willingness to refuse to follow illegal orders are seen as necessary conditions for effective and morally justified military leadership. The experience of the Bundeswehr shows that the combination of leadership development and civic education increases professional responsibility, strengthens public trust in the armed forces, and can serve as a useful guideline for developing modern military personnel training systems.

INFLUENCE OF NEGATIVE FACTORS OF TRAINING AND COMBAT ACTIVITIES ON THE EFFICIENCY OF THE PHYSICAL TRAINING PROCESS OF FUTURE MILITARY SPECIALISTS IN HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTION UNDER MARTIAL LAW

*V. Zolocheskyi, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor;
D. Kmetiuk, Ph.D. in Physical Culture and Sport; D. Yerema
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The full-scale, prolonged aggression of the Russian Federation against Ukraine has radically changed modern approaches to the training of military professionals. Modern warfare is characterized by high dynamism, technological sophistication, hybridity, and a significant information and psychological component, which necessitates the improvement of the system of professional training of future military specialists against the background of stress and sleep deprivation. The constant increase in the requirements for the level of professional preparedness of military specialists necessitates ensuring their physical readiness for professional activity, in the formation of a major role take part a physical training.

During physical training, studying a physical exercise due to nervous overload of military personnel and insomnia turns a useful activity for them into an additional factor of exhaustion.

Among the main negative consequences, we can distinguish:

1. Cognitive and neurophysiological barriers: decreased memory and learning, confusion, impaired coordination.
2. Physical destruction of harmful substances: loss of muscle mass, risk of injury, cardiovascular disorders.
3. Psychoemotional recognition: decreased motivation, deterioration of progress.

Therefore, in conditions of martial law, high-quality organization of measures to ensure the physical training of future military specialists for professional combat activities requires the development of modern effective methods of conducting physical training in higher military educational institution to prevent the impact of negative factors of training and combat activities (psycho-emotional stress, sleep deprivation) on the formation of physical and military physical skills and abilities in cadets.

MAIN CHALLENGES IN IMPLEMENTING FOR THE LESSON LEARNED SYSTEM IN THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*M. Surhai, Ph.D.; O. Mohylnyi; D. Doroshko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The system of lesson learned (LL) in the Air Force of the Armed Forces of Ukraine is aimed at improving the effectiveness of the use and training of troops by analyzing combat operations, correcting mistakes, and scaling successful practices. However, in practice, certain difficulties arise in the functioning of this system that hinder the achievement of the set goal.

The report examines the main challenges facing the LL system, namely:

- psychological unwillingness of commanders to openly discuss failures and create a culture of trust rather than punishment;
- insufficient awareness among personnel of the need to analyze actions taken and make observations;
- the problem of secure exchange of experience between Armed Forces units and higher military educational institutions (absence of the Portal LL);
- the process of implementing experience (changing statutes, guidelines, rules) takes too long, which does not correspond to the dynamics of modern warfare.

The challenges discussed are not critical, but they reduce the effectiveness of the LL system. It should be noted that the successful implementation of the LL system depends on high-quality training of personnel and a change in mentality, where every military personnel is involved in the improvement process and commanders act as leaders of change.

КОГНІТИВНИЙ ІМУНІТЕТ ЯК ЗАСІБ ПРОТИДІЇ ВОРОЖИМ ПСО

*В.В. Артюхова, к.психол.н.
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Сучасні стратегії інформаційно-психологічного впливу характеризуються системністю, технологічною масштабністю та трансформацією інструментів впливу. Розроблення інформаційно-психологічних операцій ґрунтується на цілеспрямованому використанні когнітивних упереджень і систематичних помилок мислення людини. Традиційні методи медіаграмотності виявляються недостатніми та малоефективними через швидкість поширення контенту та використання ШІ.

Сьогодні одним з перспективних методів формування стійкості до різних форм дезінформації є когнітивний імунітет. Під когнітивним імунітетом слід розуміти комплексну здатність психіки розпізнавати, блокувати та нейтралізувати деструктивні інформаційні впливи. Він представляє собою багаторівневу психологічну систему захисту від маніпулятивного впливу, в основі якої лежить критичне мислення, медіаграмотність та емоційний інтелект. Реалізація стратегії когнітивного імунітету передбачає перехід від пасивного споживання інформації до активного когнітивного аналізу, що включає пошук логічних помилок, усвідомлення емоцій та усвідомлення механізмів їх впливу.

Когнітивний імунітет формується на основі пребанкінгу – превентивної стратегії ознайомлення споживачів з механізмами дії вірогідних методів маніпуляції та їх логічним спростуванням ще до моменту реалізації.

Ознайомлення та опрацювання механізмів маніпуляції створює ментальний бар'єр, що захищає психіку від маніпулятивних інформаційних впливів та допомагає розвинути стійкість до дезінформації в майбутньому.

Таким чином, когнітивний імунітет представляє собою стан постійної когнітивної готовності, що дозволяє знизити ефективність ворожих ПІСО, перетворюючи населення з об'єкта маніпуляції на активний суб'єкт інформаційної оборони.

DEVELOPMENT OF MILITARY-APPLIED COMPETENCIES IN CADETS AS A DETERMINANT OF PROFESSIONAL READINESS IN WARTIME

*V. Otysko; A. Poltavets, Ph.D.; S. Garbuz; M. Yaroviy
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern warfare requires cadets to possess not only general physical fitness but specifically developed military-applied competencies that directly influence operational performance and survivability. Physical training must therefore be structured as a functionally oriented system aligned with real combat demands.

Key competencies include strength endurance, speed-strength qualities, aerobic and anaerobic capacity, coordination under stress, mobility in full combat gear, load-carrying tolerance, and rapid recovery after high-intensity effort. Combat activity combines short maximal actions with prolonged moderate loads, which necessitates mixed metabolic conditioning.

Effective tools include HIIT protocols such as Tabata (20 s work / 10 s rest, 8 cycles), incorporating burpees, kettlebell swings, push-ups, squat jumps, sandbag lifts, and shuttle sprints. CrossFit-based complexes (farmer's walk, sandbag carry, sled push/drag, box jumps, thrusters, deadlifts, rope climbing) simulate ammunition transport, casualty evacuation, and obstacle crossing.

Endurance training should integrate 3–5 km running, interval sprints, and ruck marching (15–25 kg). Tactical drills performed in full gear-crawling, 3–5 second rushes, rapid positional transitions, and team movement-ensure specific adaptation to operational conditions.

Thus, high-intensity, functional, and scenario-based training forms a practice-oriented model for developing cadets' military-applied competencies in accordance with the realities of contemporary warfare.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN PEDAGOGY: THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE, VR/AR AND ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS

*N. Petrova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The current stage of educational development is characterized by intensive digital transformation caused by the introduction of artificial intelligence, autonomous technologies and digital platforms into various spheres of social life. The experience of using intelligent and autonomous systems in complex and risky conditions demonstrates the effectiveness of digital solutions in performing dangerous, routine and resource-intensive tasks. These trends are also indicative for the pedagogical field, where digital technologies are capable of significantly changing the organization of the educational process and improving its quality.

In pedagogy, artificial intelligence is increasingly used to automate assessment, analyze learning achievements, identify individual educational needs and form personalized learning trajectories. Similar to how autonomous systems in other fields take over routine or technically complex tasks, AI in the educational process makes it possible to reduce the workload of teachers and focus their attention on pedagogical interaction, motivation support and the development of students' social and communicative competencies.

Virtual and augmented reality technologies (VR/AR) open new opportunities for creating an interactive learning environment. They provide modeling of real and professionally oriented situations, which contributes to the development of practical skills, critical thinking and active student participation in the learning process. The use of VR/AR also makes it possible to increase learner engagement and ensure deeper assimilation of educational material.

Adaptive learning systems based on the analysis of educational data provide a flexible approach to learning by changing the pace, complexity and format of learning tasks in accordance with individual student characteristics. This contributes to the implementation of the principles of differentiated and inclusive education and increases the effectiveness of the educational process under conditions of heterogeneous levels of learner preparation.

At the same time, the digital transformation of education imposes new requirements on the level of digital competence of teachers and students. Effective use of AI, VR/AR and adaptive systems requires not only technical skills but also pedagogical understanding of the possibilities and limitations of digital technologies, as well as the ability to critically evaluate the results generated by digital tools.

Thus, the further development of artificial intelligence, virtual and augmented reality technologies and adaptive learning systems will contribute to improving the quality of the educational process, forming a personalized learning environment and modernizing pedagogical approaches. The combination of digital innovations with professional pedagogical activity is a key condition for ensuring effective, humanistically oriented and modern education.

References:

1. Lampropoulos, G. (2025). Augmented Reality, Virtual Reality, and Intelligent Tutoring Systems in Education and Training: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 15(6), 3223. <https://doi.org/10.3390/app15063223>.
2. Teaching and learning artificial intelligence: Insights from the literature. *Education and Information Technologies*, 29, 21523–21546. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12679-y>.
3. Kruglyk, V. (2023). Integration of Augmented and Virtual Reality Technologies with Adaptive Learning Systems: Analysis of Conceptual Models. *Educological Discourse*, 43(4), 69–82. <http://dx.doi.org/10.28925/2312-5829.2023.44>.
4. Ulyanina, O. A., & Vikhrova, E. N. (2025). Artificial intelligence technologies, in-person and online learning in higher education: A review of the impact on perceptual features, psychological climate and academic performance. *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*, 22(2), 337–360. <https://doi.org/10.22363/2313-1683-2025-22-2-337-360>.
5. Dong, J., Mohd Rum, S. N., Kasmiran, K. A., Mohd Aris, T. N., & Mohamed, R. (2022). Artificial Intelligence in Adaptive and Intelligent Educational Systems: A Review. *Future Internet*, 14(9), 245. <https://doi.org/10.3390/fi14090245>.
6. Shevchuk, I., Filippova, L., Krasnova, A., & Bazyl, O. (2023). Virtual Pedagogy: Scenarios for Future Learning with VR and AR Technologies. *Futurity Education*. <https://doi.org/10.57125/FED.2023.12.25.06>.

**ORGANIZATIONAL AND PEDAGOGICAL CONDITIONS
FOR THE FORMATION OF PROFESSIONAL COMPETENCE
OF FUTURE MILITARY PSYCHOLOGISTS OF THE AIR FORCE
OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**

O. Huk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The constant increase by the enemy in the number of air attack means and changes in the tactics of their employment lead to growing physical, moral, and psychological strain on the personnel of Air Force units. Under such conditions, the effectiveness of psychological support structures' activities becomes highly important. A key role in this is assigned to unit psychology officers who directly work with the personnel during the execution of assigned combat missions.

Research on the issue of the professional readiness of future officers for professional activity has been conducted by V. Kostrach, N. Mas, V. Osiodlo, T. Plachynda, V. Yahupov and others.

At the same time, the analysis and systematization of scientific sources demonstrate that, despite the significant contribution of scholars to the development of the theory and methodology for forming the professional competence of future military psychologists, there currently exist certain contradictions between the societal demand for highly qualified military psychologists for the Air Force of the Armed Forces of Ukraine and the insufficient scientific and practical basis for training such specialists in higher military educational institutions.

Considering the aforementioned, the theoretical substantiation and experimental verification of the organizational and pedagogical conditions for the formation of the professional competence of future military psychologists of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine are of significant scientific interest and require further research.

**PEDAGOGICAL ASPECTS OF INTEGRATING COMBAT EXPERIENCE
INTO THE SYSTEM OF FUTURE OFFICER TRAINING**

K. Yandola; O. Malieiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern military education is based on the creation of an active-engagement environment where theory is continuously reinforced by practice. The central element of this system is the continuous cycle of studying and implementing combat experience, which facilitates the rapid transformation of battlefield data into training curricula.

At the stage of studying experience, the primary tool is the After Action Review (AAR) methodology, which transforms the analysis of real actions into intensive problem-based learning. Here, the instructor and trainer act not as supervisors, but as moderators of collective research. Their task is to create an environment of psychological trust where cadets-through the critical deconstruction of video materials (UAVs, body cams) and situational data-learn to independently identify patterns of success or causes of failure. This lays the foundation for an officer's reflective thinking.

At the stage of implementing experience, training shifts from the study of static schemes to adaptive modeling. The instructor, as an expert-practitioner, integrates

newly learned tactical techniques directly into practical exercises, placing cadets in situations where old algorithms no longer apply. This compels the future officer to act as an active decision designer, who does not merely consume experience but learns to implement it “here and now,” adapting to new threats and enemy vulnerabilities.

Such an approach allows for the transformation of studying experience from mere theoretical informing into an effective mechanism for shaping adaptive intelligence. The integration of combat cases directly into the educational process ensures unprecedented flexibility within the training system, enabling the service member to always remain one step ahead of the current challenges of modernity.

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL ASPECTS OF DEVELOPING THE COMPETENCIES OF A TRAINING OFFICER IN WAR CONDITIONS

H. Kudriashov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the modern military education system, the role of the course officer is growing significantly, especially in the context of the Russian-Ukrainian war, when the requirements for the professional and psychological resilience of future officers are increasing. The course officer is not only the organizer of cadets' service, but also a mentor and leader in their personal and professional development.

The training of course officers for educational activities is systematic in nature and involves the formation of professional competencies and the development of personal qualities. Key competencies include psychological and pedagogical awareness, communication skills, the ability to motivate, professional training, a practical focus, and an orientation toward modern combat experience and educational technologies.

The personal characteristics of an officer are also important: leadership qualities, moral stability, emotional endurance, responsibility, and empathy. It is the combination of professional and personal components that ensures the effectiveness of educational influence.

The organization of educational work should be based on an individual approach, the creation of a positive moral and psychological climate, and the development of initiative, independence, and critical thinking in cadets. Of particular importance is the formation of value orientation – patriotism, a sense of duty, honor, and responsibility.

STUDYING THE EXPERIENCE OF MEMORY CULTURE FORMATION IN THE MILITARY EDUCATION SYSTEM OF NATO COUNTRIES

T. Mosharenkova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The Importance of studying the experience of memory culture formation in the professional military education system and training of military specialists in NATO countries has several dimensions for Ukraine.

Firstly, this is conditioned by the acute need for complete elimination of markers of the Soviet totalitarian past from public discourse. Secondly, it is the improvement of the quality of education and training of military personnel of the Defense Forces of Ukraine through ensuring continuity between generations of Ukrainian Heroes,

which firmly connects history, culture, and society. The third dimension is the strengthening of international cooperation and ensuring interoperability with military structures of partner countries.

Analysis of the state and development prospects of military education systems in leading countries of the world indicates that the main source of forming the intellectual and spiritual potential of the officer corps is reliance on national culture, traditions, and historical memory. At the center of attention of this process is the development of an officer as a commander, leader, representative of the profession, and citizen of their country, while the structure and content encompass the following areas: leadership theory; organizational culture; language and narrative; ethics; history and theory of wars. At the same time, each country steadfastly preserves its historical and cultural heritage, taking into account the specifics of armed forces functioning and the need for their application in specific conditions.

Implementation of NATO countries' experience into our military education system will provide opportunities to: effectively develop the intellectual and spiritual component of Ukrainian warriors through its focus on understanding the components of national power, interests, and security; be knowledgeable in the sphere of historical policy of our partners; build a common language of expressing memory and gratitude, which is important for implementing the unique mission of servicemembers – service to the country, which presupposes exceptional professional identity, competence, leader character, and spirit.

DEVELOPING PSYCHOLOGICAL QUALITIES THROUGH THE COMBAT ARMY SYSTEM (CArS)

*O. Siianko; O. Shevchenko; A. Hryshko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When units take part in real combat, developing psychological qualities becomes very important. These skills are necessary for successful fighting. They include self-control, decisiveness, self-confidence, and the ability to make decisions in uncertain situations.

Training in the Combat Army System (CArS) gives soldiers a unique set of knowledge and skills. This includes special physical training, hand-to-hand combat, shooting, survival skills, and special tactical and psychological training. All these lessons are based on one main idea and a single psychological basis. This helps the personnel to be much more effective in their military work. Furthermore, this program prepares soldiers to act quickly and correctly in dangerous situations. It also builds a strong team spirit, which is very important for every military unit.

At an advanced level of training, the Combat Army System (CArS) helps to manage a soldier's psychological state during a fight. In particular, it helps to suppress the instinct of self-preservation. It also prepares the soldier to endure strong pain, injuries, or wounds in combat if necessary. Moreover, this training teaches soldiers to stay calm and focus on their task during the heat of battle. As a result, the soldier becomes a disciplined professional who can complete the mission in any environment.

From the very first days, people who train in the Combat Army System (CArS) learn about "combat mindset". They develop skills for constant readiness and learn how to evaluate a situation instantly to find the best solution. The system is designed to create a special way of thinking based on the connection between the mind and the body. This is very important because, in battle, psychological stress grows very quickly. Soldiers have very little or no time to think.

BUILDING PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN FUTURE AIR FORCE OFFICERS DURING PREPARATION FOR HIGH-INTENSITY COMBAT OPERATIONS

L. Petrova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the current context of the Russian-Ukrainian war, training Air Force officers requires not only high technical proficiency but also exceptional psychological fortitude. Cadets' psychological resilience is viewed as the ability to function effectively and maintain mental health under the influence of extreme stressors, from massive missile attacks to operating under time pressure and informational uncertainty. The process of its development must involve integrating stress inoculation into practical training on simulation complexes that reproduce critical real-combat scenarios. Key elements of such training include developing cognitive flexibility, mastering operational self-regulation techniques, and strengthening unit cohesion. A priority task of pedagogical influence is the transformation of stressful experience into a factor of post-traumatic growth, ensuring the high combat readiness of a future officer and their preparedness to perform missions in high-intensity combat zones. A systematic approach to building resilience allows for the minimization of combat psychological trauma risks and guarantees the reliability of the human factor in complex weapon control systems.

PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF TRAINING AVIATION ENGLISH TEACHERS TO WORK WITH CADETS UNDER MARTIAL LAW

K. Misailova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Martial law changes the educational environment of military aviation institutions. Cadets often experience chronic stress, separation from families, and traumatic events that reduce attention, motivation, emotional stability, and communication accuracy. Effective Aviation English teaching therefore requires teachers to combine linguistic competence with psychological and pedagogical readiness.

The study identified key components of teacher preparedness: knowledge of stress reactions and trauma related behavior, supportive communication skills, the ability to create a psychologically safe classroom climate, flexible assessment, and integration of aviation communication tasks with emotional support.

Results show that Aviation English teachers working under martial law achieve better outcomes when using structured communication scenarios, cooperative learning, brief stress regulation practices, and reflective discussions. These methods maintain professional language standards while supporting cadets' concentration and resilience essential for flight safety communication.

The research confirms the effectiveness of interdisciplinary training combining ESP methodology, fundamentals of psychology, and military pedagogy. Teachers with such preparation showed greater instructional stability, improved cadet engagement, and higher accuracy in professional communication tasks. The findings support trauma aware teacher training as a necessary component of Aviation English education under martial law.

PSYCHOLOGICAL AND LEGAL PREPARATION OF MILITARY PERSONNEL FOR THE RISK OF CAPTIVITY IN MODERN WARFARE

*Y. Kotelnyskyi; V. Kudriashova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current context of the Russian-Ukrainian war, there are increasing demands on the psychological and legal training of military personnel, particularly given the risk of capture. The factors of isolation, informational and psychological pressure, and coercion are a serious test of the moral and psychological resilience of personnel and need to be taken into account in military education.

Insufficiently developed skills of self-control, critical thinking, and stress resistance can complicate the behavior of military personnel in difficult conditions and exacerbate negative consequences after discharge. Therefore, training should be based on the development of psychological resilience and knowledge of the Geneva Conventions, which define the rights of prisoners of war.

The combination of psychological, pedagogical, and legal training will contribute to more confident and conscious actions by personnel, reduce the risk of repeated psychological trauma, and help military personnel return to normal life more quickly after discharge. This will increase the overall resilience and effectiveness of the Armed Forces of Ukraine in wartime conditions.

PHYSICAL TRAINING AS A MEANS OF INCREASING FLIGHT PERSONNEL'S RESISTANCE TO HYPOXIA PHENOMENA

*S. Homaniuk; E. Ishchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Due to its active and systematic nature, physical training allows for achieving a significant positive effect on the resistance of flight personnel to hypoxia. Significant results in this regard have been obtained through the organization of training in middle- and long-distance running, cross-country running, forced marches, and swimming, particularly over long distances. All these exercises contribute to an increase in maximal oxygen consumption vital lung capacity, pulmonary ventilation, oxygen utilization in tissues, and the ability to function under oxygen debt, among others. This, in turn, determines the increase in the body's resistance to hypoxic phenomena.

Running exercises of 1, 3, and 5 km for flight personnel are conducted using uniform (steady-state), variable, or repetition methods. The load is primarily kept close to medium intensity (130–150 bpm) and is often lower during uniform running, especially for the 3rd age group and above.

Swimming exercises also contribute to the general strengthening of the respiratory and cardiovascular systems and the improvement of altitude tolerance. During inhalation, a swimmer must overcome the external pressure of the water mass, and partially exhale into the water, which helps strengthen respiratory muscles. Pulmonary ventilation during high-speed swimming reaches 100 l/min or more. Vital capacity in swimmers reaches 6000–7000 cm³, and their chest

circumference increases. The dosage of loads during swimming sessions for flight personnel is determined based on the level of physical fitness and functional state; however, we recommend primarily long-duration and moderate loads.

In all the listed training variants, the goal is not to focus on athletic perfection or achieving particularly high results in cross-country running or swimming, but rather on the general strengthening of the respiratory, cardiovascular, and nervous systems, and the organism as a whole. This is what contributes to the increase in altitude tolerance (resistance to hypoxia).

MODEL OF CROSS-MEDIA JOURNALISM IN THE CONDITIONS OF INFORMATION CONFLICT

O. Bepalko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The current development of Ukraine's information space is characterized by the rapid digitization of the media environment, the dominance of social media platforms, and the intensification of information warfare. In this context, cross-media journalism is gradually transforming from a tool for multiplatform information dissemination into a complex system for managing information flows that shape public consciousness.

Traditional approaches to organizing cross-media journalism focus primarily on the technological convergence of media and the adaptation of content to various distribution channels. At the same time, such approaches do not take into account the cognitive characteristics of the audience, the level of information overload, and the specifics of information perception in the context of hybrid warfare, which reduces the effectiveness of informational influence and increases vulnerability to disinformation.

In this regard, it is appropriate to view cross-media journalism as an adaptive system capable of altering the structure, form, and content of media depending on the behavioral and psychological characteristics of the audience, as well as the parameters of the information environment. This approach involves integrating user behavior analytics, artificial intelligence algorithms, and information security mechanisms into a unified content creation model.

Within this approach, the effectiveness of cross-media journalism should be assessed not only by quantitative reach metrics but also by qualitative characteristics of audience engagement, among which the key factors are engagement levels, trust in information, and the audience's ability to counter disinformation.

The proposed approach reflects a shift from a static model of information dissemination to a dynamic system of cognitively oriented management of information flows. This makes it possible to enhance the effectiveness of communication in the context of information warfare and to foster a more resilient information environment.

Thus, the development of cross-media journalism in Ukraine should be viewed through the lens of implementing adaptive, intellectually driven content creation models that take into account both the technological and cognitive aspects of audience engagement.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ТА ЕВОЛЮЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ПРИСВОЄННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЗВАНЬ У СИСТЕМІ СЛУЖБОВОЇ КАР'ЄРИ В ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

Д.Е. Кільдеров, д.пед.н., проф.

*Науково-методичний центр кадрової політики
Міністерства оборони України*

Присвоєння військових звань є базовим інституційним механізмом функціонування Збройних Сил як ієрархічно організованої соціально-професійної системи. Військове звання слід розглядати не лише як формально-правову ознаку статусу, а як управлінський інструмент у системі людського капіталу, що поєднує правову, організаційну, мотиваційну та кадрово-планувальну функції. Як інституціоналізований індикатор, звання визначає місце військовослужбовця в ієрархії, межі повноважень і відповідальності, а також очікуваний рівень професійної компетентності.

У теорії кадрового менеджменту звання виступає складовою вертикальної кар'єри та виконує роль структурного “каркаса” кадрової системи, забезпечуючи упорядкування добору, просування і розстановки персоналу, а також можливість прогнозування кадрових потреб. Водночас надмірна формалізація звань знижує гнучкість кадрових рішень і може консервувати практики, неузгоджені з динамікою бойової обстановки. Тому актуальною є інтеграція присвоєння звань із системами оцінювання результативності служби, рівня підготовки та управлінської зрілості. У такій логіці звання доцільно трактувати як “кар'єрний маркер”, коли просування відбувається не автоматично за вислугою, а на підставі підтвердженої готовності до складніших управлінських завдань.

Розвиток інституту військових звань у ЗС України має забезпечити баланс правової визначеності та управлінської гнучкості, посилити доказовість і прозорість кадрових рішень та зменшити розрив між званням і реальною професійною готовністю.

ВПЛИВ ПРОФЕСІЙНИХ МОТИВІВ НА СТАНОВЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ - ФАХІВЦІВ З ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПЕРСОНАЛУ

Д.П. Приходько¹; В.Д. Кислий², к.пс.н., доц.

¹Харківська державна академія культури;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

В складних умовах сьогодення формування та впровадження структур психологічної підтримки персоналу (ППП) у ЗС України є суттєвим елементом системи всебічного забезпечення підготовки та застосування наших військ (сил). Тому постає питання про високоякісну підготовку фахівців, які будуть в змозі здійснювати на необхідному рівні формування, підтримання й відновлення психологічної та моральної готовності особового складу для успішного виконання завдань за призначенням.

Психологами доведено, що військові фахівці за наявності стійкого комплексу професійних мотивів краще і швидше закінчують своє професійне становлення та досягають більш якісних показників в практичній діяльності.

У результаті дослідження психологічних особливостей професійної підготовки майбутніх офіцерів структур ППП вдалося з'ясувати і визначити три основні періоди розвитку у них професійних мотивів. Перший – профорієнтація абітурієнтів до професії офіцера ППП, Другий – цілеспрямована психолого-професійна підготовка до майбутньої діяльності під час навчання у ВВНЗ в якості курсанта. Третій – опанування професією під час становлення на первинній посаді у військовій частині.

Аналіз наукових джерел доводить, що найбільш важливими факторами успішного становлення майбутніх офіцерів ППП є усвідомлене ставлення ними до вибору професії та формування й розвиток у них професійних мотивів і якостей під час навчання у ВВНЗ, що потребує цілеспрямованих та чітко визначених психолого-педагогічних і виховних впливів з боку викладачів в тісній взаємодії з командирами курсантських підрозділів.

ДО ПИТАННЯ ПРОГНОСТИЧНОСТІ ТА ВАЛІДНОСТІ СИСТЕМИ ПРОФЕСІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО ВІДБОРУ

М.Д. Кузьменко, к.психол.н.

*Науково-методичний центр кадрової політики
Міністерства оборони України*

В основу професійно-психологічного відбору (ППВ) закладаються ключові погляди диференціальної психології та психометрики. Військово-професійна діяльність висуває особливі вимоги до індивідуально-психологічних та когнітивних якостей кандидатів на посади. Це пов'язано із великою ціною помилки у випадку ненадійних, помилкових дій та існування загрози для власного життя. Ще однією причиною необхідності проведення ППВ є та обставина, коли не кожна людина здатна успішно оволодіти програмою підготовки (навчання) у визначений термін.

Під час проведення ППВ оцінюються індивідуальні психічні якості кандидатів на навчання з метою виявлення відповідності психічних властивостей та психофізіологічних характеристик кандидата до вимог освітньо-кваліфікаційної характеристики з відповідної військової спеціальності, прогнозування професійної придатності до успішного навчання, а в подальшому – до проходження військової служби у військах (силах).

Таким чином, зовнішнім критерієм валідазації системи ППВ стає успішність навчання та успішність проходження військової служби. Окремої уваги потребує якісна формалізація вимог відповідної військової спеціальності та відповідних їм якостей кандидата. Пропонується здійснити аналітичне дослідження прогностичності результатів ППВ у порівнянні із успішністю навчання (формальне оцінювання та експертна оцінка) та успішністю професійної діяльності.

ПРОТИДІЯ ПСЕВДОІСТОРИЧНИМ НАРАТИВАМ І ФАЛЬСИФІКАЦІЯМ ІСТОРІЇ УКРАЇНИ

Л.І. Кучерук

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України

Вивчення історії України перетворює знання про минуле на потужну зброю, що формує професійного, вмотивованого захисника, який розуміє цінність незалежності держави та спадкоємність військових традицій. Історія є тим, що об'єднує нас у націю у власній країні.

Російська пропаганда використовує історичні маніпуляції як зброю, спрямовану на знищення суверенітету України. Історичні фальсифікації та спотворення – це було та є частиною інформаційної війни російської пропаганди проти України та українців з перших днів нашої незалежності.

Свою потужну пропагандистську кампанію російська федерація скеровує як на внутрішнього споживача (всередині країни), так і безпосередньо на населення України та багатьох інших країн. Це все є серйозними викликами для національних інтересів України та українського суспільства.

Саме тому протидія псевдоісторичним наративам і фальсифікаціям історії України необхідна для захисту національної безпеки, історичної справедливості, збереження суверенітету та протидії російській пропаганді, яка використовує викривлені факти для виправдання війни та заперечення права України на існування. Це питання безпеки, демократії та формування критичного мислення для захисту від маніпуляцій.

Для протидії псевдоісторичним наративам і фальсифікаціям історії України запропоновано розробити на державному рівні комплекс заходів щодо популяризації знань про історію України, наративів української історії проти російської пропаганди та дезінформації та протидії поширенню в інформаційному просторі антиукраїнських псевдоісторичних наративів і фальсифікаціям історії України.

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПСИХОЛОГІЧНОГО СУПРОВОДУ ПЕРСОНАЛУ БРИГАДИ ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

А.А. Тюренков

Командування Повітряних Сил Збройних Сил України

Повномасштабна збройна агресія російської федерації проти України зумовила суттєву зміну характеру та умов бойових дій, що супроводжується зростанням психоемоційного навантаження на особовий склад Збройних Сил України. За цих умов психологічний чинник набуває визначального значення, оскільки саме від рівня психологічної готовності та стійкості військовослужбовців залежить ефективність виконання бойових завдань і збереження боєздатності підрозділів.

Особливе місце в системі оборони держави займають бригади тактичної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України, які виконують завдання з бойового застосування авіації, протиповітряного прикриття важливих

інфраструктурних об'єктів, нанесення авіаційних ударів та забезпечення дій інших складових Сил оборони. Специфіка діяльності таких бригад полягає у складній багатокомпонентній структурі та наявності різних категорій персоналу, діяльність яких відбувається в неоднакових умовах службово-бойової діяльності.

Льотний склад зазнає впливу високого психофізіологічного навантаження, пов'язаного з інтенсивним виконанням бойових польотів, дефіцитом часу на прийняття рішень і прямою загрозою життю. Інженерно-технічний персонал несе підвищену відповідальність за технічну справність авіаційної техніки в умовах жорстких часових обмежень і бойової обстановки. Підрозділи охорони, зв'язку та аеродромно-технічного забезпечення виконують завдання в умовах загрози ракетно-дронових ударів, тривалого чергування та монотонного психоемоційного напруження.

Чинні нормативно-правові документи Збройних Сил України визначають загальні засади психологічної підтримки персоналу, проте мають переважно загальновійськовий характер і не враховують у повному обсязі специфіку діяльності бригад тактичної авіації. Це зумовлює потребу у створенні цілісної, науково обгрунтованої системи психологічного супроводу персоналу Повітряних Сил Збройних Сил України з урахуванням функціональних і психологічних відмінностей різних категорій особового складу.

Отже, організація психологічного супроводу персоналу бригад тактичної авіації повинна розглядатися як безперервний, комплексний процес, що охоплює психологічну підготовку, підтримку під час виконання завдань, психологічну допомогу та відновлення військовослужбовців, а також активну роль командирів у забезпеченні належного морально-психологічного стану особового складу.

THE ROLE OF MILITARY EDUCATION IN CONTEMPORARY COMBAT CONDITIONS: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS

M.A. Mammadzada, Ph.D.

Military Scientific Research Institute, Baku, Azerbaijan

The security environment of the 21st century has acquired qualitatively new characteristics compared to previous periods. As a result of globalization, digitalization, the rapid development of information technologies, and the intensification of geopolitical competition, the nature of warfare has undergone transformation, with traditional conventional confrontations increasingly being replaced by multi-dimensional and hybrid conflicts. Contemporary combat operations are no longer confined solely to the physical domain; the cyber domain, the information environment, and the cognitive sphere have become integral components of modern warfare. In this context, although the development of technical means and weapon systems plays an important role, decisive superiority is determined by the human factor-particularly the level of preparedness of a highly qualified officer corps possessing analytical thinking skills and psychological resilience.

An important feature of the modern battlefield is the rapid integration of technologies and the expansion of network-centric operations. Contemporary armed

forces employ real-time information exchange, unmanned aerial vehicles, satellite reconnaissance systems, and artificial intelligence-based decision-support mechanisms. While robotic and unmanned systems alter the nature of combat operations by reducing direct human participation, they simultaneously render decision-making more complex and ethically sensitive [2–5]. In this context, information superiority has become as significant a factor as traditional firepower.

The concept of network-centric operations occupies a central place in the functioning of modern armed forces. According to this concept, all elements on the battlefield-reconnaissance assets, command-and-control systems, and fire-support units-are interconnected through a unified information network. This connectivity increases both the speed and accuracy of decision-making. Researchers note that the ability to manage information flows can sometimes be more decisive than weapons superiority [1]. Consequently, military education programs aim to develop officers' understanding of information system logic, data analysis skills, and proficiency in digital platforms.

Another important dimension of technological development in modern warfare is the extensive use of unmanned systems and robotic platforms. UAVs, ground robotic systems, and autonomous reconnaissance assets have become integral components of contemporary operations. The effective employment of these systems requires not only technical competence but also the ability to interpret data, analyze sensor inputs, and conduct remote control. Researchers emphasize that robotic warfare reduces direct human presence while simultaneously making decision-making more complex and ethically sensitive [6]. Therefore, military education must develop ethical judgment alongside technical knowledge.

Simulation and virtual reality technologies have introduced revolutionary changes in military training. Simulated environments enable the modeling of real combat conditions without risk and allow multiple decision-making scenarios to be tested. Research in educational psychology demonstrates that situational and interactive learning models enhance long-term knowledge retention [7]. Accordingly, modern military academies increasingly utilize virtual laboratories and computer-based command exercises.

Cybersecurity and information protection constitute another essential component of technological development. Cyberattacks have become a parallel element of modern military operations. NATO documents recognize cyberspace as a legitimate operational domain and emphasize that training in this field must be an integral part of military education [8]. This requires officers to be prepared not merely as users of systems but as specialists who understand their security architecture.

Military education does not serve solely a tactical training function; it also represents one of the strategic pillars of national security. Under contemporary conditions, the effectiveness of armed forces depends not only on technical modernization but also on the formation of a strategically minded military elite.

Thus, military education is a principal institution that forms the intellectual architecture of national security, establishes the scientific basis of defense policy, and cultivates the security elite. It functions not merely as a means of combat preparation but as a resource ensuring long-term strategic resilience.

In conclusion, contemporary combat conditions have transformed military education from a tool of tactical preparation into a strategic resource. By integrating knowledge, skills, and values, military education strengthens officers' adaptability

and leadership capabilities, thereby ensuring both combat effectiveness and the long-term resilience of national security. In the 21st century, military education constitutes a central component of tactical success, strategic sustainability, and national security policy.

References

1. Əmirov Z., Məmmədzadə M. Müasir informasiya cəmiyyətinin formalaşması ilə cəmiyyətdə yaranan informasiya təhlükəsizliyi problemləri // Elmi Tədqiqat Beynəlxalq Elmi Jurnal. – 2025. – Vol. 5, № 2. – S. 28–34.
2. Maharramov R.R., Hashimov E.G. Prospects for the creation of automatic control systems to counter UAVs in air defense systems. In *Problems of informatization. Proceedings of 12-th International Scientific and Technical Conference*. 2024. Vol. 3. - p. 124-125.
3. Maharramov, R. et al. Application of C4ISR systems in military and security operations. *Матеріали конференцій МЦНД*. 2025. 125–134. <https://doi.org/10.62731/mcnd-15.08.2025.004>.
4. Hashimov E.G. et al. Targeting a rocket at a moving object using unmanned aerial vehicals (UAVs) // *Journal of defense resources management*. – 2023. – Т. 14. – № 2.
5. Hashimov E. G., Maharramov R. R. Methods of effective detection of unmanned aerial vehicles. In *Проблеми інформатизації. Тези доповідей*. – Т. 9. – С. 18-19.
6. Mammadzada M. The experience of using innovative technologies in the training process of military pedagogical personnel // *Social Development and Security*. 2025. 6(15). 112–118.
7. NATO. NATO Education and Training Directive 075-007. – Brussels: NATO Standardization Office, 2020.
8. Piriyeв H. K. et al. Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions // *Military knowledge*, (4). – 2014. – С. 3-9.

ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПІДГОТОВЦІ ОПЕРАТИВНОГО РІВНЯ ПЕРСОНАЛУ ДЛЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ

*П.В. Опенько, к.т.н., ст.д.; М.Ю. Миронюк, к.військ.н., ст.д.;
Ю.А. Дзюбенко, к.військ.н., доц.; В.О. Кошка
Національний університет оборони України*

Досвід повномасштабної російсько-української війни засвідчив трансформацію характеру застосування Повітряних Сил, що зумовлює необхідність перегляду підходів до підготовки офіцерів оперативного рівня. Особливого значення набуває здатність до роботи з великими масивами інформації, міждоменна координація та прийняття рішень в умовах невизначеності.

Перспективним напрямом удосконалення системи військової освіти є інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) в освітній процес як інструменту аналітичної підтримки.

Використання агентно-орієнтованого моделювання та абстрактних сценарних симуляцій без прив'язки до конкретних тактико-технічних характеристик дає можливість досліджувати варіанти дій у середовищі обмеженого домінування, відпрацьовувати концепції distributed air operations та оцінювати стійкість систем управління.

Окремим напрямом є застосування систем підтримки прийняття рішень у штабних навчальних іграх та використання когнітивного моделювання взаємодії “людина – машина”.

Передбачається, що інтеграція ШІ у підготовку оперативного рівня персоналу Повітряних Сил підвищить адаптивність офіцерів до складного багатодоменого середовища, розвине їх аналітичні компетентності та забезпечить відповідність освітнього процесу сучасним тенденціям розвитку технологій захисту повітряного простору.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОТИВАЦІЙНОГО СТАВЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ДО ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО- УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

*В.В. Поливанюк, д.філос.; О.А. Романюк; К.В. Кішлалі; Р.Г. Шостак, д.філос.
Національний університет оборони України*

В умовах російсько-української війни роль Збройних Сил України набуває визначального значення для збереження суверенітету та територіальної цілісності держави. Сучасні форми застосування Збройних Сил України висувають якісно нові, підвищені вимоги до рівня професійної компетентності офіцерського складу, від яких безпосередньо залежить, як організація так і якість виконання завдання. Успішність формування професійної компетентності визначається не лише здібностями курсантів, а передусім силою мотивації та глибоким усвідомленням цінності власної професії для обороноздатності країни. Висока позитивна мотивація здатна компенсувати недоліки здібностей, тоді як її відсутність унеможливує досягнення значних успіхів у навчанні. Це актуалізує проблему цілеспрямованого мотивування курсантів як провідної функції науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів (ВВНЗ) в екстремальних умовах сьогодення.

Теоретичний аналіз наукових джерел (праці Л. Божович, А. Маркової, А. Реана, С. Сисоевої), синтез та узагальнення педагогічного досвіду щодо методів стимулювання пізнавальної активності та мотиваційного забезпечення навчального процесу у ВВНЗ з урахуванням сучасного безпекового середовища.

Мотивування розглядається як динамічний процес управління науково-педагогічним працівником поведінковою активністю курсанта, що спонукає його до опанування професією, яка має критичне значення для боєздатності збройних сил. Виокремлено ключові психологічні механізми розвитку мотивації, які повинен враховувати викладач: мотиваційне переключення (перенесення наявного інтересу, зокрема пов’язаного з досвідом бойових дій, на новий професійний зміст), мотиваційне зумовлення (надання емоційного значення навчальному матеріалу через призму виконання реальних бойових завдань) та мотиваційна фіксація (закріплення позитивного ставлення через усвідомлення власного внеску в перемогу).

Встановлено, що сила мотиву залежить від низки чинників, які в умовах війни набувають особливого забарвлення: професійної спрямованості навчання (безпосередній зв’язок із виживанням та ефективністю підрозділу), усвідомлення мети (підготовка до реальних, а не гіпотетичних бойових дій), змісту матеріалу (аналіз досвіду підготовки і застосування, тактичної медицини, психологічної стійкості та інш.), стилю педагогічної діяльності.

Особливу роль відіграє система оцінювання та зворотного зв'язку. Схвалення, похвала (позитивне підкріплення) та конструктивний осуд стимулюють активність, тоді як відсутність уваги та ігнорування результатів курсанта призводять до демотивації, що є неприпустимим, коли йдеться про підготовку майбутніх офіцерів. Важливим є диференційований підхід та регулярність оцінювання, що дозволяє об'єктивно відстежувати прогрес, як курсанту так і викладачу.

Доведено, що процес формування професійної компетентності вимагає поетапного мотиваційного супроводу з урахуванням воєнного контексту:

1. Початковий етап – викликання початкової мотивації через актуалізацію прикладів героїзму, орієнтацію на реальні потреби фронту та створення ситуацій усвідомлення відповідальності за життя підлеглих.

2. Етап реалізації – підкріплення та посилення мотивації шляхом моделювання бойових ситуацій, стимулювання інтересу до тактичних аспектів професійної підготовки та колективної взаємодії в екстремальних умовах.

3. Завершальний етап – створення мотивації завершення (рефлексія досягнень через призму готовності до виконання бойових завдань) та перспективи (формування установки на безперервний професійний розвиток як запоруку виживання та ефективності в умовах тривалої війни).

Серед ефективних методів розвитку пізнавального інтересу виділено: метод формування готовності сприйняття матеріалу (з використанням даних із зони бойових дій), метод стимулювання цікавим змістом (аналіз тактичних помилок та успішних операцій), вибудовування ігрового сюжету (воєнні ігри), метод відкриття (дослідницька робота з вивчення ефективності різних підходів в умовах війни) та метод створення ситуацій вибору (моделювання альтернативних рішень у бойовій обстановці). Успішність їх застосування залежить від створення відповідних психологічних та педагогічних умов.

Забезпечення мотиваційного ставлення майбутніх офіцерів є критично важливою педагогічною умовою формування їхньої професійної компетентності в умовах російсько-української війни. Це вимагає від науково-педагогічних працівників глибокого розуміння психологічних механізмів мотивації, адаптованих до воєнного часу, та володіння широким арсеналом методів її стимулювання.

ЕКЗОГЕННІ ПСИХОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЯЛЬНОСТІ БОЙОВИХ ОБСЛУГ ЗРК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗС УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

А.Ю. Філіпський¹; І.Ю. Салій²

¹Національний університет оборони України;

²Військова частина А3074

Сучасний досвід російсько-української війни демонструє, що зенітні ракетні війська Повітряних Сил ЗС України функціонують в умовах небаченого раніше технологічного та психологічного тиску. У цих умовах бойова обслуга зенітного ракетного комплексу (далі – ЗРК) виступає як складна антропотехнічна система, де успіх операції залежить від здатності людини ефективно функціонувати в межах жорстких зовнішніх параметрів.

Однією з визначальних умов є опосередкованість діяльності. Оператор ЗРК взаємодіє з інформаційною моделлю цілі. Свідомість оператора працює в стані

безперервного перекодування цифрових символів та графічних відміток в цілісний образ бою. В умовах роботи масованих повітряних атак це створює критичне когнітивне навантаження, що вимагає граничної концентрації уваги та високої швидкості мислення.

Висока ергономічність і досконалість сучасних графічних інтерфейсів породжує небезпеку сприйняття реального бою як комп'ютерної симуляції. Цей феномен "віртуальної відстороненості" створює ілюзію нереальності подій через відсутність прямих ознак небезпеки (звуків вибухів, запахів, фізичної вібрації).

Найбільш критичним наслідком віртуалізації є ризик помилкової ідентифікації або нехтування заходами безпеки щодо мирного населення, яке знаходиться під захистом ЗС України. Моральна відповідальність оператора ЗРК є значно вищою, ніж у гравця в симуляторі, оскільки "рестарту" в бойових умовах не існує.

Оператор ЗРК повинен володіти внутрішнім етичним фільтром, який дозволяє долати "ефект відстороненості". Усвідомлення того, що кожне натискання кнопки має незворотні наслідки для життя співвітчизників, є потужним внутрішнім стресором, який водночас виступає запобіжником проти професійної байдужості.

На психологічний стан обслуги суттєво впливають і параметри техніки. Мобільність комплексу (час на згортання та зміну позиції) безпосередньо корелює з рівнем тривожності. Робота в режимі випромінювання робить бойову обслугу ЗРК пріоритетною мішенню, що формує стійкий стрес очікування удару у відповідь.

Зовнішні умови сучасної війни задають граничні межі навантаження на фахівців ЗРВ. Проте аналіз екзогенних чинників доводить, що сама по собі техніка не гарантує результату. Успішність виконання завдання залежить від того, як ці зовнішні умови проходять через призму внутрішніх станів людини.

МОДЕЛЮВАННЯ БОЙОВИХ СИТУАЦІЙ ЯК ЗАСІБ ПРОФЕСІЙНОГО НАВЧАННЯ

О.В. Білаш, к.е.н., доц.; Т.Я. Глова, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Одним із найбільш ефективних інструментів сучасної військової освіти є моделювання бойових ситуацій – створення керованих умов, максимально наближених до реальних бойових дій, з можливістю аналізу, корекції та повторення дій. Моделювання – це метод пізнання та навчання, що передбачає створення умовного відтворення реального об'єкта, процесу чи явища з метою його дослідження або відпрацювання практичних дій.

У військовій підготовці моделювання виконує такі функції: навчальну; тренувальну; аналітичну; прогностичну; адаптаційну. Моделювання дозволяє поєднати теоретичні знання з практичною діяльністю в безпечному та контрольованому середовищі. У системі професійного навчання доцільно виділяти такі види моделювання: тактичне моделювання; комп'ютерне (цифрове) моделювання; імітаційне моделювання; психолого-поведінкове моделювання. Ефективність моделювання залежить від дотримання таких принципів: реалістичність, варіативність, динамічність, інтерактивність, аналітичність.

Цифровізація військової освіти відкриває широкі можливості для вдосконалення моделювання бойових ситуацій: Моделювання бойових ситуацій сприяє формуванню: здатності до швидкого прийняття рішень; навичок командної взаємодії; критичного та системного мислення; стійкості до стресових факторів; умінь працювати з цифровими системами управління.

Отже, моделювання бойових ситуацій є ефективним засобом професійного навчання військових фахівців. Воно забезпечує інтеграцію теоретичних знань із практичною діяльністю, формує здатність діяти в умовах невизначеності та інформаційної складності.

КОМПЕТЕНТІСНИЙ ПІДХІД У ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ

Л.Д. Величко, к.ф.-м.н., доц.; О.В. Білаш, к.е.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Компетентнісний підхід передбачає орієнтацію освітнього процесу на формування інтегрованих результатів навчання – компетентностей, що поєднують знання, уміння, навички, цінності та досвід діяльності. Основними принципами компетентнісного підходу є: практикоорієнтованість; інтегративність; міждисциплінарність; результативність; адаптивність до змін середовища.

На основі аналізу сучасних вимог до офіцерського складу доцільно виділити такі групи компетентностей: професійно-бойові компетентності; управлінські компетентності; цифрові компетентності; психологічні компетентності; правові та етичні компетентності. Компетентнісний підхід дозволяє оперативного оновлювати зміст підготовки відповідно до змін на полі бою.

Ефективність компетентнісної моделі значною мірою залежить від використання сучасних освітніх технологій: цифрові симулятори бойових дій; віртуальна та доповнена реальність; імітаційне моделювання; кейс-метод; проблемно-орієнтоване навчання; використання аналітичних платформ та систем підтримки прийняття рішень. Важливим є впровадження адаптивних освітніх траєкторій та модульної структури програм.

У межах компетентнісного підходу змінюється система оцінювання. Вона повинна включати: ситуаційні завдання; моделювання бойових сценаріїв; портфоліо професійних досягнень; комплексну атестацію на основі реальних кейсів. Оцінювання має бути спрямоване не лише на перевірку знань, а й на вимірювання здатності діяти.

Отже, компетентнісний підхід є стратегічно необхідним напрямом модернізації військової освіти України. Його реалізація забезпечує формування військового професіонала нового типу – лідера, аналітика, управлінця та фахівця з цифрових технологій.

ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ В УМОВАХ ХРОНІЧНОГО СТРЕСУ

Л.Р. Кучер, к.еко.н., доц.; Н.Р. Тихоцька

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Ми живемо в особливий час – час болю, який затаївся десь глибоко і проривається під гуркіт вибухів, а кожна втрата випробовує серце на міцність, закарбовує вогнем, втомою і страхом. Та водночас це час правди. Час, коли проявляється справжня сила – не в зброї, а в здатності залишатися людьми.

Будь-яка війна, російсько-українська не виняток, формує певні розуміння та розвінчує міфи: “сильні не потребують допомоги, час усе вилікує”. Ні, час нічого не лікує, а лише накопичує стресові ситуації, які, залишаючись непропрацьованими, змінюють свідомість, набувають хронічного характеру. Якщо рану не обробити, вона може інфікуватися. Так само і з психологічною травмою: без уваги та підтримки вона не зникає – вона трансформується в постравматичний стрес. Психологічна реабілітація для військових – це не слабкість і не розкіш. Це необхідний етап повернення до повноцінного життя після досвіду, який виходить за межі звичайного людського переживання. Своєчасна допомога знижує ризик залежностей, насильницької поведінки, соціальної ізоляції, саморуйнівних думок і дій. Психологічна реабілітація допомагає безпечно “переключитися” з бойового режиму, навчитися керувати тригерами, відновити близькі стосунки, знайти нові життєві сенси.

Час, що минає крізь нас – це час незламності, що “творить” нас іншими: глибшими, сильнішими, живими.

РОЛЬ МАТЕМАТИЧНОЇ ЛОГІКИ У ФОРМУВАННІ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ КУРСАНТІВ ЗА УМОВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВІЙНИ

Х.І. Ліщинська, к.т.н., доц.; М.Г. Грубель, д.т.н., проф.;

Н.Б. Сокульська, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасна російсько-українська війна характеризується значним інформаційно-психологічним тиском на військовослужбовців. За таких умов особливої ваги набуває здатність офіцера критично оцінювати інформацію, виявляти маніпуляції та ухвалювати рішення на основі перевірених даних. У цьому контексті дисципліни “Вища математика” та “Основи критичного мислення” мають значний взаємний потенціал.

Важливим інструментом формування стійкості до інформативних викликів є математична логіка. Зокрема, вивчення теми “Логіка висловлювань” дає змогу формалізувати повідомлення та перевіряти їх на істинність. Доцільним є проведення бінарних занять (математика + критичне мислення), під час яких проводився б контент-аналіз ворожих пропагандистських матеріалів. Наприклад, курсантам пропонується твердження російських ЗМІ: “Якщо Україна отримає далекобійну зброю, то війна затягнеться, тому Захід не повинен її надавати”. Завдання курсанта: – виділити логічну структуру висловлювання: $P \rightarrow Q$ (P – отримання зброї, Q – затягування війни), – використовуючи таблиці істинності, проаналізувати приховані імплікації, – застосовуючи метод “від супротивного”, довести, що саме відсутність зброї є чинником затягування війни, а не навпаки. Крім того, елементи теорії ймовірностей використовуються для аналізу когнітивних викривлень. Курсанти вчаться відрізняти кореляцію від причинності при аналізі зведень з фронту.

Таким чином, інтеграція математичних методів у курс критичного мислення формує у майбутніх офіцерів стійкість до ПІСО та здатність аргументовано доводити безпідставність маніпуляцій, що є запорукою психологічної стійкості.

ТЕХНОЛОГІЯ MIND MAP ЯК ПЕДАГОГІЧНИЙ ЗАСІБ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ

О.М. Стаднічук, к.х.н.; Р.І. Процюк

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Необхідність швидкого засвоєння великого обсягу інформації, інтеграція різних дисциплін (від тактичних, технічних до психолого-правових), вплив стресових факторів на процес навчання формують нові вимоги до освітнього процесу загалом та підготовки військовослужбовців зокрема. Традиційні методи не завжди відповідають цим викликам, що ускладнює формування у курсантів критичного мислення та здатності оперативно приймати рішення.

Одним з ефективних інструментів навчання є технологія *mind map*, започаткована британським психологом Тоні Б'юзоном як метод візуалізації мислення. Вона дозволяє структурувати складний матеріал, знижує когнітивне навантаження та забезпечує цілісність бачення теми. Сучасні дослідження підкреслюють, що використання *mind map* сприяє розвитку командної взаємодії, чіткої комунікації та колективного аналізу ситуацій, а також формує навички планування й організації, необхідні для моделювання бойових сценаріїв та прогнозування їхніх наслідків. Так, при вивченні питань з планування та організації переправ через водні перешкоди курсантам пропонується карта з гілками "тип переправи", "етапи виконання", "обхідні маршрути", "матеріали і техніка", що дозволяє краще засвоїти теоретичний матеріал, усвідомити можливі труднощі при прийнятті рішень та виконанні завдань.

Опанувати технологію *mind map* можна за допомогою різних онлайн-платформ (MindOnMap, MindMap AI тощо).

Технологія *mind map* є ефективним педагогічним засобом, що сприяє формуванню психологічної стійкості, системного мислення та готовності до дій у складних і непередбачуваних ситуаціях.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОГНІТИВНОЇ СТІЙКОСТІ ОПЕРАТОРІВ СИСТЕМ ППО В УМОВАХ ВИСОКОІНТЕНСИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Р.М. Мельник

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Ефективність захисту повітряного простору безпосередньо залежить від здатності фахівця зберігати концентрацію уваги під час тривалого бойового чергування. Процес підготовки курсантів базується на інтеграції стрес-факторів у тренажерні комплекси, що дозволяє моделювати реальні умови бойової обстановки. Використання технік біологічного зворотного зв'язку під час навчання сприяє формуванню навичок саморегуляції та знижує ризик виникнення помилок, зумовлених втомою.

Особлива увага приділяється розвитку селективності уваги в умовах надмірного інформаційного потоку та застосування ворогом засобів імітації хибних цілей. Впровадження когнітивних тренажерів дозволяє оператору ефективно пріоритетизувати загрози та приймати рішення в умовах критичного дефіциту часу. Окремим аспектом виступає методика швидкого когнітивного відновлення (декомпресії) після завершення інтенсивної бойової роботи, що запобігає професійному вигоранню особового складу.

Впровадження алгоритмів психологічного відновлення безпосередньо на бойових позиціях забезпечує підтримання високого рівня боєздатності підрозділів. Система професійної підготовки фахівців Повітряних Сил орієнтована на розвиток критичного мислення та швидкості реакції в умовах дефіциту часу. Такий підхід гарантує стабільність роботи психоемоційного стану офіцера під час відбиття масованих ракетних атак.

ПРОБЛЕМИ ОБМЕЖЕНЬ ПРАВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Л.Г. Ніколайчук, к.т.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сьогодні, в умовах війни дуже важливим є уточнення правових аспектів прав людини. Тому введено обмеження передбачені режимом воєнного стану: посилення охорони об'єктів державного значення, критичної інфраструктури; трудовий обов'язок для працездатних осіб, які не залучені до роботи в оборонній галузі та сфері забезпечення; використання потужностей та трудових ресурсів підприємств, установ та організацій для потреб оборони; примусове відчуження майна, що перебуває у приватній чи комунальній власності; комендантська година; особливий режим в'їзду та виїзду; обмеження свободи пересування громадян та транспорту; перевірка документів у громадян, огляд автомобілів, багажу та вантажів, службових приміщень та житла; заборона проведення зборів, мітингів, масових заходів; можлива заборона діяльності політичних партій чи організацій, спрямована на ліквідацію незалежності України; заборона на торгівлю зброєю, сильнодійними хімічними та отруйними речовинами, алкоголем; заборона громадянам, які перебувають на військовому чи спеціальному обліку змінювати місце проживання без дозволу; встановлення військово-квартирної повинності; нормоване забезпечення населення основними продовольчими та непродовольчими товарами.

Таким чином, потрібно зважати на введені нашим законодавством обмеження прав під час війни, виконувати їх як правомірні громадяни та відслідковувати зміни, що відбуваються в цих правових аспектах.

ПСИХОЛОГІЯ ЛІДЕРСТВА У БОЙОВИХ ПІДРОЗДІЛАХ

М.І. Сорокати́й, к.ф.-м.н., доц.; О.В. Білаш, к.е.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Психологія лідерства у військовій сфері поєднує знання з військової психології, соціальної психології, теорії управління та педагогіки. У психологічній науці існують різні підходи до розуміння лідерства: теорія рис; поведінкові теорії; ситуаційний підхід; трансформаційне лідерство. У контексті бойових дій найбільш релевантними є ситуаційний та трансформаційний підходи. Ситуаційна теорія підкреслює необхідність адаптації стилю керівництва до конкретних умов бою. Трансформаційне лідерство передбачає здатність командира надихати підлеглих, формувати спільну мету та підтримувати високий рівень мотивації навіть у критичних обставинах.

Згідно з концепціями, що застосовуються в арміях країн НАТО, лідерство базується на трьох складових: компетентність, характер та присутність. Такий підхід орієнтує командира не лише на професійну підготовку, а й на розвиток моральних якостей. До психологічних якостей ефективного бойового лідера відносять: емоційну стійкість, відповідальність і моральний авторитет, рішучість і швидкість прийняття рішень, комунікативну компетентність, емпатію та підтримку. Формування лідерських якостей має бути системним і включати: психологічні тренінги; моделювання кризових ситуацій; розвиток навичок прийняття рішень; тренування стресостійкості; навчання основам комунікативної психології.

Отже, психологія лідерства у бойових підрозділах є визначальним чинником ефективності виконання бойових завдань. Командир виступає не лише організатором бойових дій, а й психологічним центром підрозділу. Ефективне лідерство базується на поєднанні професійної компетентності, морального авторитету, емоційної стійкості та здатності надихати підлеглих.

ТЕХНОЛОГІЇ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ЯК ДЕТЕРМІНАНТА ЕФЕКТИВНОГО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМНИХ СИТУАЦІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Ю.О. Фтемов¹, к.т.н., с.н.с.; Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.;

Н.М. Гузик¹, к.ф.-м.н., доц.; А.П. Сеник², к.ф.-м.н., доц.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний університет "Львівська політехніка"

Сучасний освітній процес характеризується ускладненням змісту навчального матеріалу та зростанням інформаційного навантаження, що закономірно породжує виникнення проблемних ситуацій, які потребують ефективного вирішення. У цьому контексті технології критичного мислення набувають особливого значення як детермінанта, що забезпечує здатність суб'єктів освітньої діяльності до аналізу, синтезу та оцінки інформації з метою прийняття обґрунтованих рішень. Критичне мислення передбачає не просто засвоєння готових знань, а формування вміння ставити запитання, виявляти латентності, розпізнавати логічні суперечності та відокремлювати факти від їх інтерпретацій.

Імплементація технологій критичного мислення в освітню практику створює підґрунтя для переходу від репродуктивної моделі навчання до продуктивно-діяльної. Використання таких методів, як проблемний виклад, кейс-аналіз, дискусії та рефлексивні практики, дозволяє здобувачам освіти не лише ідентифікувати сутність проблемної ситуації, але й генерувати альтернативні шляхи її розв'язання. Це сприяє розвитку когнітивної гнучкості, здатності до самостійного опрацювання та осмислення інформації, а також відповідальності за ухвалені рішення. Отже, системне застосування технологій критичного мислення виступає необхідною умовою підготовки компетентного фахівця, здатного ефективно діяти в умовах невизначеності та вирішувати складні професійні завдання, що є відповідіає основним завданням сучасної системи освіти.

НЕРІВНІ СТАРТОВІ УМОВИ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ЯК ВИКЛИК ВІЙСЬКОВІЙ ОСВІТІ

І.В. Перемибіда

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Існує значна кількість соціальних проблем у підготовці військовослужбовців в умовах російсько-Української війни, однією з яких є соціальна нерівність та різний рівень підготовки осіб, які навчаються. У межах навчального процесу одночасно перебувають військовослужбовці з різним життєвим досвідом, освітою, віком і попереднім військовим досвідом, що формує нерівні умови для засвоєння навчального матеріалу.

Військовослужбовці опиняються в нерівних умовах для засвоєння програми підготовки. У результаті частина особового складу не встигає засвоювати навчальний матеріал, що негативно впливає на мотивацію до навчання.

Різні вікові категорії та життєвий досвід осіб, які навчаються, проявляються у відмінностях фізичної витривалості, швидкості адаптації, а також у конфліктах між “цивільним” і військовим типом мисленням. Це, у свою чергу, призводить до додаткового психологічного навантаження у військовослужбовців старшого віку.

У навчальних групах, як правило, одночасно перебувають військові з реальним бойовим досвідом та ті, хто немає такого досвіду. Це створює ризик знецінення навчальних програм як “відірваних від реальності”, а також формування напруженої обстановки між “досвідченими” та “недосвідченими”.

З метою підвищення ефективності навчального процесу доцільно формувати навчальні групи з урахуванням рівня підготовки, запроваджувати диференційовані програми підготовки та вивчати і впроваджувати бойовий досвід у зміст навчальних програм.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ВОДІЇВ ЯК СКЛADOVA ФОРМУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПРОФЕСІОНАЛІВ В УМОВАХ ВІЙНИ

А.О. Корєхов, к.п.н.; Н.О. Вишневська

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Повномасштабна збройна агресія Російська Федерація проти України зумовила необхідність докорінного переосмислення системи підготовки військових фахівців.

Підготовка військового водія повинна включати не лише формування професійних умінь керування транспортом, а й розвиток психологічної готовності до діяльності в екстремальних умовах.

Доцільним є впровадження елементів тренінгових технологій, моделювання кризових ситуацій, використання симуляційних програм і тактичних сценаріїв, максимально наближених до реальних умов бойових дій. Компетентнісний підхід має стати методологічною основою підготовки, орієнтованої на інтеграцію технічних, психологічних і комунікативних компонентів професійної діяльності.

Сучасні бойові дії характеризуються широким використанням різних типів транспортних засобів від вантажної автомобільної техніки до броньованих машин і спеціалізованих платформ.

Модернізація підготовки військових водіїв в умовах війни є необхідною складовою формування сучасного військового професіонала. Вона повинна базуватися на інтеграції психолого-педагогічних, правових та соціальних компонентів професійної освіти. Переорієнтація системи підготовки з вузько технічної моделі на комплексну компетентнісну модель дозволить забезпечити високий рівень професійної готовності, психологічної стійкості та правової відповідальності військових водіїв, що безпосередньо впливає на ефективність бойових дій та збереження людського потенціалу держави.

ФОРМУВАННЯ НАВИЧОК СТРІЛЬБИ КУЛЕМЕТНИКІВ МОБІЛЬНИХ ГРУП ППО

*Б.В. Демченко; Ю.К. Новосьолов, к.п.н.; Р.Р. Шикунла;
Б.О. Стреляний*

*Військовий інститут танкових військ Національного технічного
університету “Харківський політехнічний інститут”*

Сучасні умови ведення бойових дій характеризуються широким застосуванням противником малорозмірних безпілотних літальних апаратів, що обумовлює підвищення ролі мобільних вогневих груп протиповітряної оборони у системі захисту військ та об'єктів. Ефективність їх застосування значною мірою залежить від рівня сформованості навичок стрільби кулеметників, здатних своєчасно виявляти повітряні цілі, оцінювати параметри їх руху та забезпечувати результативне ураження у стислий час. Разом з тим, аналіз існуючої практики підготовки свідчить про недостатню структурованість навчального процесу, обмежене використання спеціалізованих вправ по рухомих повітряних цілях та відсутність єдиної методичної основи формування навичок випереджального прицілювання.

Досвід підготовки авіаційних кулеметників бомбардувальної авіації США періоду Другої світової війни демонструє ефективність ступеневої системи навчання, спрямованої на послідовне формування когнітивних, моторних та тактичних компонентів діяльності стрільця. Така система передбачала теоретичне засвоєння закономірностей руху повітряної цілі та принципів визначення випередження, відпрацювання супроводження цілі без відкриття вогню, тренування швидкого реагування по малорозмірним швидкісним мішеням, подальшу стрільбу по повітряних цілях з різними параметрами руху та виконання комплексних вправ у складі системи секторної оборони.

Адаптація зазначених підходів до сучасних умов дозволяє визначити основні напрями формування навичок стрільби кулеметників мобільних груп ППО, до яких належать: поетапна теоретична підготовка з оцінки параметрів польоту безпілотних літальних апаратів; тренування супроводження повітряної цілі з формуванням навичок випереджального прицілювання; відпрацювання швидкого наведення та відкриття вогню по малорозмірним об'єктам; стрільба по повітряних мішеням різної швидкості і напрямку руху; проведення комплексних тактичних занять з організації спостереження, розподілу секторів відповідальності та взаємодії у складі підрозділу.

Таким чином, використання історичного досвіду підготовки авіаційних кулеметників та його адаптація до сучасних умов протидії безпілотним

літальним апаратам дозволяє сформувати методичну основу підготовки кулеметників мобільних груп ППО, спрямовану на підвищення ефективності їх бойового застосування та забезпечення стабільності результатів стрільби.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ЯК СОЦІАЛЬНА ПРОБЛЕМА ПІДГОТОВКИ ПРИКОРДОННИКІВ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

В.М. Шевчук, к.п.н., доц.

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Збройна агресія РФ спричинила масштабний екоцид, що трансформувало поняття охорони кордону: від суто силового контролю до необхідності управління екологічними ризиками. Підготовка прикордонників сьогодні постає як соціальна проблема, оскільки професійна діяльність військовослужбовця безпосередньо впливає на безпеку життєдіяльності громад та збереження природного фонду як національного надбання.

Сучасна парадигма навчання курсантів-прикордонників повинна ґрунтуватися на еко-етичній свідомості. Соціальний аспект проблеми полягає у формуванні відповідальності за майбутнє деокупованих територій. Повноцінне відновлення кордону неможливе без рекультивації земель та подолання довгострокових наслідків мінування й техногенних катастроф.

В умовах ведення бойових дій система підготовки прикордонників повинна впроваджувати такі міждисциплінарні напрями:

- військово-технічний: опанування методів РХБ-захисту для моніторингу забруднень у зоні бойових дій;
- правовий: засвоєння алгоритмів фіксації екологічних злочинів для подання позовів до міжнародних трибуналів;
- соціально-комунікативний: розвиток навичок цивільно-військового співробітництва для оперативного інформування населення про екологічні загрози.

Отже, екологічна безпека у підготовці прикордонників є стратегічним пріоритетом. Інтеграція міждисциплінарних навичок дозволить сформувати офіцера нового зразка, здатного не лише захищати територіальну цілісність, а й гарантувати екологічну стійкість та безпечне майбутнє нації.

СОЦІАЛЬНИЙ ЗАХИСТ ТА РЕАБІЛІТАЦІЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ДПС УКРАЇНИ, ЯК ЧИННИК ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРОФЕСІЙНОГО КАДРОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ

Ю.І. Смолінський; О.В. Чиж

*Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Богдана Хмельницького*

Тривала повномасштабна війна висуває надвисокі вимоги до людського ресурсу Державної прикордонної служби України (ДПСУ). Проблема збереження досвідчених кадрів, які мають унікальний бойовий досвід, безпосередньо залежить від ефективності системи соціального захисту та реабілітації.

Професійний кадровий потенціал ДПСУ в умовах війни піддається значній деформації через бойові втрати, поранення та професійне вигорання. У цьому

контексті соціальний захист має розглядатися як комплексний запобіжник відтоку фахівців. Ключовим елементом системи є гарантування фінансової стабільності, належного медичного забезпечення та вирішення житлових питань сімей військовослужбовців. Особливого значення набуває впровадження ефективних програм реабілітації для учасників бойових дій, які включають не лише медичне відновлення, а й психологічну та соціальну адаптацію до умов служби після отриманих травм чи контузій.

Таким чином, соціальна політика ДПСУ трансформується у стратегічний менеджмент людських ресурсів, де реабілітація та соціальна підтримка виступають фундаментом професійного довголіття прикордонників та запорукою відтворення кадрового резерву. Ефективна система соціального захисту та реабілітації є вирішальним чинником збереження професійного ядра ДПС України. Гарантована державна підтримка їхніх родин дозволяють знизити рівень плинності кадрів та підтримати високу мотивацію особового складу. Подальше вдосконалення цього напрямку має базуватися на цифровізації соціальних послуг та створенні мережі спеціалізованих реабілітаційних центрів, що відповідають викликам сучасної війни.

ФОРМУВАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЕРСОНАЛУ ДПС УКРАЇНИ ДО ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ У ЗОНІ АКТИВНИХ БОЙОВИХ ДІЙ

*О.І. Гнатюк, к.т.н., доц.; Ю.І. Смолінський
Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Повномасштабна збройна агресія докорінно змінила характер службово-бойової діяльності Державної прикордонної служби України (ДПСУ). Сьогодні прикордонники не лише здійснюють охорону кордону, а й виконують завдання у складі Сил оборони України. Висока інтенсивність артилерійських обстрілів, застосування БПЛА та ведення ближнього бою висувають підвищені вимоги до психологічної стійкості персоналу ДПСУ.

Педагогічний процес підготовки військовослужбовців ДПСУ має трансформуватися з пасивного засвоєння теоретичних знань у систему активного моделювання стресових ситуацій. Ефективність такої підготовки безпосередньо залежить від реалізації методу поступового адаптування психіки до екстремальних подразників. Це досягається шляхом практико-орієнтованого моделювання бойового середовища із використанням засобів імітації (піротехніки, задимлення, звукового супроводу бою) та обмеження часу на прийняття рішень. Такий підхід дозволяє прикордоннику виробити стійкі алгоритми дій, що мінімізують розвиток панічних реакцій під час реального бойового зіткнення. Аналіз конкретних кейсів, таких як оборона прикордонних пунктів та дії підрозділів ДПСУ в умовах оточення, дає змогу курсантам та діючим офіцерам усвідомити реальні загрози та способи їх подолання.

Психологічна стійкість військовослужбовців ДПСУ є результатом безперервного та цілеспрямованого педагогічного впливу. Такий комплексний підхід є запорукою збереження кадрового потенціалу відомства та гарантування територіальної цілісності й недоторканності державних кордонів України в умовах воєнного стану.

ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ОСОБИСТІСНИХ ЦІННОСТЕЙ ТА ЦІЛЕЙ МАЙБУТНЬОГО ОФІЦЕРА ЯК ОСНОВИ ЛІДЕРСТВА В УМОВАХ СУЧАСНИХ БЕЗПЕКОВИХ ВИКЛИКІВ

*І.М. Островська-Бугайчук, к.пед.н., доц.; М.В. Ляхов
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

У сучасних умовах повномасштабної війни та трансформації характеру збройної боротьби особливої актуальності набуває проблема формування особистісних цінностей і чітких життєвих цілей майбутнього офіцера як основи його лідерства. Професійна компетентність майбутнього командира має поєднуватися з моральною зрілістю, державною свідомістю, відповідальністю та здатністю діяти автономно в умовах невизначеності.

Ціннісна система майбутнього офіцера формується у взаємодії загальнолюдських, національних і військових цінностей. Загальнолюдські цінності (гідність, справедливість, чесність) створюють універсальне моральне підґрунтя; національні (патріотизм, історична пам'ять, державницька свідомість) забезпечують ідентифікацію з українським народом; військові цінності конкретизуються у нормах, цілях і професійно значущих якостях. Їх закріплення у свідомості майбутнього офіцера є передумовою формування стійкого лідерського потенціалу.

Не менш важливим чинником є чіткість особистих цілей. Цілеспрямованість визначає здатність командира концентрувати ресурси підрозділу на досягненні стратегічно значущих результатів. Відсутність конкретних, реалістичних і внутрішньо узгоджених цілей призводить до професійної дезорієнтації, втрати мотивації та обмеженості управлінських рішень. Натомість усвідомлені та письмово сформульовані цілі, зорієнтовані в часі й співвіднесені з потребами служби, створюють основу для особистісного зростання та підвищення ефективності підрозділу.

Отже, системне формування ціннісно-цільової сфери курсантів у ВВНЗ є стратегічною умовою становлення офіцера-лідера.

СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ, ЯК СКЛАДОВА МОТИВАЦІЇ ДО НАВЧАННЯ

*Н.П. Лазуріна, к.філос.н., доц.
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Основна задача оцінювання точно та справедливо відображати якість підготовки студентів/курсантів. Проблемами такого оцінювання може стати, брак часу у викладачів на перевірку та уважну вчитку робіт. Суб'єктивне сприйняття оцінки, тими, хто навчається, як несправедливої. Або, навіть, занадто велика увага до оцінки самих викладачів, які вважають що прихильне оцінювання покращує успішність.

Як зарубіжні так і вітчизняні педагоги виділяють такі основні функції оцінювання: засіб організації навчального процесу, який відображає успішність с/к під час навчання; відгук самому с/к щодо його власного навчання; засіб передачі інформації про успішність майбутнім роботодавцям про потенціал цього фахівця; джерело мотивації для продовження навчання та підвищення успішності. Оцінювання також надає відгук викладачу щодо

навчання с/к, та інформацію як удосконалення системи оцінювання може покращити мотивацію до навчання.

Розробка критеріїв оцінювання містить декілька кроків: підготовку різних видів завдань (контрольні роботи, тестові завдання, усні презентації..); визначення і доведення с/к, що буде оцінено найвищою оцінкою в завданнях (точність, творчість, критичний аналіз...); перетворення визначених характеристик на критерії оцінювання для диференціації відмінно виконаної роботи, від дуже доброї, доброї, задовільної та незадовільної.

Розробка та своєчасне доведення до с/к критеріїв оцінювання допоможе вирішити такі проблеми: зробити процес оцінювання, послідовним та справедливим; допомогти самому викладачу визначитись, чому навчати і як навчати; зекономити час у процесі оцінювання; довести ваші вимоги та очікування до с/к; допомогти, тим хто навчається зрозуміти, як оцінюється їх робота, а значить мотивувати їх на успішне навчання.

ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ AAR (AFTER ACTION REVIEW) В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС ВВНЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ ОФІЦЕРА

С.М. Марченков, к.пед.н.

Житомирський військовий інституту ім. С.П. Корольова

Традиційна система навчання часто базується на принципі “командир завжди правий”, що пригнічує ініціативу курсантів (слухачів) та змушує приховувати помилки. В умовах сучасної війни швидкість навчання на власних помилках є питанням збереження життя та виживання підрозділу.

Саме тому впровадження та використання методики After Action Review (AAR), в освітньому процесі допомагає покращувати навчання, розвивати особовий склад, зберігати засвоєні уроки і розвивати культуру постійного вдосконалення.

Мета AAR – трансформація досвіду: від з’ясування причин того, що сталося, до впровадження кращих практик. Це закладає фундамент професійної відкритості. Коли лідер не боїться визнати помилку перед строем, він демонструє психологічну зрілість, зміцнює довіру підлеглих та забезпечує групу колективним імунітетом проти аналогічних помилок у бою. Особливістю під час проведення процесу AAR є те, що командири повинні уникати відкритої критики та усвідомити AAR не оцінює успіх чи невдачу під час підготовки і діяльності. Завжди будуть слабкі сторони, які потрібно посилити та сильні сторони, які потрібно розвивати і вдосконалювати. Під час проведення AAR, особовий склад і командири активно обговорюють та аналізують, що трапилось і чому так сталося, саме обговорення забезпечує кращий результат на відміну від застарілого підходу “розбору польотів”, командир разом з підлеглими дізнаються та засвоюють більше, ніж під час критики один одного. Зазвичай, критика спроможна надати тільки одну точку зору і часто обмежує можливості для конструктивного обговорення.

“У сучасному бою прихована помилка в ході навчання сьогодні – це гарантовані втрати в ході виконання бойових завдань завтра. Тому професійна відкритість є елементом бойової безпеки”.

**РИЗИКИ НЕДОСТАТНЬОЇ ІНТЕГРАЦІЇ МІЖНАРОДНОГО
ГУМАНІТАРНОГО ПРАВА У СИСТЕМНУ ПІДГОТОВКУ
КУРСАНТІВ ВВНЗ**

*І.М. Островська-Бугайчук, к.пед.н., доц.; Д.В. Ковальчук
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*

Сучасний характер збройних конфліктів, зокрема війна росії проти України, посилює вимоги до глибокого знання МГП майбутніми офіцерами. Принципи розрізнення, пропорційності та військової необхідності є не лише юридичним обов'язком, а й складовою професійної культури. Їх дотримання впливає на легітимність застосування сили та бойову ефективність.

Тому підготовка курсантів ВВНЗ має забезпечувати системне інтегрування норм МГП у правову й оперативну підготовку. Міжнародне гуманітарне право у системі підготовки курсантів має виконувати такі функції: нормативну – формування знань щодо правового режиму ведення бойових дій; превентивну – запобігання порушенням законів та звичаїв війни; етичну – виховання поваги до людської гідності навіть в умовах збройного конфлікту; практичну – інтеграція правових норм у процес ухвалення командирських рішень.

Недостатня інтеграція МГП у підготовку майбутнього офіцера може призводити до розриву між теоретичними знаннями та практикою застосування сили. Вивчення норм МГП не має обмежуватися окремими лекційними курсами, а має системно доповнюватися моделюванням реальних сценаріїв із правовою оцінкою дій. Даний алгоритм дасть можливість сформувати у майбутніх офіцерів навички швидкого правового аналізу в умовах стресу та невизначеності.

Також недостатня інтеграція МГП впливає на формування професійної військової етики. Офіцер, який не усвідомлює глибокого зв'язку між правом, моральною відповідальністю та бойовою ефективністю, може розглядати правові обмеження як перешкоду, а не як складову легітимності застосування сили.

Отже, ефективна інтеграція МГП у систему підготовки майбутніх офіцерів передбачає не лише викладання нормативної бази, а й її постійну імплементацію у навчальні кейси, тактичні навчання та систему оцінювання професійної компетентності.

**RESEARCH ON PROBLEMS AND DIRECTIONS FOR IMPROVING
THE LEGAL REGULATION OF SOCIAL PROTECTION
FOR WAR VETERANS**

*D. Rohulia; M. Rohulia
Military Law Institute of the Yaroslav Mudryi National Law University*

The current Ukrainian context, shaped by the Russian Federation's prolonged armed aggression, has given rise to a new social phenomenon: a large community of veterans and their families whose needs far exceed traditional approaches to social protection.

Ukraine has approved a State Standard for Social Services for the Adaptation of Veterans, which officially defines the list and quality parameters of such services, but its actual use remains extremely limited. As a result, although regulatory control is quite extensive, the social protection system for veterans still faces a major

problem: a lack of real examples of the effective implementation of these provisions. This leads to the norms remaining largely declarative and failing to function as practical support tools. Complex bureaucratic procedures for accessing social guarantees and the gap between declared rights and the actual tools for their practical implementation indicate an urgent need for a profound and comprehensive reform of the regulatory framework. The need for such changes is further justified by the requirements to adapt Ukrainian legislation to European Union standards and the best practices of NATO member states.

Modernization in the field of social protection will not only ensure the fulfillment of the state's obligations to those who defend the country, but also strengthen national security and social stability in general.

THE INFLUENCE OF THE INFORMATION ENVIRONMENT ON THE PSYCHOLOGICAL STATE AND ACADEMIC ACTIVITY OF CADETS

K. Meleshko

*Separate structural unit "Kharkiv Trade and Economic Professional College
of the State Trade and Economic University"*

The modern information environment significantly affects both the mental state and the success of cadets of military educational institutions. The accelerated flow of information in combination with reports of hostilities, coverage of events in the media and activity in social networks leads to an increased level of anxiety, stress and increased cognitive demands, which makes it difficult for cadets to maintain concentration during educational activities. Nevertheless, the correct use of information resources by cadets leads to positive results in learning, self-development and the acquisition of patriotic and professional values. When cadets receive organized information support and are trained in critical evaluation of sources, they demonstrate increased interest and psychological resilience. The information environment, however, can be a risk factor that contributes to the development of cadets. This emphasizes the need to adapt information flow management and media literacy training to increase the effectiveness of military training.

One example of increasing information security is the implementation of the "Cyber Hygiene 2.0" course in the "Army+" application in 2026. The course is aimed at forming basic and at the same time critically important rules for safe work in the digital environment and preventing the leakage of official information during daily service activities.

Such measures help cadets effectively use modern digital resources and reduce the risks of information leakage.

ПРОБЛЕМИ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ В УМОВАХ РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКОЇ ВІЙНИ

О.В. Онушко; Б.Б. Миненко; В.В. Зайко; Н.Л. Заєць

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

Російсько-українська війна суттєво змінила вимоги до військової професії. Починаючи з 2014 року, а особливо після 2022 року, стало очевидно, що система військової освіти не може залишатися статичною — вона змушена постійно переглядати зміст і підходи до навчання.

Однією з проблем залишається невідповідність навчальних програм реальним умовам сучасної війни.

Важливо, щоб в процесі навчання було ефективне поєднання теорії та практики. Інакше знання залишаються формальними і не переходять у реальну готовність діяти в складній ситуації.

Окремо варто відзначити кадрову проблему. До викладання необхідно залучати офіцерів із бойовим досвідом. Це дозволить підкріпити теоретичний матеріал із реальними прикладами, що є критично важливим для підготовки курсантів.

Психологічна стійкість курсантів має бути системною складовою підготовки, а не другорядним елементом. Після випуску вони можуть одразу опинитися в бойових підрозділах, тому важливі навички стресостійкості, вміння контролювати емоційний стан і працювати під тиском.

Отже, підготовка військових фахівців в умовах російсько-української війни має системний і комплексний характер та потребує цілеспрямованого оновлення всієї моделі військової освіти. Врахування реального бойового досвіду, залучення офіцерів-практиків до освітнього процесу та посилення психологічної складової підготовки є не окремими заходами, а взаємопов'язаними напрямками реформування. Саме їх узгоджена реалізація дозволить сформувати професійно підготовленого офіцера, здатного ефективно діяти в умовах сучасної війни.

PRIORITIES IN THE SOCIAL PROTECTION OF MILITARY SERVICEMEN

R. Zorkin¹; S. Rakytiarskyi²

*¹Separate structural unit "Kharkiv Trade and Economics Professional College
of the State University of Trade and Economics";*

²A4961 Military Unit

The full-scale military invasion of Ukraine by the Russian Federation necessitates changes to the existing social protection system for Ukrainian Armed Forces personnel and their families. One of the main reasons is the growing need for social protection for the families of fallen, missing, and captured service members.

Our country's leadership is taking all necessary measures in this direction. In 2025 alone, the Verkhovna Rada of Ukraine introduced nine amendments to the Law of Ukraine "On the social and legal protection of military personnel and their families".

On September 17, 2025, the Law of Ukraine "On the military ombudsman" was adopted, creating an additional effective mechanism to protect the rights of military personnel.

On February 3, 2026, a law came into force granting military personnel released from captivity the right to an additional 90 calendar days of leave with pay, without any additional conditions for service decisions. The Cabinet of Ministers of Ukraine has decided to increase, effective March 1, 2026, assistance for family members of service members killed or missing while defending Ukraine from Russian aggression. From now on, the minimum pension for family members of military personnel who died or went missing will be at least 12 810 per person (previously it was 7 800). These amounts will be indexed annually, beginning March 1, 2027.

Support for the families of fallen and missing Defenders is an absolute state priority. Today, the state must strengthen social guarantees for our Heroes and their families – those who paid a high price for Ukraine's freedom!

ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ПРОФЕСІОНАЛІВ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

Ю.О. Нагапетян

*Головний центр забезпечення охорони державної таємниці
Збройних Сил України*

Сучасна війна характеризується інтеграцією традиційних і нетрадиційних форм ведення бойових дій, широким використанням безпілотних систем, кібероперацій, інформаційно-психологічних впливів. За таких умов вирішального значення набуває не лише технічне оснащення Збройних Сил, а й якість підготовки військових професіоналів, здатних ефективно діяти в умовах невизначеності, ризику та високого психоемоційного навантаження.

Педагогічні аспекти підготовки військових професіоналів повинні ґрунтуватися на комплексному підході, який передбачає формування інтегрованих професійних якостей. Важливим напрямком є використання інноваційних педагогічних технологій, таких як ситуаційні тренінги, командно-штабні ігри, імітаційне моделювання, дистанційні та інтерактивні методи навчання. Особливої актуальності набуває впровадження в освітній процес бойового досвіду, отриманого під час російсько-української війни, що надає можливість адаптувати теоретичну підготовку до практичного ведення сучасних бойових дій.

Однією з ключових педагогічних умов є максимальне наближення навчального процесу до реальних бойових умов. Це реалізується через тактичні навчання та польові збори, використання симуляторів і тренажерів, аналіз реальних бойових кейсів, метод after-action review (аналіз проведених дій). Практичне відпрацювання вивченого матеріалу забезпечує формування не лише знань, а й професійного досвіду.

Отже, підготовка військових професіоналів в умовах сучасної війни потребує системного оновлення педагогічних підходів, інтеграцію бойового досвіду та впровадження інноваційних освітніх технологій.

СЕКЦІЯ 20

ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ІНОЗЕМНИХ МОВ ВІЙСЬКОВИМ ФАХІВЦЯМ

Керівники секції: полковник Тараненко Ю.С.;
к.філол.н. доц. прац. ЗС України Ребрій І.М.
Секретар секції: к.філос.н. доц. прац. ЗС України Савченко О.О.

EDUCATIONAL POTENTIAL OF DIGITAL STORYTELLING

O. Savchenko¹, Ph.D.; Yu. Taranenko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University;

²Air Forces Command of Armed Forces of Ukraine

Among the educational innovations widely used in modern teaching, *Digital Storytelling* technology has been spreading in recent years. Theorists and practising educators regard it as a pedagogical technology that involves storytelling created using digital technologies: web stories, interactive stories, hypertext, narrative computer games, blogs, video stories, audio and video podcasts, and so on. Digital storytelling is a pedagogical technology since it helps solve educational tasks. Like any technology, it involves a chain of actions aimed at creating a specific outcome. It has characteristics typical of educational pedagogical technologies, such as operability and systematicity, conceptuality, reproducibility, and controllability.

This pedagogical technology contributes to the development of:

1) foreign language communication competence, which includes language skills necessary to engage in real-life communication in a foreign language (oral and written communication), adequately using language knowledge, skills, and socio-cultural norms in various situations;

2) information competence, which includes the ability to use information and communication technologies;

3) cognitive competences, which include a set of mental abilities and skills that ensure the effective acquisition, processing, storage, and use of information to solve problems in the education or professional-related activity;

4) research competencies, which include the ability and readiness to apply knowledge, skills, and experience to solve research problems independently and effectively.

The effectiveness of using digital storytelling technology in teaching depends on the choice of topic and the purpose of creating a digital story. The topic may be directly related to the material that students are currently studying, or the digital story may serve as a final project for a module (discipline).

Among the advantages of digital storytelling technology is the ability to personalize learning. Creating digital stories allows for all types of individual learning styles, ensuring successful learning. This technology promotes better understanding and academic performance. Digital storytelling also enhances multimodal literacy because the various types of information – verbal, visual, and audio – are interrelated, synchronized, and processed simultaneously.

Another essential advantage of this technology is its impact on the emotional sphere. Digital stories are told in the first person, often reflecting the learner's personal experience and touching on emotionally charged topics.

Foreign language teaching realizes the educational potential of digital storytelling to the greatest extent.

STRATEGIC ASPECT OF TRANSLATING ARTLANGS

I. Rebrii¹, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor;

K. Voronina², Candidate of Philological Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University;

²Department of Interpreting and Translation, University of Bologna, Italy

The article is dedicated to the problem of determining and defining the strategies of translating artlangs – constructed languages that function within literary discourse. Thus, artlangs do not aim to fulfill communicative function serving solely as an expressive, stylistic means. This fact determines the necessity of artlangs' adequate reproduction in the translation.

The aim of the research is to reveal and to describe global (superordinate) strategies of translating artlangs. The object of research is a priori and a posteriori artlangs, and the subject of analysis is strategies of their rendering into Ukrainian.

Strategies of translating artlangs are determined by their linguosemiotic characteristics according to which all artlangs fall into two broad classes – a posteriori and a priori ones.

A posteriori artlangs comprise words construed on the basis of morphemes from natural language(s). Accordingly, they possess an internal form and can be analyzed as to their morpheme composition. As a result, priority strategy of their reproduction is that of domestication, loan translation being the main method of its implementation.

A priori artlangs comprise words construed on the basis of phonemes/graphemes of natural language(s). This method of word formation is known as word manufacture and its application leads to coining words that have no internal form and cannot be analyzed as to their morpheme composition. As a result, priority strategy of their reproduction is foreignization, transliteration / transcription being the main method of its implementation.

The research was conducted on the basis of the translation of Newspeak from George Orwell's "1984" and Lapine Language from Richard Adams's "Watership Down" and their Ukrainian and Russian translations.

The prospect of further research lies in determining and describing local (subordinate) strategies of translating artlangs.

FORMATION OF MOTIVATION IN MILITARY ENGLISH TEACHING

V. Kuleshova, Doctor of Pedagogical Science, Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Despite the complex political and international situation and external difficulties, mutual cooperation among military specialists from different countries has become possible, enabling diverse and systematic communication at the international level. Knowledge of foreign languages allows for the establishment of educational, professional, and cultural contacts. For this, military specialists who are proficient in foreign languages are needed. Currently, various works on increasing cadets' motivation to learn English are presented in scientific and methodological literature. It should be noted that these studies do not sufficiently reveal more narrowly

focused methods and techniques for forming positive motivation in the process of teaching foreign languages to cadets in higher military educational institutions. Because knowledge of foreign languages is currently becoming a priority direction for the development of the Armed Forces of Ukraine, it is necessary to motivate cadets to study English, a non-core subject in a non-linguistic higher education institution.

When choosing the most effective method to foster interest in the subject, instructors consider a combination of factors in each specific situation, such as the nature of the material being studied, technical capabilities for organizing the learning process, psychological aspects of educational activities, the availability or lack of free time among cadets, the specifics of the educational environment, and ultimately, the leadership policies of the higher military educational institution.

A foreign language for future military specialists is both an instrument of action, an integral part of culture, and a means of adapting to the innovative processes taking place in today's information society.

INTRODUCING CADETS TO MODERN MILITARY VOCABULARY IN THE PROCESS OF LEARNING ENGLISH

T. Bryk, Ph.D., Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Teaching of modern military vocabulary is a crucial element of foreign language training in military educational institutions. Introducing up-to-date military terminology enhances cadets' professional communication skills and operational readiness.

Changes in military doctrine, technology and security demand the systematic renewal of English lexical content. They require cadets to master newly emerged lexical units such as unmanned aerial systems (UAS), autonomous weapons, loitering munitions, and counter-drone warfare.

The integration of contemporary military terminology into English instructions supports the development of cadets' professional communicative competence. The integration of terms related to information and cyber domains, including cyber defense, information operations (IO), electronic warfare (EW), and hybrid threats, reflects the evolving nature of modern conflicts.

Modern military vocabulary should be introduced through a competency-based approach, combining linguistic and professional objectives. Teaching modern military vocabulary should focus on functional usage in professional contexts, for example: rules of engagement (ROE), situational awareness, force protection, and mission readiness. The use of authentic sources ensures relevance and accuracy of the lexical material. NATO doctrinal documents, operational briefings, and military news reports provide effective exposure to current terminology including joint operations, interoperability, and multinational task force. Contextualized learning promotes a deeper understanding of terminological usage in real-life military communication.

Context-based learning helps cadets understand the functional use of military terms. Learning modern military vocabulary should be integrated into four language skills.

DEVELOPING COGNITIVE COMPETENCE FOR LEARNING LANGUAGES

I. Grygorova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At the current stage teachers of the foreign language face the important issue connected with paying special attention to changes in approaches to development of cognitive competences in psychological and pedagogical researches which are connected with improving level of a foreign language. It is important to take into consideration that studying psychological and pedagogical aspects of this issue require cooperation of some cognitive processes which are used in the chosen set of subjects and represent the system of education in the chosen area such as mathematics or learning languages.

There have been a number of theories which made attempts to distinguish cognitive skills as competences or cognitive abilities which can be classified as the wide range of mental skills. They include potential, strategic, rational ideas and produce complicated thinking processes.

It might be also taken into consideration that the basis of cognitive competence is presence of such skills as critical and creative thinking which give opportunity to adjust effective problem solution techniques in the process of completing given tasks and self-development of personality.

Existing researches show permanent connection between cognitive development and systematic development of critical and creative thinking in the process of personal psychological development which is made from the side of pedagogical influence on personality. At the same time, sufficient level of cognitive competence influences not only professional skills of personality, but also personal psychological well-being and abilities to develop yourself as a long-live process.

From the other side, those three approaches to developing cognitive competence require development and improvement in the number of issues what might be implemented in syllabus for further enhancement and motivation of students. At the same time, they combine psychological and pedagogical element of development.

INTEGRATING ICT TOOLS TO ENHANCE ENGLISH LANGUAGE LEARNING QUALITY AMONG EFL UNIVERSITY STUDENTS

O. Kurinnyi

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Educational reform aims to enhance accessibility and quality while progressing toward a socially oriented, innovation-driven state. Foreign language acquisition requires strong student motivation, as linguistic competence constitutes a vital component of cultural literacy and enables effective intercultural communication in multicultural environments. Educational processes must stimulate information literacy by integrating extracurricular knowledge into academic development. Students need competencies in organizing, interpreting, and critically evaluating information while selecting reliable sources for academic and professional tasks.

ICT-based innovation analysis enables effective learning outcome comparison. Research demonstrates that ICT-enhanced instruction fosters closer student-instructor interaction, increases motivation, and supports problem-solving abilities and critical thinking development. Academic achievement indicators improve,

including overall knowledge acquisition levels. Theoretical investigations and practical implementations confirm these technologies transform learning structures and influence foreign language instruction resources. Multimedia applications create language-immersive environments that strengthen motivation and active engagement.

ICT integration reflects global digital transformation trends, offering pedagogical solutions that make learning more engaging, flexible, and accessible. The expanding ICT role aligns with national and international educational standards while addressing implementation challenges.

However, researchers emphasize many multimedia products lack clearly defined instructional objectives. ICT pedagogical potential assessment, particularly in higher education, indicates computers should not serve merely as tools for basic didactic goals like memorization or skill formation. Instead, they should support intellectual development and cultivate positive learning attitudes. These objectives must determine ICT-oriented program development content and direction.

DEVELOPMENT OF CRITICAL THINKING IN ENGLISH LESSONS

M. Pohodina

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

As the world becomes more technologically advanced and the environment in which we live more complex, the requirements for education grow with each new generation. Nowadays, teaching vocabulary and grammar is not enough anymore. Challenges of the modern world require problem solvers, decision-makers, and independent thinkers. Students who only memorize phrases can once face real-life problems. Critical thinking is the very thing that helps them bridge the gap between knowing the rule and applying it when it is necessary.

Critical thinking along with communication, collaboration, and creativity is an extremely important life skill. Together, these skills prepare learners for challenges far beyond the classroom. Knowledge by itself has limited value if students can't analyze it, question it, or adapt it.

In English lessons learners have an opportunity to develop critical thinking while completing speaking, listening, reading, and writing tasks. English becomes more than a subject, it becomes a tool to explore life. Students stop learning about English and start using it to think, compare, reflect, and question. In this way, their motivation grows.

There are various strategies and techniques that can be implemented at the lesson. Teachers can adapt them to any level or age group. These techniques allow to explore topics and transform learners into active participants, and include open-ended questions, analyzing visual information, project-based learning, encouraging group discussions, problem-solving tasks, role plays, logic puzzles and brain teasers.

Critical thinking is beneficial for both – learners and teachers. Learners become more engaged with thoughtful participation. They stop fearing mistakes and start seeing English as a tool for thinking. They learn to apply language skills to real-life situations, enhancing their ability to evaluate and re-think information. Engaging students in debates, role-playing, pair work, and group interviews forces them to express their opinions, negotiate, and consider alternative viewpoints. Students develop their speaking skills alongside with creativity, collaboration, and communication. Lessons become more creative, and productive. For teachers, this approach provides professional growth and refreshes their teaching style.

PREDICTIVE PROCESSING OF COLLOCATIONS IN THE EFL CLASSROOM

I. Shutenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

One of the most reliable indicators of advanced proficiency in a foreign language is the ability to produce collocations – conventional word combinations that have a high degree of expectancy and predictability in certain contexts and sound natural to native speakers.

Recent advances in cognitive science show that language comprehension is to a large extent determined by our expectations and predictions about likely upcoming input; and by our ability to adjust our expectations when prediction errors occur. In language production, on the other hand, predictive mechanisms influence speech planning and fluency.

Predictive language processing, therefore, offers a theoretically grounded and pedagogically viable framework for teaching collocations in the EFL classroom. Drawing on predictive processing theory, lexical priming, formulaic language research, and recent empirical work on L2 collocational processing, we can reconceptualise collocations as learned probabilistic expectations, resulting in classroom applications aligned with predictive mechanisms underlying human language processing.

By designing classroom activities that engage anticipatory mechanisms, EFL teachers can align language instruction with cognitive mechanisms underlying language acquisition, encouraging learners to develop internal probabilistic models based on meaningful exposure and guided anticipation, rather than try to memorize lists of words and word combinations.

TWO MAIN APPROACHES TO TEACHING GRAMMAR

O. Kondra

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern grammar teaching methodology, we can distinguish two basic approaches: deductive and inductive. The deductive approach is a traditional, teacher-centered method. The teacher explains a rule, and then the students practice it by doing exercises. The inductive approach is quite different. Its aim is to encourage students to draw their own conclusions about grammatical phenomena. The teacher guides and monitors this process, helping students to understand grammar and draw their own conclusions.

Both approaches have their advantages and disadvantages. The deductive approach saves time on practice. It is suitable for students with lower proficiency levels. The teacher introduces the target language, after which the students consolidate their knowledge through various exercises. These include matching sentences to pictures, making substitutions, filling in the blanks and transforming sentences. As students are just getting acquainted with the new grammar phenomenon, their activities need to be controlled.

The disadvantages of the deductive approach are that it can be too controlled, and that it is associated with a teacher-centered approach to classroom management and information delivery. It can also discourage analytical learners who prefer to be involved in the learning process.

The inductive approach is often more engaging and therefore more useful, as it encourages thinking. Once students have reached a certain level of proficiency in the target language, they can complete more creative exercises, such as finding someone who...; conducting interviews; filling in information gaps; performing role plays; and solving problems. These activities provide students with a creative language experience.

The disadvantages of the inductive approach are that it requires a lot of time and effort, and there is a possibility of misunderstanding the rule and drawing the wrong conclusion. This requires more careful lesson planning, as well as careful and systematic processing of data and materials. It can also cause frustration for students with a less analytical learning style.

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDEPENDENT FOREIGN LANGUAGE LEARNING

M. Pekariuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Following Holec's classic definition (1981), learner autonomy involves taking charge of one's own learning through determining objectives, defining content and progression, selecting methods, monitoring the learning process, and evaluating outcomes. Artificial Intelligence (AI) can significantly streamline these processes.

Recent studies indicate that AI tools contribute to independent language learning in a range of beneficial ways, such as:

- More engaging independent practice. AI platforms create interactive learning conditions that help learners stay involved during self-study.
- Flexible access to practice. Learners can study at any time and in any place, integrating foreign language practice into daily routines.
- Opportunities to develop autonomy. AI tools encourage learners to explore language, request explanations, and monitor their progress in ways that align with autonomous learning.
- Immediate explanations and corrective feedback. Learners can receive instant comments and suggestions while working independently, which helps them resolve errors on the spot.
- Support for idea generation and drafting. Text-based AI tools assist learners with brainstorming and shaping early versions of written work.
- Help with processing large or complex texts. AI's ability to summarize and condense information supports independent work with extensive reading materials.
- Reduced anxiety during practice. A judgment-free environment allows learners to make mistakes without fear and build confidence.

At the same time, research points to several limitations that may affect independent learning, including the following:

- Over-reliance and weaker critical thinking. Frequent use of AI can weaken independent reasoning and lead to passive learning habits.
- Limited understanding of context. AI may produce inaccurate or confusing interpretations when it cannot fully account for semantic, cultural.
- Reduced real-world interaction. Heavy dependence on AI limits opportunities for authentic communication and may blur the line between online.
- Confusion about how to use AI feedback. Learners may misinterpret comments, which affects the usefulness of the tool during self-study.

- Lower creativity and reduced independence in writing. Reliance on AI-generated suggestions may hinder personal idea development.

- Cultural and linguistic biases. AI output may contain biased or culturally limited interpretations that require human judgment.

- Cognitive overload. Learners may feel overwhelmed when they cannot clearly understand how to use the information provided.

Considering these findings, AI offers several convincing benefits for independent foreign language learning, particularly in terms of flexibility and feedback. However, AI's limitations show that these tools should be used with caution. A balanced approach, one that combines AI use with critical engagement and guided support, appears to offer the most sustainable path for independent language learners.

SELF-ASSESSMENT AND LEARNER AUTONOMY IN ENGLISH CLASSES FOR MILITARY CADETS

M. Spirkina

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Self-assessment is considered an essential component of modern English language studying, as it supports learner-centered and competence-based approaches to teaching.

In English classes, self-assessment serves as an effective tool for monitoring learning progress. Through regular self-evaluation, military cadets are able to identify their strengths and weaknesses in speaking, listening, reading, and writing. An important aspect of effective self-assessment is the presence of clear criteria. These criteria should be transparent, measurable, and directly connected to course objectives and professional needs of future officers.

There is a strong relationship between self-assessment and the development of learner autonomy. Self-assessment acts as a practical mechanism for fostering autonomous learning behavior. It has a positive impact on cadets' motivation and overall learning process. When cadets are actively involved in evaluating their own performance, they show higher levels of engagement.

The integration of online technologies into teaching English language has become an effective solution for assessment and self-assessment in military higher education, especially in our country in wartime conditions with limited time and increased academic demands. Digital tools provide opportunities for continuous monitoring of cadets' progress and ensure flexibility and accessibility of assessment procedures.

Various online tools can be used to support self-assessment in English classes, including learning management systems (LMS), online checklists, can-do statements, and digital self-reflection forms. Interactive quizzes, online tests, and automated feedback systems allow cadets to evaluate their language skills independently and receive immediate results. Online platforms such as Kahoot, Quizlet, EasyTestMaker and Classtime also support formative assessment by enabling regular feedback between instructors and cadets.

However, there are some challenges remained. Effective implementation of online assessment requires methodological guidance, clear assessment criteria, high motivation and digital literacy of both instructors and cadets.

The study highlights that the systematic use of self-assessment techniques enhances English language proficiency and supports the formation of professional communicative competence of military cadets.

НАВЧАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ОСОБОВОГО СКЛАДУ ЗБРОЙНИХ СИЛ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОГО ЧАСУ

Т.С. Табан

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

У сучасних умовах підготовки особового складу Збройних сил України володіння англійською мовою є важливою складовою професійної готовності військовослужбовців. Англійська мова використовується під час участі у міжнародних навчаннях, виконання спільних завдань, взаємодії з іноземними партнерами, а також у процесі опрацювання нормативних документів за стандартами НАТО. Водночас навчання військовослужбовців здійснюється в умовах обмеженого часу, що зумовлює необхідність оптимізації процесу навчання та застосування ефективних, практично орієнтованих методик.

Навчання англійської мови в зазначених умовах потребує чіткого визначення навчальних цілей і цілеспрямованого відбору мовного матеріалу відповідно до професійних потреб особового складу. Пріоритетним є формування іншомовної комунікативної компетентності, необхідної для виконання службових завдань, зокрема навичок усного мовлення та аудіювання. У цьому контексті доцільним є зосередження не на повному мовному курсі, а на функціонально значущому мовному мінімумі, який охоплює професійну лексику, стандартні команди та типові мовленнєві моделі.

Ефективність навчального процесу значною мірою забезпечується використанням комунікативно орієнтованих методів навчання. Практичні завдання, ситуативні вправи, рольові ігри та короткі мовні симуляції дозволяють моделювати реальні умови професійної діяльності. Застосування таких методів інтенсифікує навчальний процес та забезпечує швидше засвоєння мовного матеріалу в умовах обмеженого часу.

Важливу роль у навчанні англійської мови особового складу відіграє використання автентичних матеріалів військового спрямування, зокрема наказів, інструкцій, брифінгів, рапортів і стандартів НАТО. Робота з такими матеріалами дозволяє поєднати мовну підготовку з професійною діяльністю та формує вміння застосовувати англійську мову у типових службових ситуаціях.

Особливістю навчання англійської мови військовослужбовців є необхідність урахування психолого-педагогічних характеристик дорослих слухачів, які мають різний рівень мовної підготовки та значний професійний досвід. У зв'язку з цим ефективними є короткі, чітко структуровані заняття з конкретною комунікативною метою та зрозумілими інструкціями. Такий підхід сприяє зниженню мовного бар'єру та дозволяє досягати помітних результатів у стислі терміни.

Отже, навчання англійської мови особового складу Збройних сил в умовах обмеженого часу потребує застосування практично орієнтованих методів, оптимізованого відбору навчального матеріалу та активних форм навчання. Реалізація зазначених підходів дозволяє оптимізувати процес мовної підготовки та забезпечує формування професійно спрямованої іншомовної комунікативної компетентності, необхідної для ефективного виконання службових завдань у сучасному військовому середовищі.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENGLISH LANGUAGE INSTRUCTION AT MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS

N. Yasiuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies has significantly influenced modern education, including foreign language teaching. In military educational institutions, where high professional standards, time constraints, and specific communicative needs prevail, the integration of AI into English language instruction offers new opportunities to enhance the effectiveness of the learning process.

Artificial intelligence tools, such as intelligent tutoring systems, chatbots, adaptive learning platforms, and automated assessment systems, enable personalized learning tailored to cadets' language proficiency levels, learning pace, and professional needs. AI-based applications can simulate real-life military communication scenarios, including briefings, negotiations, radio communication, and intercultural interactions, which are essential for future officers participating in international missions and joint operations.

One of the key advantages of AI in military English language classrooms is the possibility of continuous practice and immediate feedback. AI-powered systems can analyze learners' spoken and written output, identify typical errors, and provide instant corrective feedback. This contributes to the development of communicative competence, accuracy, and confidence in using English in professional contexts. Moreover, AI tools help instructors optimize classroom time by automating routine tasks such as testing, grading, and progress tracking.

At the same time, the use of artificial intelligence in military education requires careful consideration of ethical, security, and pedagogical issues. Data protection, confidentiality, and the reliability of AI-generated content are of particular importance in military settings. Therefore, AI should be viewed not as a replacement for the instructor, but as a supportive tool that enhances traditional teaching methods and strengthens the instructor's role as a facilitator and mentor.

In conclusion, the integration of artificial intelligence into English language teaching at military educational institutions has significant potential to improve learning outcomes, increase learner motivation, and better prepare cadets for professional communication in international military environments. Further research and methodological development are needed to ensure the effective, secure, and pedagogically sound use of AI technologies in military language education.

MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES IN TEACHING OF FOREIGN LANGUAGES IN HIGHER EDUCATIONAL UNIVERSITIES

I. Girna

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern technologies for teaching foreign languages in higher education institutions include professionally-oriented training, the use of project-based learning, gaming technologies, intensive and distance learning technologies, the application of information and telecommunications technologies, working with educational and assessment computer programs for foreign languages, creating presentations, using Internet resources, teaching foreign languages in a computer

environment (forums, blogs, e-mail), training systems, etc. Innovative technologies include the following approaches to teaching foreign languages:

1) interactive teaching methods that involve abandoning an authoritarian teaching style; focusing on the personal qualities of the student; developing forms of learning such as dialogue and polyphony; understanding foreign language communication as encouraging the partner to engage in verbal and non-verbal activity; developing students' interest in acquiring knowledge; assessment; self-assessment.

2) The use of technical teaching aids (computers and multimedia, the Internet) for self-improvement, knowledge control, storage and use of teaching materials (lesson plans, grammar reference books, dictionaries of various types).

The use of multimedia technologies allows students to independently prepare mini-projects on communication topics and present them. The most important advantage of multimedia technologies is the ability to create interactive educational presentations that allow you to visually present educational material and effectively master the most complex topics.

The constructivist method is based on active learning by students, giving them the opportunity to get closer to real-life situations using a foreign language.

The teacher's task is not to teach, but to facilitate the learning process.

The lesson is action-oriented, and students are encouraged to construct their own knowledge (for example, within the framework of project activities).

Innovative teaching methods include: computer-assisted language learning (CALL), the storyline method, the simulation method, the carousel method, the station method, the group puzzle method, the role-playing method, the case study method, etc.

Let us consider the most effective methods of teaching foreign languages in universities. The simulation method helps students feel themselves in a certain role that may be relevant to their future professional activities, social life, or simply be part of their everyday life. The teacher's role is to assign specific roles to students (depending on the topic of the simulation), specify the relevant vocabulary, and provide advice that can contribute to the effective completion of the task.

It should be noted that the use of modern innovative technologies and teaching methods in foreign language learning at technical universities is effective if the content of the material presented is relevant to the future professional activities of students.

It is important that theoretical knowledge is put into practice during the active learning process so that students have the opportunity to develop and improve their foreign language skills and apply the acquired foreign language communication skills in their future professional activities.

PODCAST MATERIALS IN LANGUAGE TEACHING CONTEXTS

L. Kostiuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Forces University

In the context of ongoing digital transformation in education, attention has increasingly been directed toward examining communicatively oriented teaching approaches alongside digital learning resources. Communicative Language Teaching (CLT) represents one of the established methodological frameworks in foreign language education, emphasizing meaningful interaction, learner participation, and functional language use. At the same time, podcast learning

materials have become widely accessible tools that provide authentic audio input and opportunities for independent engagement beyond the classroom. Considering these developments, the relationship between CLT principles and podcast-based materials warrants systematic academic discussion.

An effective approach to language teaching emphasizes the development of communicative competence through contextualized language use and collaborative interaction. Drawing on the research of Rod Ellis, learner-centered activities, as well as pair and group work, have been shown to increase student participation and foster greater autonomy in language learning [Ellis, R., 2003]. Within such methodological contexts, podcast materials may function as supplementary resources, offering authentic language exposure while supporting communicative classroom practices such as discussion, interpretation, and response formation.

Podcast materials are often described in educational research as flexible digital resources that provide access to spoken language in a variety of contexts. Their use is associated with improved listening comprehension and increased student engagement through exposure to diverse language patterns, accents, and sociocultural references. The ability to access content asynchronously allows learners to adjust the pace, repeat segments, and apply individual listening strategies, thereby supporting the independent learning that is often emphasized in communicative teaching methods.

Structured engagement with podcasts facilitates the development of both receptive and productive language competencies. Engagement in podcast-based tasks – such as producing analytical summaries, formulating critical responses to content, and creating learner-generated audio materials – contributes to increased speaking confidence and the enhancement of interactional competence. Furthermore, systematic work with spoken discourse in digital formats promotes the development of pragmatic awareness and supports the refinement of discourse organization skills.

Within communicative instructional settings, podcasts may also function as contextual triggers for interaction-oriented tasks. Activities grounded in podcast content can stimulate collaborative interpretation, negotiation of meaning, and culturally informed discussion. Such practices align with CLT principles emphasizing authenticity and experiential learning. At the same time, the integration of digital audio materials reflects contemporary shifts toward blended and hybrid instructional models that combine classroom interaction with digital participation.

Nevertheless, the educational application of podcasts presents methodological considerations. Researchers note that authentic listening materials may challenge learners if difficulty levels are not aligned with proficiency stages or if scaffolding strategies are absent. Consequently, careful pedagogical selection and task design remain essential to ensuring meaningful engagement rather than passive exposure. Structured guidance and integration into communicative objectives are therefore central to effective implementation.

In summary, ongoing discourse suggests that examining Communicative Language Teaching alongside podcast learning materials provides insight into evolving instructional environments in language education. Podcast resources offer access to authentic input and opportunities for autonomous engagement, while communicative teaching methodologies provide interactional frameworks through which such materials may be pedagogically situated. Considered together, these elements reflect broader transformations in language education shaped by digital accessibility, learner-centered practice, and communicative orientation.

SPECIFICS AND CHALLENGES OF ENGLISH LANGUAGE ACQUISITION BY UKRAINIAN MILITARY PERSONNEL UNDER MARTIAL LAW

O. Perehoden

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Today, we are witnessing an unprecedented transformation of the Armed Forces of Ukraine. However, technical rearmament is impossible without intellectual rearmament. In a world where interaction with partners happens every minute, English has ceased to be just a “foreign language” – it has become a tool for survival and operational interoperability. English proficiency is a critical requirement for the full integration of the Armed Forces of Ukraine (AFU) into Alliance structures and ensures seamless communication during joint operations.

Mastering Western Weaponry, technical documentation and user interfaces for advanced systems (such as Patriot, HIMARS, and F-16) demand a high level of specialized linguistic competence. The mastering of standardized terms according to NATO STANAG 6001 descriptors is also very important for the Military Terminology. Traditional academic approaches are ineffective in wartime. Priority is given to English for Specific Purposes (ESP): practical skills in radio communications, tactical medicine (TCCC) and reading topographic maps over general grammar.

Among the psychological and Logistic Challenges are the impact of combat stress, fatigue, PTSD on the ability to retain new information and time constraints. The high cognitive load is the main challenge in teaching soldiers in wartime.

Methodological Innovations include digitalization (leveraging mobile applications and Learning Management Systems (LMS) for remote learning in field conditions) and Peer-to-peer learning (a mentorship model where service members with higher proficiency assist their comrades within the unit). The future of military language training lies in flexible digital solutions. Utilizing mobile apps and remote platforms ensures learning continuity even in field conditions. Involving foreign instructors is very important if we want to overcome the language barrier directly within the professional environment.

Achieving sustainable results requires a language training ecosystem, integrating language studies into the general combat plan, into the security and defense sector. The effectiveness of training is measured by a soldier’s ability to provide medical reports, understand radio commands, and read technical manuals for specific weapon systems.

TEACHING SPEAKING TO THE AIR DEFENCE AND GROUND FORCES CADETS

A. Dorosh

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The issue of developing the foreign language speaking skills of cadets of higher education military institutions of Air Defence and Ground Forces has become especially important at the present stage. It is the result of the growing demands for the level of their professional communication competence due to active international cooperation in the situation of full-scale war. In this context, it’s become particularly important to develop the cadets’ ability to effectively communicate in English, in

both common and irregular professional situations during the international trainings they take part in, to conduct briefings, reports, coordinate units, as well as interact with the foreign partners on many different levels.

Considering the modern approaches in teaching foreign languages in the military higher education institutions, the process of speaking skills development should be based on the methods of teaching that are communication-oriented and professionally oriented. In particular, such effective approaches as role-playing games, modeling and analyzing the combat situations and tactical scenarios, problem debates and discussions, and situational dialogues are especially effective as they not only support the development of fluent and spontaneous speech and the ability to express and defend one's own opinion, but also to react quickly, make informed decisions, and communicate them in a foreign language successfully.

The adaptation of speaking practice to the specifics of the current professional activity of the Air Defence and Ground Forces cadets is one of the key tasks of modern military education. The content of the curriculum is to be updated to meet the modern needs of the military service in Ukraine, coordinated and integrated with other professional disciplines in general. At the same time, it's important to clearly define goals, types, and tasks of oral speech characteristic of professional military discourse in the sphere of air defence and ground forces. Special attention should be paid to creating operational competencies that ensure effective foreign language speaking in real-life professional situations.

TRANSLATING MILITARY TERMINOLOGY IN NATO ENVIRONMENT

I. Tretiak; S. Slesariiev

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Translating military terminology in professional discourse depends on the consumer from the different sides. It is essential to take into consideration age group, gender, education and environment in which translation takes place, especially when we talk about providing translation for military purposes. Sometimes it is connected with specific language support for mobilized military personnel which is not equipped with specialized educational background for understanding military terminology. At the same time, we need to draw special attention to the level of readiness of our consumer to understand the translated information from the professional context which is usually engaged in such type of translating tasks.

If we talk about conducting briefings, consultations and workshops in NATO environment we might be prepared to be acquainted with a great number of abbreviations, acronyms which are used at such events. So, providing translation in such a situation a translator might be prepared beforehand not only to translate these pieces of terminology to a consumer, but also be experienced in explaining the meaning of some terms. On the other hand, translator's job in this case also includes the need of being close to the context as much as possible not to make errors in meaning of translated terms. Such errors might lead to misunderstanding of the core information presented in the connection with developing some strategies or technologies.

That is also important to mention that in cooperation with partners Ukraine develops its own online dictionaries of military terms which become available for downloading in app stores. These dictionaries provide a consumer with detailed

collocation of some terms and in some situation show specific applications of some meanings of technical words in different branches of service.

To sum up, it is essential to mention improvement of communication and interoperability of our Armed forces and NATO Armed Forces at the different strategic levels because of developing new strategies in translating military terminology.

USING SOCIAL PROJECTS AS A MEANS OF TEACHING ENGLISH FOR PROFESSIONAL PURPOSES

V. Neliub

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Within the context of contemporary global transformations, English serves as a key instrument for developing professional competence across diverse disciplines, with a particular focus on the areas of security and defense. For military personnel, strong English language skills are crucial for effective international collaboration, participation in joint exercises and peacekeeping operations, and seamless communication with NATO partners. Therefore, foreign language training in military higher education institutions should focus not only on mastering linguistic knowledge but also on cultivating the ability to communicate in professional contexts.

At the same time, traditional approaches to foreign language teaching often fail to establish a sufficient link between language training and future professional activities. They are mainly oriented toward the reproductive mastery of lexical and grammatical material and do not always create adequate conditions for the development of communicative, intercultural, and social competencies required in authentic professional contexts. Consequently, there is an increasing demand for innovative pedagogical approaches that are capable of integrating language instruction with practical, professionally oriented tasks. This study examines the outcomes of integrating social projects into the English language learning process with an emphasis on professional applications. The practical results include increased motivation for language learning, strengthened teamwork abilities, enhanced critical thinking, and the capacity to express ideas clearly and convincingly in English.

Research findings indicate that incorporating project-based activities into English instruction for professional purposes significantly enhances students' motivation, fosters the development of career-focused competencies, and promotes learner autonomy. In this context, social projects addressing socially relevant issues provide an authentic setting for language use, actively engaging learners in teamwork, discussions, presentations, and the expression of their viewpoints in English. This methodology enables the integration of language learning with the cultivation of intercultural, social, and professional skills, which is particularly valuable in preparing future military professionals.

The aim of this report is to substantiate the effectiveness of using social projects as a tool for teaching English with a professional focus, as well as to analyze their didactic potential within the context of military education.

Experience from implementing social projects within charitable organizations highlights the significant educational potential of this approach and its strong adaptability to the requirements of military training. Social projects create authentic communicative settings, allowing language instruction to be combined with the development of practical skills and professional competencies. The use of innovative technologies and project-based methods in foreign language teaching has been

widely studied by both domestic and international scholars, underscoring its importance and relevance in modern educational practice. Ukrainian researchers note that project-based methods effectively enhance communicative competence and boost student motivation, particularly in higher education institutions where English is not the primary field of study. Many foreign researchers have also focused on this issue and provided substantial analyses. In particular, S. Haines offers practical recommendations for the application of project-based approaches in foreign language teaching. In the framework of professionally oriented English language learning, which entails the acquisition of specialized terminology, professional discourse genres, and communication models, the Project-Based Learning (PBL) methodology has demonstrated high effectiveness. In 2000, J. Thomas noted that PBL promotes the development of critical thinking and problem-solving skills and engages learners in complex, authentic projects that ensure active involvement in language practice. Thomas highlights that this methodology is especially important for future officers, who must be able to use English confidently in both their professional responsibilities and international interactions.

Socially oriented projects that focus on addressing pressing issues—such as providing humanitarian assistance, fostering international cooperation, and facilitating communication in crisis situations—help create both personal and professional significance, thereby enhancing learners' intrinsic motivation. Their implementation may encompass activities such as modeling professional situations, discussing service-related tasks, solving practical problems, preparing presentations, engaging in team projects and volunteer initiatives in English, as well as producing informational materials and reports that demonstrate the acquired professional skills. This approach contributes to the development of teamwork, intercultural communication, critical thinking, and the ability to articulate one's position in a coherent and persuasive manner. Furthermore, it enhances the readiness of future officers for effective interaction in international professional settings.

Conclusions. Considering the above, the integration of social projects into English language learning with a professional focus has a clear pedagogical and methodological foundation. Participation in such projects, particularly those with an international dimension, contributes to the development of intercultural sensitivity and mastery of the communicative norms of different cultures. Social projects allow not only the integration of language training with practically oriented professional tasks but also enhance the autonomy of military personnel, fostering their preparedness to perform duties in an international environment. Future research could focus on empirically assessing the effectiveness of this approach within the context of military education.

Future research perspectives are related to the empirical evaluation of the effectiveness of this approach within the context of military education.

USING DIGITAL TECHNOLOGIES FOR STUDYING ENGLISH INDEPENDENTLY

N. Drob

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The use of new technologies in the educational process makes it possible to work effectively with information (receive, verify, and analyze it), improve methods of working with educational materials, facilitate access to them, and promote the search for new ways of presenting and working with information.

One of the means of independent foreign language learning using digital technologies is the creation of an effective educational environment that provides learners with access not only to educational materials, but also to illustrative authentic language material (phonetic, lexical, grammatical, etc.). The use of technologies that provide access to such materials not only enables the formation and development of communicative competence, but also contributes to the development of intercultural competence. The information technologies using (for example, in the formation of speaking, listening, reading, etc. skills) enhances the effectiveness of the learning process, allows for individualized learning, and creates optimal opportunities for students to work independently in a way, time, and place that is convenient for them, to receive feedback from the teacher, etc.

Today, there is a wide range of innovative Internet resources. These resources are designed to work with texts, language, translations, etc., and can be adapted and used in the process of learning a foreign language. Currently, artificial intelligence can be integrated into such resources, allowing for quick and high-quality analysis of texts, identification of basic errors, and suggestions for corrections or improvements to texts or speech. In particular, resources such as Grammarly and ChatGPT, developed by OpenAI, can be highlighted.

The ability to use digital technologies allows both teachers and learners to choose or form their own trajectory for mastering foreign language learning material based on their own needs and to improve their existing skills and abilities.

ADAPTIVE ENGLISH LANGUAGE TEACHING: INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTO CLASSROOM PRACTICE

M. Trofymova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In higher education, English language teaching for students whose primary field of study is not English presents a significant pedagogical challenge. Within a single academic group, learners often demonstrate varying levels of proficiency, prior preparation, and motivation. Traditional models based on a standardized approach therefore prove insufficient, whereas adaptive learning supported by artificial intelligence (AI) offers a more flexible and responsive solution.

Adaptive learning is grounded in the principles of personalization and learning analytics, enabling the level and sequence of tasks to be adjusted according to students' performance. This approach is particularly relevant in English language instruction, as language skills tend to develop unevenly and require targeted intervention. AI-based tools facilitate the rapid analysis of recurring errors and support the development of individualized learning pathways without disrupting overall classroom instruction.

Adaptive technologies can also be effectively integrated into face-to-face classroom settings. Short diagnostic tasks completed prior to class help instructors identify learning gaps and structure lessons accordingly, while AI-driven feedback tools assist students in improving grammatical accuracy, lexical choice, and academic writing during in-class activities. Platforms such as Moodle (with adaptive release settings), Grammarly (for automated feedback), Quizlet (for differentiated vocabulary practice), and Pearson's MyEnglishLab (for personalized grammar development) can support this process within traditional classroom environments.

Despite technological support, the teacher remains central to the instructional process. It is the teacher who interprets analytical data, determines pedagogical priorities, and ensures meaningful student engagement. While AI enhances efficiency and individualization, professional expertise and human interaction remain fundamental to effective English language teaching in higher education.

DEVELOPING COMMUNICATIVE COMPETENCE IN ENGLISH AMONG MILITARY PERSONNEL: INSTRUCTIONAL APPROACHES

*O. Sovhar, Ph.D., Associate Professor; H. Sovhar
Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy*

The modern system of higher military education in Ukraine requires innovative approaches to training future officers. Developing communicative competence in English is a key component of professional preparation, as military personnel increasingly participate in multinational operations, peacekeeping missions, and international cooperation. Effective communication in English enhances interoperability and operational efficiency.

Teaching English in military institutions must reflect the specific nature of professional activity. Emphasis should be placed on professionally oriented vocabulary, rapid decision-making in communication, and interaction in stressful environments. Training materials should include military terminology, operational procedures, technical documentation, and scenario-based tasks relevant to real service conditions.

Practice-oriented instruction plays a decisive role. Situational exercises, role-plays, simulations, briefings, and report writing help cadets apply language skills in realistic contexts. Such methods foster fluency, accuracy, and confidence in professional communication. Participation in discussions, group projects, and translation of military documents further strengthens communicative competence and critical thinking.

Independent work is another essential component. Cadets develop self-directed learning skills, goal-setting abilities, and responsibility for their progress. The use of digital tools, online resources, and multimedia technologies expands learning opportunities and increases motivation.

Individualization of instruction is crucial due to varying levels of language proficiency. Instructors act as facilitators and mentors, adapting tasks to learners' needs while maintaining high professional standards.

ІНТЕГРАЦІЯ ІНШОМОВНОЇ ПІДГОТОВКИ ТА ФАХОВИХ ДИСЦИПЛІН У ФОРМУВАННІ НАВИЧОК ПРОФЕСІЙНОГО ПУБЛІЧНОГО ВИСТУПУ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ

*А.Д. Піддубна
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Сучасна система військової освіти функціонує в умовах активної міжнародної взаємодії навіть під час дії воєнного стану. За таких умов, володіння іноземною мовою перестає бути додатковою компетенцією, а набуває статусу інструмента професійної діяльності офіцера. Особливого значення набувають навички професійного публічного виступу та презентаційні навички, які формуються під час навчання у ЗВО. Водночас у

практиці підготовки майбутніх офіцерів рівень цих навичок часто залишається недостатнім або середнім через освітні втрати.

Метою дослідження є довести необхідність поєднання фахових дисциплін та іншомовної підготовки для формування навичок професійного публічного виступу майбутніх офіцерів. Основою дослідження є компетентнісний підхід, ідея міждисциплінарної інтеграції, а також розуміння військової комунікації як специфічної сфери спілкування з чіткою структурою та професійною термінологією. У такому контексті навички публічного виступу розглядаються як комплексне вміння, що поєднує мовну підготовку, фахові знання та психологічну готовність до виступу.

Навички професійного публічного виступу включають лінгвістичний, дискурсивний, стратегічний та психологічний компоненти.

Інтеграція мовної та фахової підготовки через практичні завдання, такі як брифінги, *after-action review* англійською, тощо, забезпечує ефективне застосування мовних знань у професійній сфері і навпаки. Такий підхід формує готовність до реальної комунікації та покращує підготовку офіцерів для роботи в національному та міжнародному військовому середовищі.

MAIN PROBLEMS IN TEACHING ENGLISH FOR SPECIFIC PURPOSES TO FUTURE SPECIALISTS IN THE FIELD OF CIVIL PROTECTION AND FIRE SAFETY

*O. Ryzhchenko, Candidate of Philological Sciences, Associate Professor
National University of Civil Protection of Ukraine*

The current pedagogical framework for teaching English for Specific Purposes to civil protection and fire safety specialists represents a structural failure in interdisciplinary education. By treating language as a peripheral academic subject rather than a critical operational tool, current systems fail to account for the unique cognitive, physical, and environmental demands of the present life demands. The crisis in this field rests upon a lack of terminological precision that mirrors physical phenomena, the phenomenon of psychological linguistic decay under extreme physiological stress, and the absence of international standardization across conflicting regulatory frameworks.

In the increasingly globalized landscape of emergency response, the ability of a fire safety specialist to communicate in English has shifted from a professional asset to a non-negotiable life-safety requirement. The modern specialist is no longer confined to local operations; they must interpret international building codes, manage cross-border forest fire coordination involving multinational task forces, and execute high-stakes urban evacuations. In these contexts, the language barrier is a point of structural failure.

Traditional English for Specific Purposes models are designed for the controlled, low-cortisol environment of the academic classroom. However, the actual practice of fire safety occurs in immediately dangerous to life or health environments defined by sensory overload and life-or-death decision-making.

The most immediate problem is the failure of current curricula to distinguish between general vocabulary and technical imperatives. In general linguistics, synonyms provide stylistic variety; in fire science, a synonym can lead to a line-of-duty death.

The distinction between a flashover – the near-simultaneous ignition of combustible material in an enclosed area – and a backdraft – an explosive event

caused by the sudden introduction of oxygen into a smoldering, oxygen-depleted fire – is not an academic nuance. It dictates the physical movement, tool selection, and survival tactics of a search and rescue team.

Furthermore, teaching must move toward semantic exactness. When a specialist learns the term “intumescent coating”, they must understand its chemical behavior – how it swells to form a carbonaceous char to protect structural steel. Pedagogy must be viewed through the lens of combustion physics, thermodynamics, and structural engineering.

Research indicates that once a specialist’s heart rate exceeds 145 beats per minute due to physical exertion or environmental danger, the ability to construct complex syntax collapses. This “Linguistic Decay” is the primary reason standard English for Specific Purposes fails in the field.

To combat this, the curriculum must adopt stress-integrated pedagogy. Foreign language training must be integrated into physical drills, requiring cadets to issue size-up reports, communicate vitals, and coordinate radio traffic while under simulated sensory deprivation, such as heavy smoke, high heat, and deafening noise.

A significant problem is also the “Normative Discrepancy”, where instructors provide “General Technical English” while the specialist is required to navigate specific, conflicting international legal frameworks and technical data sheets. Without a standardized international lexicon for Incident Command Systems, international teams may be physically present but linguistically isolated, leading to duplicated efforts, equipment incompatibility, or catastrophic tactical errors.

The siloing of expertise remains the central obstacle. Current systems produce specialists who know about the language but cannot use the language as a tool of intervention. To resolve this, we must advocate for a Content and Language Integrated Learning model that utilizes high-fidelity simulations to bridge the gap between theory and practice.

That is why the main goal of teaching English for Specific Purposes is to migrate the foreign language from the “academic” brain to the “reactive” brain. Only when a command in a foreign language becomes as instinctive and reliable as reaching for a Halligan tool or a fire extinguisher can the pedagogical gap be closed.

СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ІНШОМОВНОЇ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

М.К. Канчуга

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Сучасний розвиток військової освіти супроводжується змінами у підходах до організації іншомовної підготовки, що зумовлені передусім особливостями сприйняття інформації сучасною молоддю. Курсанти військових закладів освіти активно користуються мобільними пристроями як засобами комунікації, отримання інформації та навчання, що істотно впливає на їх навчальну мотивацію та стилі засвоєння навчального матеріалу. У таких умовах традиційні методи навчання іноземних мов, орієнтовані на роботу з друкованими матеріалами та виконання однотипних вправ, поступово втрачають ефективність і потребують переосмислення.

Одним із ключових викликів іншомовної підготовки військових фахівців є адаптація змісту та методів навчання до цифрового освітнього середовища.

Практика свідчить, що повністю обмежити використання мобільних пристроїв під час занять практично неможливо, тому більш доцільним є їх цілеспрямоване інтегрування у навчальний процес. Використання мобільних додатків, онлайн-платформ, інтерактивних вправ і професійно орієнтованих цифрових матеріалів сприяє підвищенню зацікавленості курсантів у вивченні іноземної мови.

Отже, сучасні виклики іншомовної підготовки військових фахівців пов'язані з необхідністю оновлення традиційних педагогічних підходів та активного використання цифрових технологій у навчанні. Інтеграція мобільних пристроїв у процес іншомовної підготовки сприяє підвищенню мотивації здобувачів освіти, робить навчання більш динамічним і забезпечує формування практичних іншомовних умінь, необхідних для ефективної професійної діяльності.

ВИКОРИСТАННЯ ТІНЬОВОГО ПОВТОРЕННЯ ЯК ЕФЕКТИВНОГО МЕХАНІЗМУ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ

Т.М. Кальченко; Т.В. Павліна

Харківський національний університет внутрішніх справ

Тіньове повторення – це техніка, яка полягає в прослуховуванні усної мови та її негайному повторенні вголос.

До основних переваг тіньового повторення відносять такі:

– Покращення робочої пам'яті.

Згідно з моделлю робочої пам'яті Бейдлі, фонологічна петля відповідає за зберігання та обробку звуків. тіньове повторення підтримує цю петлю в постійній активності, посилюючи розпізнавання звуків та розумову репетицію. Кадота виявив, що тіньове повторення покращує фонологічне кодування, що призводить до кращого короткострокового запам'ятовування мовних фрагментів.

– Розвиток точної вимови.

Синхронізуючись з голосом мовця в режимі реального часу, учні вдосконалюють інтонацію, контури висоти звуку та ритм. Дослідження Фути і Макдоноу та Морі показують значне поліпшення точності вимови та просодичної плавності у студентів, які вивчають англійську як іноземну мову, використовуючи тіньове повторення за допомогою мобільних інструментів.

– Покращення граматичних навичок.

Тіньове повторення сприяє неявному внутрішньому засвоєнню граматичних структур та лексичних фрагментів без свідомого аналізу. Він полегшує перетворення декларативних знань на вільне, автоматичне висловлювання.

– Покращення навичок аудіювання.

Оскільки він вимагає пильної уваги до вхідної інформації, тіньове повторення покращує розшифровку зв'язної мови, скорочень, елізій та слабких форм.

– Розвиток толерантності до когнітивного навантаження

Одночасний характер тіньового повторення тренує здатність обробляти вхідну та вихідну інформацію одночасно, розвиваючи розумову спритність та вільне володіння мовою під тиском.

Викладачі Харківського національного університету внутрішніх справ регулярно використовують цю техніку повторення на заняттях при роботі з навчальним посібником Taylor J., Dooley J. Police. Кожен урок складається з базового тексту за темою та діалогу, які озвучені на аудіотреках носіями мови. Крім того, є глосарій, до якого включені всі нові слова за темах, який теж озвучено. Тому у викладачів кафедри мовної підготовки мають можливість включати аудіотреки на кожному занятті з кожної теми і давати прослухати стільки разів, скільки буде потрібно. Перший раз курсанти слухають текст повністю. Потім вони слухають фрагменти тексту або речення. Завдання передбачає не просто слухати текст, а повторювати з інтонацією диктора.

Вивчати техніку тіньового повторення важливо для покращення розуміння мови на слух, оскільки вона дозволяє природно імітувати носіїв мови, синхронізуючи мовленнєвий апарат з аудіо-поток, що значно прискорює адаптацію до природного звучання мови. Це універсальний метод, простий у використанні. Він підходить кожному і для будь-якої мови і допомагає здобути впевненість у спілкуванні, подолати мовний бар'єр (особливо у воєнний час, коли доводиться "перевчати" курсантів через брак викладачів німецької та інших іноземних мов).

ВИКОРИСТАННЯ ФІЛЬМІВ ПРИ ПОЛІПШЕННІ ВИВЧЕННЯ ЛЕКСИКИ

Н.Л. Горбач; Ю.М. Бортник

Харківський національний університет внутрішніх справ

Одним із найефективніших способів збагачення словникового запасу є використання фільмів у навчальному процесі. Відеоматеріали створюють мовне середовище, максимально наближене до реальних умов спілкування, сприяють кращому розумінню лексики та допомагають студентам засвоювати нові слова й вирази в контексті.

На жаль, багатьом студентам бракує мотивації до вивчення англійської мови. Вони швидко втрачають інтерес, стають пасивними й невпевненими у своїх знаннях. Однією з причин цього є використання застарілих методів навчання, коли учні механічно заучують окремі слова без достатнього контекстуального пояснення. У результаті не формується міцна лексична база, а знання залишаються поверховими.

Фільми є джерелом автентичної, живої мови. Під час перегляду студенти чують природне мовлення носіїв, сучасні слова, ідіоми, фразові дієслова та сталі вирази. Це допомагає розширити словниковий запас і зрозуміти особливості вживання лексики. Візуальний супровід полегшує розуміння змісту та сприяє кращому запам'ятовуванню нових слів.

Важливою перевагою використання фільмів є підвищення мотивації до навчання. Перегляд цікавого сюжету стимулює бажання зрозуміти почуте. Учні запам'ятовують слова через асоціації з конкретними ситуаціями та персонажами, що сприяє довготривалому запам'ятовуванню.

Отже, використання фільмів у процесі вивчення іноземної мови є ефективним засобом збагачення лексики та розвитку комунікативної компетентності.

**FOREIGN LANGUAGE TRAINING AT HIGHER EDUCATION
INSTITUTIONS OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS
OF UKRAINE**

*L. Sazanova
Kharkiv National University of Internal Affairs*

Modern educational processes in the law enforcement necessitate the creation of a comprehensive pedagogical system that provides for an optimal combination of traditional and innovative approaches to the problem of developing foreign language communication skills of future law enforcers. Foreign language training of future police officers should be focused on the prospects of international cooperation and ensuring the mobility of scientists, teachers and students/cadets within the global educational and scientific space. An intensive search is underway for areas of study, teaching methods, their improvement, development and implementation in the educational process.

One such area is the introduction and improvement of distance learning technology in higher education institutions with specific learning conditions. The organisation of foreign language training through distance learning has a positive impact on the level of foreign language communication competence of future law enforcement officers in conditions of limited classroom teaching time. Modern distance learning programmes are a complex of synchronous and asynchronous technologies where all subjects of technological interaction are active simultaneously or at different times and cooperate via the Internet. It is important for police officers of the National police of Ukraine to successfully solve professional tasks and be ready to perform their duties both in Ukrainian-speaking and foreign-language environment. Foreign language training has become an integral and important part of professional training, and the goal is to develop cadets' readiness and ability for intercultural communication and practical mastery of foreign language communication skills.

**OPPORTUNITIES OF ADAPTIVE LEARNING IN TEACHING FOREIGN
LANGUAGES TO FUTURE OFFICERS**

*N. Benkovska, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Naval Institute of the National University "Odesa Maritime Academy"*

Modern military education is undergoing significant transformation under the influence of digitalization, operational challenges, and the necessity to ensure interoperability with NATO forces. Foreign language proficiency, particularly in English, has become a strategic component of professional training for future officers. Effective participation in multinational operations, international exercises and joint missions requires not only general communicative competence but also highly specialized military language skills.

In the context of foreign language teaching, adaptive learning systems can adjust lexical and grammatical complexity, task type and format, pace of progression, level of scaffolding and support, feedback mechanisms. For military education, where time constraints and operational readiness are critical, adaptive models offer significant pedagogical advantages.

Specific Features of Foreign Language Training for Future Officers Teaching foreign languages in military higher education institutions has distinctive characteristics: 1. Professional orientation – focus on military terminology, operational communication, and NATO standards. 2. Standardization requirements – alignment with STANAG 6001 language proficiency levels. 3. Time limitations – intensive training schedules combined with tactical and physical preparation. 4. Heterogeneous language backgrounds – cadets often demonstrate varying initial proficiency levels. 5. High-stakes assessment – language competence directly influences career opportunities and mission eligibility. These factors necessitate a flexible instructional model capable of addressing both institutional standards and individual learner needs.

Opportunities of Adaptive Learning in Military Language Education are the following ones: 1. Personalized Learning Trajectories Adaptive systems enable the creation of individualized learning paths based on diagnostic assessment results. Cadets with insufficient grammar competence may receive additional micro-modules, while advanced learners can focus on professional communication tasks such as briefing simulations or operational reporting. 2. Competency-Based Progression Instead of progressing strictly according to a fixed curriculum timeline, cadets advance upon mastering specific competencies. This approach aligns with military performance standards and STANAG descriptors. 3. Integration of Artificial Intelligence. AI-powered tools can analyze learner errors, predict areas of difficulty, provide instant corrective feedback, generate profession-specific vocabulary exercises, and simulate operational communication scenarios. Such technologies increase training efficiency and allow instructors to focus on higher-order communicative tasks. 4. Simulation of Real-Life Military Communication. Adaptive platforms can incorporate scenario-based tasks: radio communication drills, multinational briefing simulations, crisis-response dialogues, negotiation and coordination exercises. The system adapts scenario complexity according to learner proficiency, ensuring gradual professional immersion. 5. Continuous Formative Assessment Adaptive learning environments collect performance data and provide real-time analytics. This enables monitoring individual progress, identifying competence gaps, adjusting instructional strategies, supporting evidence-based decision-making. For military institutions, such monitoring enhances accountability and training transparency.

To successfully integrate adaptive learning into foreign language instruction for future officers, several conditions must be ensured: development of digital infrastructure in military institutions, instructor training in adaptive pedagogy and educational analytics, alignment of adaptive modules with military professional standards, ethical use of AI technologies and data protection compliance, combination of adaptive online tools with communicative face-to-face practice.

Despite its potential, adaptive learning implementation faces certain challenges: high cost of technological infrastructure, resistance to pedagogical change, risk of over-reliance on automated systems, need for high-quality profession-oriented digital content, cybersecurity considerations in military institutions.

Adaptive learning represents a strategic opportunity for modernizing foreign language instruction in military higher education institutions. It enhances personalization, increases efficiency, supports competency-based progression, and

integrates artificial intelligence into professional training. For future officers, adaptive foreign language instruction contributes not only to linguistic competence but also to operational readiness, intercultural communication skills, and professional mobility within international military cooperation frameworks.

References:

1. Беньковська, Н. Б. Характеристика критеріїв і показників професійної комунікативної готовності майбутніх офіцерів Військово-Морських Сил Збройних Сил України. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. № 97(2024). С. 10 – 15.

LANGUAGE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS IN THE CONTEXT OF PROFESSIONAL COMMUNICATION

O. Lemberskyi

Naval University of "Odesa maritime academy"

The training of military specialists, which is carried out in wartime conditions, is undergoing significant changes, oriented towards the possibility of taking into account combat experience in the educational and professional process. The military leadership pursues a clear policy in the field of military education, taking into account the current requirements of the national security system. The successful performance of combat missions by combat units depends on the training and coordination of the unit itself and its professional leadership. Therefore, the Ukrainian army needs commanders who are trained and prepared according to the standards of training of advanced countries of the world and NATO member states. Military professional education is changing and being significantly reformed. An important task in modern conditions is the formation of a new system of training military specialists, which is caused by the crisis military-political situation in Ukrainian society. Bringing military education to a qualitatively new level, ensuring the country's defense capability and protecting the population are urgent issues of today. During professional training, it is worth realizing that future officers not only acquire knowledge, but also work in conditions that simulate future professional activity. In order to form models of behavior and skills necessary for future professional cooperation in maintaining peace and security, it is necessary to familiarize cadets with the features of their future professional activity. Therefore, it is advisable to model various situational tasks that allow cadets to study aspects related to cultural tradition, social factors and the specifics of the language of a specific cultural and linguistic community language barriers, features of non-verbal communication, analysis of perception, stereotypes, circumstances of time and place, features of the movement of information.

FEATURES OF ENGLISH LANGUAGE LEARNING FOR MILITARY PERSONNEL

O. Lemberskyi

Naval University of "Odesa maritime academy"

Practical classes, role-playing games, business situations, and the use of traditional and innovative technologies for teaching foreign languages help to revitalize the educational process. Extracurricular reading is the most important

element of learning a foreign language. The purpose of these classes is to acquire skills for independent work with a text in a foreign language, improve comprehension of what is read to obtain the necessary information, expand vocabulary and consolidate the learned grammatical structure. An important place in improving the quality of education is occupied by the independent work of cadets, which is an important element of the educational process and is aimed at integrating and improving the acquired knowledge and skills. A person-oriented approach to learning a foreign language allows to take into account new information technologies, cadets' abilities, level of language training and interests. The methodology for teaching foreign languages in educational institutions of the security and defense sector should be built taking into account the optimal ratio of reading, speaking, writing and listening at different stages of learning and their interconnection, professionally oriented learning and individualization of learning. This provides a certain algorithm for the gradual formation of language skills and abilities in the education system. During practical classes and independent extracurricular activities, cadets are immersed in co-creation and active communication activities, therefore, knowledge of a foreign language is required for studying in universities of the security and defense sector of Ukraine.

Thus, the introduction to grammar takes place in a foreign language, which does not disrupt the communicative environment of practical classes and allows you to avoid the wrong path "from grammar to language". Participants in the educational game adhere to 2 tactics of game behavior, mainly corresponding to the type of language exercises, according to the rules.

РОЛЬ ВІЙСЬКОВОГО ФАХІВЦЯ ЯК ВИКЛАДАЧА ІНОЗЕМНОЇ МОВИ У ПІДГОТОВЦІ

*А.О. Римаришина; Ю.О. Сичевський, к.пед.н., доц.
Національна академія Державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

В сучасних умовах іноземна мова для офіцера-прикордонника вже не просто навчальна дисципліна, а реальний робочий інструмент. Особливе значення має викладач-військовослужбовець, який поєднує глибоку мовну підготовку з практичним досвідом служби.

Такий підхід вигідно вирізняється своєю прикладною спрямованістю. Навчання будується навколо типових службових сценаріїв: паспортний контроль, радіопереговори, опитування іноземних громадян. Завдяки цьому забезпечується сумісність із стандартами НАТО.

Викладач-військовослужбовець також виступає ментором: за допомогою симуляційних вправ допомагає курсантам подолати страх і невпевненість у критичних ситуаціях. Його особистий приклад переконливо демонструє, що якісне володіння іноземною мовою безпосередньо впливає на кар'єрні перспективи та здатність надійно захищати кордон держави в глобалізованому безпековому просторі.

СЕКЦІЯ 21

МОВНА ПІДГОТОВКА ТА СЕРТИФІКАЦІЯ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

Керівники секції: к.т.н. доц. полковник Бекіров А.Е.;
к.філол.н. прац. ЗС України Волкова М.С.
Секретар секції: к.п.н. доц. прац. ЗС України Єрстова-Михалусь І.Б.

INTENSIVE TECHNICAL ENGLISH COURSES AS A MEANS OF IMPROVING THE PROFESSIONAL COMPETENCE OF AVIATION SPECIALISTS

*A. Bekirov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
M. Volkova², Candidate of Philological Sciences
¹Ministry of Defence of Ukraine;*

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In today's world of rapid development of aviation technologies and integration into the international aviation space, the training of aviation engineers capable of performing their professional duties in English is of particular importance. In the context of globalization of the aviation industry and growing requirements for the standardization of aircraft maintenance at the international level, proficiency in English is considered one of the key components of professional training for aviation engineers. In this context, technical English serves not only as a means of intercultural communication, but also as an important tool for ensuring the efficiency and safety of professional activities.

Intensive technical English courses, characterized by a high degree of concentration of educational material and a practical focus of the educational process, are an effective mechanism for developing the relevant competencies. A distinctive feature of such courses is their ability to ensure accelerated acquisition of foreign language knowledge and skills necessary for solving professional tasks in the field of technical operation of aviation equipment. Intensive training provides a high concentration of educational material in a limited period of time, which contributes to the rapid formation of the necessary skills: working with aviation documentation, understanding technical descriptions, instructions, manuals and authentic texts. In addition, this format of training stimulates the development of cadets' speech activity, develops the ability to apply terminology in professional situations and increases the level of readiness for intercultural communication.

The effectiveness of intensive courses is confirmed by a number of examples of their practical implementation: working with aviation documentation (Aircraft Maintenance Manuals, Fault Isolation Manuals, Illustrated Parts Catalogues), which helps develop skills in analyzing and translating authentic technical texts; modeling professional situations, in particular conducting technical briefings, compiling fault reports, communicating in emergency maintenance conditions; project activities related to the preparation of foreign-language presentations on innovative technologies in aviation; integration of digital resources (Moodle, Quizlet, Kahoot, etc.), which increases the effectiveness of terminology processing and contributes to the individualization of the learning process. The use of modern methods – simulators, digital platforms, multimedia resources – in combination with an intensive program allows for the creation of a practice-oriented learning

environment that is as close as possible to the real conditions of aviation equipment operation.

The results of the intensive courses show that they have a positive impact on the professional training of aviation engineers. In particular, they contribute to: the development of critical analysis skills for technical texts; the improvement of communication skills in the context of professional interaction in a multinational team; and an increase in readiness for international language exams and certification tests (ICAO English for Aviation).

Intensive technical English courses can be considered one of the leading means of improving the professional competence of future aviation specialists. They ensure the integration of language training with professional needs and facilitate the adaptation of specialists to international standards of aviation activity.

MOTIVATIONAL STRATEGIES IN TEACHING AVIATION ENGLISH TO STUDENTS OF NON-LANGUAGE SPECIALITIES

*O. Zelenska, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Aviation English is a key element in the training of military cadets, as it ensures safe flight operations, effective communication with air traffic controllers, and compliance with ICAO international standards. The peculiarities of training cadets in non-linguistic specialities lie in their low level of language proficiency, limited vocabulary and the complexity of aviation terminology. In this context, the use of motivational strategies that increase the effectiveness of the learning process and the activity of cadets when studying aviation English becomes particularly relevant.

Cadets' motivation includes both intrinsic and extrinsic components. Intrinsic motivation is associated with satisfaction derived from the learning process and the acquisition of professional skills, whereas extrinsic motivation is related to the assessment of learning outcomes and the achievement of defined goals. For military cadets, it is essential to ensure a balance between these components in order to develop sustainable motivation to study Aviation English.

Practical motivational strategies in teaching Aviation English to cadets of non-linguistic specialities are primarily implemented through aligning educational content with real professional situations. One of the key strategies is the use of scenario-based and situational learning, which involves modelling typical and non-standard aviation events, such as pre-flight and post-flight briefings, information exchange among crew members, actions in the event of system failures, or emergency situations. Such tasks enable cadets to realize the practical value of English language proficiency as a tool for professional safety rather than merely an academic subject.

The implementation of communicative-oriented tasks with clearly defined professional objectives plays a significant role in enhancing motivation. Pair and small-group work, role-playing activities, and the analysis of real aviation incidents adapted to cadets' language proficiency levels contribute to increased engagement and responsibility for learning outcomes. Additional motivation is fostered through the use of authentic materials, including fragments of radio communication, technical documentation, standard operating procedures, and aviation-related video materials, which emphasize the connection between learning and future professional service.

An equally effective strategy is the gradual increase in task complexity combined with clear documentation of cadets' achievements. Regular feedback focused not only on errors but also on progress helps develop a sense of success and supports intrinsic motivation. The use of formative assessment elements is considered appropriate, as it enables cadets to understand the criteria for successful task performance and to independently evaluate their own level of language proficiency.

Special attention should be paid to the development of cadets' autonomy by involving them in the selection of topics, task formats, and types of activities within the curriculum. Even limited choice enhances the sense of control over the learning process and promotes greater responsibility. Taken together, these practical strategies contribute to the creation of a motivation-supportive learning environment oriented toward the professional needs of future aviation specialists and the overall improvement of educational effectiveness.

The implementation of motivational strategies leads to increased cadets' interest in learning, activation of both intrinsic and extrinsic motivation, improved acquisition of aviation terminology and standard phraseology, as well as the development of practical communicative skills necessary for the safe performance of aviation tasks. Motivational strategies represent a key tool for enhancing the effectiveness of Aviation English instruction, while the combination of gamification, digital platforms, and artificial intelligence tools enables the creation of an individualized and interactive learning environment. The application of these strategies facilitates the formation of cadets' professional readiness, increases learning engagement and outcomes, and ensures the practical application of knowledge in real aviation contexts. Further research may focus on investigating the impact of motivational strategies on cadets' autonomy, critical thinking, and communicative competence.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING AVIATION ENGLISH

*I. Yerastova-Mykhalus, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Aviation English is a mandatory component of the professional training of pilots, air traffic controllers and other aviation industry specialists. Due to the digitalization of education and the rapid development of technologies, the use of artificial intelligence (AI) as a tool for optimizing the educational process is becoming relevant.

The use of AI in teaching aviation English is implemented through such technological solutions as: intelligent learning platforms that adapt educational content in accordance with the level of language training of the cadets and ICAO requirements; language simulators and trainers that reproduce real radio exchange scenarios; automatic speech recognition systems that allow analyzing pronunciation, speech rate, intonation and accuracy of using standard phraseology; automated assessment systems capable of diagnosing language level according to the ICAO scale.

The advantages of using AI are individualization of learning and taking into account personal educational needs; increasing motivation through interactive forms of learning; the possibility of continuous practice of speaking in conditions close to real ones; reducing subjectivity in language skills assessment.

Despite the advantages, the implementation of AI has certain difficulties. Among them are the high cost of software, the limited ability of algorithms to take into account the communicative context, as well as the need to combine automated learning with pedagogical control by the teacher.

Thus, AI is a promising tool for improving the process of teaching aviation English. Its use contributes to increasing the efficiency of language training, the formation of professionally oriented communicative skills and compliance with international ICAO standards. Further research should be aimed at developing comprehensive models for integrating AI into aviation language education, taking into account pedagogical, technical and ethical aspects.

INTENSIVE AVIATION ENGLISH TRAINING IN MILITARY HIGHER EDUCATION: THEORETICAL FOUNDATIONS AND IMPLEMENTATION PREREQUISITES

*A. Savytska, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Training military aviation specialists today is impossible without proficiency in Aviation English at a level that ensures effective interaction with international partners. Intensive foreign language training makes it possible to achieve high results in a short time, which is critically important for military education.

Intensive training is based on concentrated language acquisition through increased contact hours, practical exercises, overcoming psychological barriers, and modeling real professional situations. Unlike traditional theory-focused courses, it prioritizes live practice, constant repetition, and active use of language structures.

Aviation English, with its standardized radio phraseology, specialized terminology, and clear procedures, is well suited for intensive study, as the material can be structured into logical modules and mastered sequentially. From a psychological perspective, frequent repetition, visible progress, and emotionally engaging scenarios enhance motivation and learning efficiency, especially for cadets accustomed to stress and rapid decision-making.

The experience of NATO countries confirms that intensive courses effectively prepare pilots and controllers for international certification and standardized communication during joint operations. However, military aviation requires consideration of limited preparation time, strict subordination in radio communication, high cognitive load, and high-risk conditions.

Therefore, successful implementation demands adequate resources, qualified instructors, adapted curricula, and consideration of military specifics. Intensive Aviation English training is a promising tool for rapid professional preparation, provided it is supported by a systematic and comprehensive approach.

FEATURES OF AUTOMATED ASSESSMENT OF STUDENTS' LANGUAGE TRAINING KNOWLEDGE IN THE MOODLE

*O. Shlapak, Ph.D. (Economic Sciences), Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Today it is difficult to imagine the educational process at a modern university without the use of information technologies and, in particular, automated systems for assessing student knowledge. The Moodle system is one of the popular open

distance learning systems and is actively used at the I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University. The student interacts with the learning system through an interactive module.

The main features of Moodle include: open access; a wide range of tools; functionality; various ways of material presenting; various tools for checking knowledge; active development due to popularity and use by many universities.

To study the course “Foreign Language (General Military Course)”, it is necessary to form tests in such a way that all categories: closed, open, with one correct answer, with several correct answers, matching, with a numerical answer, with a text answer – are used in the array of text tasks. If we talk about the professional disciplines of the Flight Faculty, then the general approach should be based on the following projections: 1. Tests on knowledge of basic professional terms in English. 2. Tests on knowledge of professional English grammar. 3. Tests on practical speaking and listening skills acquired in practical classes and during independent work. To create an effective testing system for intermediate and final control of students' knowledge, it is necessary to build an integrated technological environment that would include and unite into a single technological process of action for the implementation of certain control functions, monitored student activity, contained an assessment of the quality of tests and tools for convenient formation of test tasks taking into account methodological features.

LANGUAGE TRAINING IN HIGHER MILITARY EDUCATIONAL INSTITUTIONS: THE ROLE OF FEEDBACK

V. Velychko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern foreign language teaching, student feedback has gradually changed from a secondary element into a significant part of an effective, reflective, and student-centered learning process. Education is becoming more humanistic and collaborative between teachers and students. Thus, it is essential to consider students' opinions, needs, and expectations. Feedback collected at the end of the semester or academic year plays a pivotal role in pedagogical reflection. For teachers, it provides insight into the effectiveness of their teaching methods and identifies the strengths and weaknesses of the course. For students, it helps them understand their progress, recognize problems, and plan further learning.

Recent studies show that feedback is a key factor in learning motivation and academic success. It informs students about their results and encourages them to correct mistakes, understand material better, and participate more actively. Researchers emphasize that feedback should be timely, clear, specific, personalized, and emotionally supportive, creating a safe learning environment. The use of feedback is based on the constructivist approach, viewing learning as an active process of building knowledge through experience and reflection. Feedback becomes a form of cooperation between teacher and student, supporting self-regulated learning and metacognitive skills.

Feedback is especially significant in specialized educational settings, such as military institutions, where students study in small groups and follow professionally oriented courses. Integrating systematic, reflective, and visual feedback at the end of the semester can improve English teaching, adapt to cadets' needs, strengthen motivation, and enhance professional readiness.

THE ROLE OF AVIATION SLANG IN TEACHING ESP

A. Koval

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Within aviation English, one of the most dynamic yet pedagogically challenging components of authentic communication is aviation slang. Although traditionally excluded from formal curricula because of its perceived informality and lack of standardization, aviation slang plays a significant role in real-world professional interaction. The paper examines the role of aviation slang in teaching ESP, arguing that its principled integration enhances communicative competence, pragmatic awareness, and professional identity formation among aviation specialists.

While grammatical competence and standardized phraseology remain non-negotiable in aviation safety contexts, pragmatic and sociolinguistic competence are equally essential. Learners must be able to recognize when slang is appropriate, who can use it, and in which communicative settings it is acceptable. For example, the informal exchanges between pilots during pre-flight briefings differ significantly from pilot–air traffic controller communication during critical phases of flight. Teaching aviation slang within clearly defined pragmatic boundaries helps learners distinguish between operationally safe language and socially functional language.

Another important contribution of aviation slang to ESP instruction lies in motivation and learner engagement. ESP learners, particularly adult professionals or cadets, often value content that reflects authentic workplace realities. Introducing slang terms encountered in real-life scenarios, training manuals, or anecdotal accounts can increase perceived relevance and credibility of the course. This relevance fosters intrinsic motivation, which has been shown to positively influence language acquisition outcomes. The role of aviation slang is also significant in the development of professional identity.

AVIATION ENGLISH AND THE DIGITALIZATION OF EDUCATION: FORMING INDEPENDENT LEARNING ACTIVITIES AMONG TECHNICAL CADETS

I. Zhuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern aviation industry imposes strict requirements on the linguistic and professional training of specialists. Aviation English is a specialized skill essential not only for pilots and air traffic controllers but also for engineers, maintenance personnel, and managers.

Aviation English includes standardized phraseology, technical vocabulary, skills for reading documentation, and intercultural communication. This skill is integrated into engineering training as an element of professional literacy: the ability to read and translate technical descriptions of aircraft systems and maintenance procedures, the capacity to compile reports in English, and the ability to interact with foreign partners.

Digitalization opens up new opportunities for organizing independent learning activities, making education flexible, personalized, and more closely aligned with professional practice. In the context of aviation English, this is manifested in

systematic work with updated regulations, independent study of corpus and audio materials all of which are supported and expanded through modern tools.

Examples of such tools and platforms include learning management systems (Moodle, Canvas), adaptive services (Smart Sparrow), audio and transcription tools (TranscribeMe), video platforms for feedback (Flipgrid), tools for creating micro-lessons and mobile assignments (Quizlet), and collaborative work tools (Google Workspace). These resources directly support the described forms of independent work, providing access to up-to-date materials, adaptive feedback, and opportunities for practice in conditions close to reality.

The hybrid learning model demonstrates a clear advantage: face-to-face sessions remains the foundation for developing practical skills and interpersonal communication, while digital formats allow for the consolidation of material outside the classroom, the modeling of real-world professional tasks, and real-time progress tracking.

Thus, digitalization creates an infrastructure for the systematic formation of independent learning activities among technical university cadets: it provides the tools for planning, adaptation, monitoring, and reflection necessary for the professional development of a mechanical engineer.

TEACHING SPEAKING AS A PROFESSIONAL SKILL

N. Zhuravlova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The reform of military education in Ukraine and its integration into NATO standards require a high level of English proficiency, especially in speaking. Future officers must perform tasks such as giving commands, reporting, coordinating actions, and participating in joint operations. However, many cadets demonstrate good grammatical knowledge but insufficient spoken fluency. This discrepancy reveals the need to rethink how speaking is taught in military English courses.

Military communication differs from everyday speech. It is time-critical, high-risk, interactive and highly procedural. Officers must respond immediately, manage turn-taking in radio communication, use fixed phraseology, and adapt their speech to rapidly changing situations. In such conditions, communication is based not on sentence-building but on fast retrieval of memorized lexical chunks such as "Request immediate support", "Enemy in sight," "Hold your position," etc.

Traditional military English teaching is often based on written documents: manuals, reports, and regulations. However, spoken military English follows different principles such as short command structures, ellipsis, formulaic expressions, standardized phraseology, intonation-based meaning (urgency, threat, confirmation).

Written grammar does not reflect how orders, warnings, and coordination are performed in real operations. Therefore, relying mainly on written texts does not prepare cadets for real operational communication.

In a military context, speaking is not merely a linguistic activity but a professional skill comparable to navigation or tactical movement. It must be trained through scenario-based simulations, role-plays of operational situations, radio communication drills, command and briefing practice, time-limited interaction tasks.

These activities develop not only accuracy but fluency, reaction speed, and interactional control.

Another important factor is the psychological and cognitive load under which military communication occurs. In real operations, officers speak while under stress, fatigue, time pressure, and responsibility for personnel and mission success. These conditions significantly affect speech production, making spontaneous grammatical processing unrealistic. Therefore, effective military communication relies on automatized speech patterns, predictable interaction models, and practiced communicative routines. Teaching speaking without simulating these cognitive constraints results in a gap between classroom performance and operational reality, further emphasizing the need for stress-informed, task-based speaking instruction in military English courses.

Military English curricula should include a structured “speaking-as-skill” component, focusing on operational phraseology, interaction management, fluency under time pressure, mission-oriented communication.

Assessment should evaluate not only grammatical correctness but also clarity of commands, speed of response, communicative effectiveness and ability to cooperate in dialogue.

For Ukrainian military cadets, English speaking competence is a mission-critical skill. Teaching speaking as a separate and professionally oriented skill allows future officers to move from “vocalizing grammar” to real operational communication. Integrating speaking-as-skill into military language education is essential for achieving NATO-level communicative readiness.

CHALLENGES AND SOLUTIONS IN TEACHING ENGLISH TO AVIATION AND AIR DEFENSE PERSONNEL IN MILITARY UNIVERSITIES

O. Kravchuk¹; S. Lotoshnikova²

¹Warsaw Language school Lang Lab;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

English for aviation and air defense is a key tool for future officers, as international cooperation within NATO, participation in peacekeeping operations, and access to technical documentation require a high level of language proficiency. However, teaching in military universities presents a number of specific challenges.

One of the problems is that military aviation and air defense vocabulary is highly specialized and requires systematization and in-depth contextual explanation. Moreover, domestic textbooks often do not cover modern NATO and ICAO terminology. To solve this problem, we can suggest using authentic NATO and ICAO documents, aviation weaponry manuals, and standard radio communication procedures. Another challenge is that military university curricula are overloaded with professional disciplines, so there are not enough hours for English. This means that cadets have to do part of their training independently, using various additional language learning resources (special educational platforms, applications, audio and text resources, YouTube channels, etc.). Only motivated cadets will work autonomously. That is why one of the main principles of effective teaching is to increase cadets' motivation by incorporating modern approaches and teaching techniques into English classes from the very beginning of the course.

SPECIFIC FEATURE OF FOREIGN LANGUAGE TRAINING FOR AVIATION CADETS

K. Borysenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Foreign language training for aviation cadets must be professionally oriented and closely aligned with authentic operational contexts. The emphasis should be placed on Aviation English as a language for specific purposes (LSP), rather than on General English. Instruction must incorporate standard radiotelephony phraseology, ICAO-approved terminology, and situational communication relevant to cockpit–ATC interaction.

Training programs must comply with the requirements of the International Civil Aviation Organization (ICAO), particularly the ICAO Language Proficiency Requirements (LPR). Achieving at least ICAO Operational Level 4 is mandatory for safe participation in international aviation operations.

Aviation communication frequently occurs under time pressure and psychological stress. Instruction should include simulation of emergency scenarios, technical malfunctions, and non-standard operational situations to develop rapid response skills, linguistic resilience, and stress tolerance.

Aviation communication combines standardized phraseology with the ability to switch to plain English in non-routine situations. Cadets must use standardized expressions accurately, maintain clarity and brevity, avoid ambiguity, and adapt language when phraseology is insufficient.

Listening comprehension is crucial due to the diversity of international accents, radio interference, and the high speech rate of authentic ATC communication. Authentic audio materials and simulator-based training are essential.

Language training should be integrated with professional disciplines such as navigation, meteorology, aircraft systems, and flight safety. Content-based instruction enhances motivation and ensures professional relevance.

Assessment should evaluate pronunciation intelligibility, fluency, interaction management, and comprehension in operational contexts. Performance-based assessment methods such as simulations and role-plays are more effective than traditional written examinations.

Effective training must foster cognitive flexibility, decision-making in English, and rapid information processing skills. Task-based and scenario-based learning approaches are particularly appropriate in aviation language education.

DIDACTIC APPROACHES TO TEACHING ENGLISH IN LARGE MIXED-LEVEL LEARNING GROUPS

I. Horbov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In higher military educational institutions, such as the Ivan Kozhedub National Air Force University (KNAFU), teaching English faces unique challenges. Cadets often form large groups (up to 30 people) with varying levels of preparation: from A1 to B1, rarely B2. This situation stems from the diverse backgrounds of cadets, a rigorous military training schedule, and the urgent need for practical skills for international operations (e.g., within NATO frameworks). Traditional teaching

methods fail to account for this heterogeneity, leading to demotivation and uneven progress.

At KNAFU, cadets study English as a tool for professional communication: reading technical manuals, negotiating with allies, or conducting flight simulations. However, large groups with mixed levels create barriers: weaker cadets fall behind, while stronger ones get bored, and the lecturer cannot individually supervise study group. Additional factors include military discipline, limited class time, and a focus on practice. The traditional approach (grammar + tests) reinforces “dualistic thinking” (according to Perry’s scheme), where errors are perceived as failure rather than an opportunity. This reduces motivation, especially in a military environment where flexibility is essential.

These strategies are based on flexibility, collaboration, and real-world scenarios, integrating technology for large groups.

1. Needs Analysis

Start with diagnostics. In the first lesson, use quick tests (e.g., online surveys via Google Forms or Kahoot) to assess levels A1–B1. In the KNAFU context, we add questions about military experience. This helps divide the group into functional subgroups: stronger students act as leaders, while weaker ones focus on basic vocabulary. The result is a personalized plan where weaker cadets work on simple communication (e.g., in-flight commands) and stronger – work on analysis.

2. Differentiated Instruction

Adapt the content, process, and product. For large groups at KNAFU:

Tiered Tasks: Basic level (A1) – simple dialogues about daily life in the barracks; Intermediate (A2) – describing aviation equipment; Advanced (B1) – debates on air operation tactics.

Mini-Lessons: Dedicate 10–15 minutes to subgroups – explain basic grammar to weaker students while stronger students work on extended exercises (e.g., translating NATO documents).

Multimodal Learning: Use visuals (YouTube videos on aviation), audio (podcasts about military missions). This method increases efficiency by utilizing military discipline: cadets learn to work autonomously, just as they would in real operations.

3. Flexible Grouping

Avoid fixed groups; rotate them every 2–3 classes.

Peer Tutoring: B1 cadets help A1/A2 cadets in pairs – for example, explaining terms like “takeoff” or “landing gear”, which develops leadership skills.

Mixed Small Groups: Divide 30 people into 5–6 groups for cooperative learning – creating a joint glossary of aviation terms, where everyone contributes according to their level.

Role Rotation: In simulations (e.g., pilot radio communication), weaker cadets repeat standard phrases, while stronger ones improvise.

4. Open-Ended and Ongoing Activities

Tasks with flexible outcomes for different working speeds:

Time Challenges: “Describe a flight in 5 minutes” – A1 writes 3 sentences, B1 writes a detailed paragraph.

These didactic approaches allow for effective English teaching in the large, heterogeneous groups at KNAFU, turning challenges into opportunities. They develop not only language skills but also critical thinking, teamwork, and professional competencies. Recommendations: conduct teacher training, integrate PBL, and perform empirical research within the university environment. This will ensure cadets are prepared for real-world challenges.

LINGUODIDACTIC ASPECTS OF TEACHING ENGLISH IN THE PROCESS OF TRAINING CADETS IN THE SPECIFICS OF TECHNICAL TRANSLATION

V. Savytska

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In the modern system of education, the competence-based approach plays a central role. By the end of their studies, cadets are expected to achieve a defined level of knowledge, skills, and abilities that enable them to solve both theoretical and practical professional tasks. Within this framework, foreign language instruction (particularly English) acquires special significance.

A key component of training cadets in technical translation is the mastery of specialized terminology. Terminological vocabulary possesses substantial professional and communicative potential, as it forms the foundation of effective interaction in a specific field. The development of foreign language communicative competence in this context involves a комплекс of pedagogical measures, including the careful selection of field-specific terminology, the identification of effective strategies for acquiring terminological units, and their accurate and appropriate use in speech activity.

The practical implementation of these measures requires the activation of cadets' cognitive activity, the development of creative thinking, and the enhancement of learner autonomy manifested in practical tasks. Teaching the specifics of technical translation in the process of learning English is therefore a significant and responsible task. It demands a high level of professional competence from both cadets and instructors.

Mastering the translation of technical terminology not only enables cadets to work with scientific literature in the original language but also contributes to their professional growth. It enhances their ability to perform effectively in their field and to solve professional problems in a productive and competent manner.

THE PROSPECTS FOR APPLYING FOREIGN EDUCATIONAL EXPERIENCE IN UKRAINE

S. Kuzmenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

A characteristic feature of universities is their contribution to the progress of civilization through scientific research and the implementation of new forms of higher education. The higher education systems of every country are being improved to meet the challenges of the modern world. There are differences in the structure, management, and training of future specialists in different countries, which leads to their division into models.

Historically, three main models of education have been formed in the field of higher education: binary, differentiated, and unitary. The prospects for applying foreign educational experience in Ukraine lie in effectively adapting international best practices to national cultural and institutional contexts, which can significantly enhance the quality, accessibility and inclusiveness of the Ukrainian higher education system. In pedagogical science, the study of foreign educational experience is based on the principles of comparative education, educational globalization, and educational modernization. Scholars emphasize that analyzing

international educational models enables countries to identify effective practices and adapt them to national contexts. Researchers such as S. Tolochko and M. Timenko analyze educational reforms in Ukraine within the context of European integration, highlighting the role of international standards, competency-based education, and quality assurance mechanisms. V. Riznyk focuses on adapting foreign pedagogical practices to foster critical thinking among students in higher education institutions. These studies confirm that learner-centered approaches, project-based learning, and competency-oriented curricula used abroad can significantly improve educational outcomes in Ukraine. International practices in digital learning, blended education, and distance education are especially relevant for Ukraine. The prospects for applying foreign higher educational experience in Ukraine are promising due to its potential to: modernize national curricula and assessment systems; enhance teacher professional development through international partnerships; strengthen education governance and quality assurance practices.

ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ОФІЦЕРІВ НГУ ДО ТЕСТУВАННЯ ЗА СТАНДАРТОМ STANAG 6001 В УМОВАХ МІЖВІДОМЧОЇ ВЗАЄМОДІЇ З АВІАЦІЙНИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ

О.П. Дружинін

Київський інститут Національної гвардії України

Сучасна архітектура безпеки та оборони України вимагає від офіцерів Національної гвардії України (далі – НГУ) не лише високої тактичної підготовки, а й здатності ефективно взаємодіяти з різними родами військ, зокрема з авіаційними підрозділами в межах спільних операцій. Ключовим інструментом такої взаємодії є володіння іноземною мовою на визначених рівнях, що відповідають стандарту НАТО STANAG 6001.

Процес підготовки курсантів у Київському інституті НГУ відзначається низкою особливостей, визначаються потребою поєднання загальновійськової лексики зі спеціалізованою термінологією у сфері авіаційної підтримки. Основними викликами під час підготовки до мовного тестування є:

Термінологічна конвергенція. Офіцер НГУ повинен вільно оперувати поняттями “безпосередня авіаційна підтримка” (CAS) та “координація вогню”, що потребує знання специфічних абrevіатур та процедур мовного обміну.

Стресостійкість у комунікації. На відміну від академічного середовища, сертифікація за STANAG 6001 передбачає перевірку здатності передавати та сприймати та інтерпретувати релевантної інформації за наявності перешкод або в умовах часових обмежень, що імітує реальну взаємодію з екіпажами гелікоптерів чи БПЛА.

Аудіювання в умовах шуму. Важливим аспектом є тренування навичок сприйняття мовлення на слух, де фоном звуком виступає робота двигунів або радіоперешкоди, що є критичним для координації дій підрозділів НГУ з авіацією.

Міжвідомча взаємодія диктує потребу у впровадженні інтегрованих занять. Використання сценаріїв, де курсант виступає в ролі авіанавідника або офіцера зв'язу, дозволяє не лише готувати до екзаменаційних вправ (Reading, Listening, Speaking, Writing), а й формувати практичну готовність до виконання бойових завдань.

Підсумовуючи, успішна мовна підготовка майбутніх офіцерів залежить від фокусування на практичних аспектах взаємодії “земля-повітря”. Це дозволяє вийти за межі суто лінгвістичної підготовки та інтегрувати мовну компетенцію безпосередньо в професійну діяльність військовослужбовця.

SPECIFIC FEATURES OF LEARNING ENGLISH RADIOTELEPHONY PHRASEOLOGY

*A. Shulha; P. Trubina
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In contemporary conditions of globalized professional communication and intensified international cooperation, the importance of standardized linguistic means for specific purposes is steadily increasing.

A special role is played by English radiotelephony phraseology, which functions as a specialized language subsystem for professional interaction in aviation, military operations, and emergency services. Its study is particularly relevant due to the necessity of ensuring error-free communication under time pressure, signal interference, and heightened responsibility for decision-making. Linguo-didactic analysis of this subsystem makes it possible to optimize training methodologies for specialists whose performance directly depends on linguistic accuracy.

English radiotelephony phraseology constitutes a specialized language subsystem with a high level of normativity and functional restriction. Its linguistic specificity lies in formulaicity, semantic unambiguity, standardized syntactic models, and pragmatic orientation toward efficient information transfer.

Mastery of this sublanguage requires a specialized teaching methodology combining communicative, competence-based, and professionally oriented approaches. The practical significance of the study lies in improving training programs for specialists whose professional duties involve radio communication (military personnel, pilots, air navigators, air traffic controllers, rescuers), as well as in enhancing the safety of professional interaction.

Prospects for further research include the development of electronic simulators, corpora of radio phrases, and automated systems for assessing speech accuracy.

LISTENING COMPREHENSION AS A COMPONENT OF PROFESSIONAL COMMUNICATIVE COMPETENCE OF FUTURE AVIATION SPECIALISTS

*L. Tsarova, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor;
S. Muravska, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Ukrainian State Flight Academy*

We cannot deny the importance of developed communicative skills as an essential part of future aviation specialists' professional communication competence and constituting descriptor of ICAO Level 4 (Operational -Minimum). Although, future aviation specialists (FASs) may encounter certain listening comprehension challenges that comprise various levels of anxiety: for that reason, our investigation focuses on the level of ESP Listening Comprehension anxiety of FAS with the aim of enhancing listening skills as a key component of professional communicative competence and ICAO level compliance.

This study explores listening comprehension anxiety among 20 future aviation specialists (pilots, ATC officers, engineers, and managers) through a survey of 10 multiple-choice and one open question. Most respondents (90%) recognize the importance of listening skills for their careers, yet 15% feel fully confident in listening. Key difficulties include background noises, learning environment, multiple pauses while encountering unknown vocabulary, accents, fast speech, complex structures, and loss of focus. Many students rely on guessing unknown words from context, highlighting the need for stronger vocabulary preparation and more targeted listening practice.

Ultimately, this study provided a lot of food for thought in the area of research. Due to that, the goal of mitigation human communication errors in aviation requires development of the FASs' professional competency by overcoming sources of anxiety during listening comprehension activities in the ESP classroom.

МОВНА ПІДГОТОВКА МАЙБУТНІХ ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

М.С. Сергієнко

Київський інститут Національної гвардії України

Мовна підготовка майбутніх військовослужбовців Національної гвардії України посідає одну з ключових позицій у системі підготовки кадрів. Міжнародні навчання, обмін досвідом та підвищення кваліфікації вимагають від кожного військовослужбовця вміння передавати та отримувати необхідну інформацію іноземною мовою згідно мовного стандарту NATO STANAG 6001, тобто підготовка майбутніх фахівців до успішної комунікації є основною задачею мовних кафедр та відділів Київського інституту Національної гвардії України.

Для досягнення поставленої мети, на заняттях з англійської мови було впроваджено комунікативний підхід до вивчення іноземних мов та визначено проведення певної кількості практичних занять у максимально наближеній обстановці до умов професійної діяльності (проведення брифінгів, радіообмін, командування підрозділом тощо).

Проведення практичних занять з вивчення іноземних мов орієнтоване на практичне використання мови у типових і нестандартних службово-бойових ситуаціях. Заняття для майбутніх фахівців характеризуються інтеграцією мовного матеріалу з фаховими дисциплінами (тактика, управління підрозділами, озброєння тощо).

Окрім того, в освітній процес впроваджено один з популярних методів навчання – Task-Based Learning, майбутній фахівець не відчуває, що вивчає мову в моменті, а фокусується на виконанні завдань, наприклад, доведенні наказів, доповідях, оцінці обстановки іноземною мовою тощо.

Отже, міжнародне військове співробітництво визначає необхідність сформованості іншомовної компетентності у військовослужбовців. Поставлена перед викладачами задача реалізується шляхом впровадження сучасних методів навчання та використання іноземних мов на практиці в максимально реалістичних умовах. Доцільним постають подальші розвідки в цьому напрямку.

INTEGRATION OF UKRAINIAN TEST AND EVALUATION SPECIALISTS IN THE EUROPEAN INFORMATION SPACE

*O. Cherednikov¹, Ph.D., Associate Professor;
M. Iurchenko², Ph.D., Associate Professor*

*¹Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment
Testing and Certification;
²Klaipėda University, Lithuania*

Ukraine's integration into the European defence environment requires not only political and institutional alignment but also interoperability in the field of test and evaluation (T&E) of armament and military equipment. The European information space in T&E is built on common standards, transparent procedures, and a network of qualified and certified professionals capable of operating in an international environment. In this context, integration into the European information space in the field of armament testing begins with education.

Another significant limitation is insufficient proficiency in specialised technical English, which hinders effective participation in international projects and information exchange. In this regard, higher education institutions should become centres for harmonising the national training system with European T&E practices.

Achieving these objectives requires modernising educational programmes by harmonising them with STANAG, EN, and ISO standards, transitioning to a competence-based education model, introducing modular course structures, and strengthening the practical component. Mandatory courses should include armament testing, systems engineering (V-model, Model-Based Systems Engineering), NATO and EU standardisation, safety and reliability, and technical English.

Thus, Ukrainian universities will become important centers for harmonizing specialist training with European standards, developing human capital and dual-purpose competencies, supporting socio-economic and defense initiatives, improving the quality of education and integration into EU and NATO projects.

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ РОЛЕЙ ВИКЛАДАЧА У МОВНІЙ ПІДГОТОВЦІ ДОРОСЛИХ: ФАСИЛІТАЦІЙНИЙ АСПЕКТ

А.В. Труш

Київський інститут Національної гвардії України

Багато дослідників і коментаторів використовують термін “*фасилітатор*” для позначення певного типу викладача – демократичного, а не авторитарного, який сприяє автономії студентів завдяки використанню групової та парної роботи й виступає радше як джерело ресурсів, ніж як передавач знань.

Однак, оскільки можна стверджувати, що метою всіх відданих своїй справі викладачів є сприяння навчанню, незалежно від того, якими методами вони цього досягають, доцільніше описувати різні ролі викладача та пояснювати, у чому полягає їхня користь, ніж робити оціночні судження щодо їхньої ефективності з огляду на відповідність критеріям “фасилітатора”.

У сучасному освітньому процесі викладач виконує низку взаємопов'язаних ролей, серед яких організатор навчальної діяльності, мотиватор, консультант, наставник і джерело зворотного зв'язку. Кожна з цих ролей є функціонально виправданою та актуалізується залежно від навчальних цілей, рівня підготовки

здобувачів освіти й особливостей освітнього середовища. Таким чином, ефективність педагогічної діяльності визначається не домінуванням однієї ролі, а здатністю викладача гнучко змінювати свою позицію відповідно до потреб навчального процесу.

Особливої уваги потребує контекст навчання дорослих іноземних мов, у якому прагнення здобувачів освіти до автономії поєднується з потребою в чіткій структурі мовного курсу, системному формуванні мовленнєвих навичок і постійній експертній підтримці з боку викладача. У цьому аспекті надмірне акцентування ролі фасилітатора без належного методичного керівництва може ускладнювати досягнення запланованих результатів мовної підготовки, особливо в умовах інтенсивного навчання або обмеженого часу.

У процесі формування іншомовної комунікативної компетентності викладач має виконувати не лише фасилітаційну, а й координувальну та коригувальну функції, забезпечуючи цілеспрямоване опрацювання лексичного, граматичного та фонетичного матеріалу. Поєднання ролей експерта, консультанта та організатора навчальної діяльності сприяє створенню збалансованого освітнього середовища, у якому автономна діяльність здобувачів освіти поєднується з методично обґрунтованим педагогічним супроводом.

Отже, у контексті мовної підготовки доцільно розглядати фасилітацію не як універсальний критерій оцінювання професійної діяльності викладача, а як одну з педагогічних стратегій, ефективність якої залежить від цілей навчання та рівня підготовки здобувачів освіти. Усвідомлення багатофункціональності ролей викладача іноземних мов сприяє підвищенню якості мовної освіти шляхом адаптації педагогічних підходів до конкретних комунікативних завдань і освітніх потреб дорослих слухачів.

ФОРМУВАННЯ ІНШОМОВНОЇ КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ В КУРСАНТІВ ПРИ ВИВЧЕННІ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ

М.О. Рябчук

Київський інститут Національної гвардії України

У сучасній науці комунікативна компетентність розглядається не лише як мовна здатність, а як інтегрована характеристика особистості, що включає когнітивний, мотиваційний, емоційно-вольовий та поведінковий компоненти. Для курсантів це знання службових жанрів комунікації, вміння будувати чіткі висловлювання, координувати дії в групі, самоорганізовуватися та бути стресостійкими. У військових і поліцейських колективах важливе дотримання службового етикету, баланс формальності й людяності, чіткість і лаконічність висловлювань, дотримання субординації. Комунікативна компетентність виступає професійним інструментом і чинником психологічної стабільності та згуртованості колективу.

У контексті воєнного стану та цифрової трансформації навчання особлива роль відводиться онлайн-платформам (Zoom, Teams, Moodle, Google Meet, Miro, Padlet), які дозволяють моделювати реалістичні службові ситуації: брифінги, командні доповіді, обговорення інцидентів, тренування процедурних фраз і протоколів. Ці платформи формують точність мовлення, самоконтроль, дотримання часу та професійний тон комунікації.

Невід'ємною складовою є невербальна і паралінгвістична поведінка: постава, міміка, жести, погляд у камеру, темп і паузи мовлення, дотримання візуальної дисципліни та мережевого етикету. Їхнє нехтування може призвести до викривлення сприйняття повідомлень і конфліктів. Успішна комунікація у цифровому форматі базується на контролі власної присутності, тону, динаміки та структури мовлення.

Комунікативна компетентність є ключовою для професійної підготовки курсантів, адже визначає здатність ефективно взаємодіяти, приймати рішення у стресових ситуаціях, координувати дії команди та підтримувати атмосферу довіри. Вона включає знання норм, жанрів і етикету мовлення, навички психологічної взаємодії, керування комунікацією та адекватну реакцію на ситуації.

Особливу увагу слід приділяти культурі безпечного спілкування: принципам OPSEC та INFOSEC, відокремленню службової та публічної інформації, антидезінформаційній грамотності, перевірці джерел і формулюванню відповідей без підсилення деструктивних наративів. Онлайн-застосунки дозволяють інтегрувати навчальні, тренінгові та рефлексивні компоненти, створюючи інтерактивні форуми, рольові симуляції та кейс-дискусії.

Комунікативна діяльність є універсальним механізмом реалізації професійної функції: вона визначає якість роботи, ефективність взаємодії, рівень довіри, мотивації та психологічного комфорту. Для курсантів із специфічними умовами навчання комунікативна компетентність забезпечує професійну успішність, здатність діяти у стресі, взаємодіяти в команді та приймати рішення у кризових ситуаціях. Вона виступає показником професійної зрілості, здатності грамотно й виважено діяти, координувати спільні дії, чітко формулювати службові повідомлення, конструктивно врегульовувати конфлікти та підтримувати довіру в колективі.

Високий рівень мовленнєвої культури, етичне та логічне спілкування є передумовою успішного виконання службових обов'язків. Формування комунікативної компетентності за допомогою онлайн-застосунків об'єднує лінгвістичні, психологічні, культурні та технологічні аспекти професійної діяльності курсантів.

OVERCOMING THE LANGUAGE BARRIER IN ENGLISH CLASSES: PROBLEMS AND STRATEGIES FOR DEVELOPING SPEAKING SKILLS

I. Martynov

Kyiv Institute of the National Guard of Ukraine

The modern study of foreign languages requires active development of speaking skills, as linguistic communication is the primary means of applying knowledge in real-life situations. However, many students associate English with a psychological barrier: fear of making mistakes, lack of confidence in their knowledge, or embarrassment in front of peers often inhibit their willingness to express their thoughts. Such barriers can significantly slow language acquisition and hinder students' full participation in classroom activities, despite strong theoretical knowledge.

Analysis of English teaching practices shows that the language barrier most often arises from insufficient speaking practice, limited vocabulary, and a lack of motivation to interact. Students may have a solid understanding of grammar and

reading comprehension, yet in real communication situations, they often become hesitant, rely on set phrases, or avoid speaking altogether. This creates a vicious cycle: the language barrier reinforces fear, and fear slows the development of communicative competence. Moreover, anxiety about speaking can cause students to focus excessively on correctness rather than fluency, further limiting their ability to express ideas spontaneously.

Implementing various tools and strategies in lessons can significantly reduce this barrier. One of the most effective methods is interactive exercises such as role-plays, pair or group discussions, debates, and “speed-dating” speaking activities. These exercises provide students with opportunities to express their opinions in a safe environment, where mistakes are regarded as a natural part of the learning process. Gradually increasing task complexity – from short, simple responses to extended monologues – helps students build confidence while developing fluency. Storytelling exercises, presentations, and group problem-solving tasks also encourage authentic communication and require students to use language creatively.

Modern technologies provide additional solutions to overcoming the language barrier. Artificial intelligence tools, such as chatbots and language-learning apps, allow students to practice speaking outside the classroom in a flexible, self-paced manner. AI-driven pronunciation and intonation feedback helps learners correct errors and gain confidence without the pressure of a live audience. Virtual reality (VR) and augmented reality (AR) environments simulate real-life situations in which students can practice dialogues and interactive scenarios, improving both verbal skills and their understanding of cultural context. Similarly, gamified platforms and mobile applications motivate students by combining learning with rewards, challenges, and progress tracking, thereby reducing anxiety and increasing engagement in speaking activities.

Social media and online communities also play an important role. Platforms such as language exchange apps, discussion forums, and international pen-pal networks enable learners to communicate with native speakers or other learners worldwide, providing authentic contexts for practicing language skills. These opportunities encourage risk-taking in speaking, enhance intercultural competence, and expose students to diverse accents, idiomatic expressions, and conversational styles.

Individualization of learning is equally important. Students benefit from personalized assignments that match their interests and language level, such as preparing short presentations, video blogs, or dialogues. Teachers can assign topics that reflect students’ hobbies, current events, or professional interests, which increases motivation and reduces anxiety. Additionally, scaffolding techniques, where complex tasks are broken down into smaller steps, help students approach speaking tasks with greater confidence. Peer feedback and teacher guidance provide constructive support, helping learners identify specific areas for improvement while maintaining a positive learning environment.

It is essential to recognize that overcoming the language barrier is a gradual process. Continuous practice, motivation, and teacher support help students build confidence in communication, expand their vocabulary, and understand intonation, stress, and non-verbal aspects of language. By combining traditional methods with modern technologies and interactive strategies, educators can create a rich and supportive environment that addresses both psychological and linguistic challenges. Consequently, overcoming the language barrier not only improves communicative competence but also fosters a positive attitude toward learning English and prepares students for authentic interactions in academic, professional, and social contexts.

СЕКЦІЯ 22

МАТЕМАТИКА У ВІЙСЬКОВО-ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧАХ ТА ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВІАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ

Керівники секції: к.т.н. доц. полковник Долгий Ю.С.;
к.т.н. доц. прац. ЗС України Фурсенко О.К.
Секретар секції: к.ф.-м.н. доц. прац. ЗС України Удодова О.І.

TEACHING MATHEMATICAL DISCIPLINES TAKING INTO ACCOUNT THE SPECIFICS OF MODERN WARFARE

*Yu. Dolhyy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Fursenko², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
N. Chernovol²*

¹Training Command of Air Force Command of Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The teaching of mathematical disciplines in higher military educational institutions should be professionally oriented. Cadets and master's students should not only understand that mathematics is the language of exact sciences, but also learn to apply mathematical methods directly to solving military-applied problems.

The report examines some issues related to taking into account the peculiarities of modern warfare and combat experience in certain sections of mathematics that would be useful to consider in the educational process.

In particular, the absence of a continuous front line, and only the presence of relatively distant small points, allows the use of simulation models of combat operations based on Kolmogorov equations (the dimension of the system is significantly reduced). In optimization models based on Lanchester equations and the dynamic programming method, it is advisable to consider models with a small number of combat units and many points of contact. When calculating effective rate of fire, it is necessary to take into account a number of factors (characteristics of modern weapons, use of UAVs, intelligence data, etc.).

The widespread use of UAVs, in particular "drone swarms," poses a series of problems for air defense forces related to the application of probability theory. The small effective scattering area requires the use of conditional probabilities in calculating the probability of target detection, taking into account flight altitude, weather conditions, and available statistical data. When the enemy uses "drone swarms" and Gepard-type self-propelled anti-aircraft artillery systems are used to destroy them, the problem of destroying a target with a single shot or a burst of fire is relevant.

When repelling an attack by a "swarm of drones," the problem of air defense to destroy targets leads to the problem of queuing theory with modeling of Poisson event flow, time to service a single target, and consideration of the possibility of "overloading" the defense system.

MATHEMATICAL MODELING OF COMBAT WITH OPTIMAL RESOURCE ALLOCATION

*O. Fursenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Chernovol;
Ya. Savchuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In modern combat situations, analysis and forecasting of the optimal distribution of combat resources at a certain stage of battle to achieve combat superiority are playing an increasingly important role. The authors consider one of the tasks of optimal resource allocation using the concept of a target allocation coefficient, i.e., the share of combat resources of a particular side that is directed into battle against a particular type of enemy combat resources. It is assumed that side A has one type of combat resources, while side B has three different types of resources. Party A distributes its resources at the beginning of the battle in certain proportions (according to certain target allocation coefficients) for combat with each type of enemy resource. The number of combat units of parties A and B at the beginning of the battle and the effective rate of fire of each type of combat unit of the parties for each type of enemy unit are known. The goal of the battle is to inflict the greatest losses on the enemy (party B) at a given moment in time. The authors have constructed a mathematical model of such a battle in the form of a system of four differential equations and found an analytical solution to this system. A function for calculating the greatest losses of the enemy at a given moment in time has been written, and the set on which the greatest value of this function is found has been analyzed. For the final solution of the problem of finding the optimal coefficients of the distribution of goals for side A, a program has been created in the Python programming language.

BALLISTICS AND FIRE CONTROL THEORY IN MS EXCEL

*O. Udodova, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;
H. Antonenko; V. Biletska
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

For many cadets, the pages of higher mathematics textbooks filled with abstract integrals seem like “white noise” detached from the harsh realities of service. The problem of low motivation lies in the lack of a pragmatic connection: it is difficult to see real firepower behind Bayes’ formula or normal distribution.

This perception changes fundamentally when mathematical abstraction is replaced by the quantitative assessment of weapon lethality. In modern armed conflicts, success is determined not by the number of shots fired, but by the ability to preliminarily evaluate the probability of target destruction under constraints of time, ammunition, and operational uncertainty. The integration of ballistics and fire control theory with probabilistic analysis and Data Science methods provides a foundation for computational superiority, where mathematical models directly support tactical and operational decision-making.

The authors propose an interdisciplinary approach to teaching probability theory and mathematical statistics in higher military educational institutions through integration into the ballistics and fire control theory. The main objective is to increase cadet motivation by solving practical tasks such as fire accuracy estimation, weapon effectiveness assessment, and statistical analysis of projectile dispersion.

Special attention is given to practical modeling using accessible software tools, particularly MS Excel, which enables the simulation of a large number of firing events and the visualization of statistical distributions.

The authors present detailed formulas and step-by-step guidelines for constructing digital models that allow the analysis of various influencing factors without the need for real ammunition expenditure. This educational approach promotes the development of systems thinking and data analysis skills essential for future officers, while making complex mathematical concepts more transparent and applicable to real-world military problems. The use of accessible analysis tools makes complex mathematical concepts more transparent and directly applicable to military practice.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF MAINTAINING RADIO COMMUNICATION WITH AIRCRAFT AND MATHEMATICAL MODELLING OF FLIGHT TRAJECTORIES AT HYPERSONIC SPEEDS

Z. Litvina, Candidate of Technical Sciences;

N. Lemesheva, Candidate of Physical and Mathematical Sciences; S. Vovchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In recent years, many leading countries around the world have transitioned to using hypersonic aviation and hypersonic missiles, which travel at speeds exceeding Mach 5. Open sources of information highlight the problems of maintaining radio communication and predicting flight trajectories at hypersonic speeds. When military aircraft travel at hypersonic speeds, a plasma shell forms around the aircraft structure which is opaque to radio waves, thereby interrupting radio communication. This phenomenon is known as 'plasma obscuration'. The proposed method involves simultaneously influencing plasma with an electron flow, an acoustic wave and a radio signal. It has been proven that, under these conditions, 'transparency windows' for radio waves form in the plasma, enabling electromagnetic waves to pass through them.

The paper considers general approaches to solving this problem. The paper also analyses modern physical and mathematical models for predicting the flight trajectories of hypersonic aircraft. The motion of a hypersonic aircraft is modelled mathematically, considering tactical and technical characteristics, to allow for the possibility of flight along difficult-to-predict trajectories. Results of calculations using the Wolfram Mathematica computer algebra system are presented.

STRUCTURE OF DEFECTIVE VECTORS FOR ASSOCIATED ENTIRE CURVES WITH LINEARLY DEPENDENT COMPONENTS

Ya. Savchuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor;

O. Fursenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; N. Chernovol

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

We study the structure of the set of exceptional vectors in the sense of Nevanlinna for associated entire curves of finite order with linearly dependent components. It is shown that even if an entire curve has linearly independent components, its associated entire curve may nevertheless have linearly dependent components. It is known that the set of all Nevanlinna exceptional vectors of a finite-order entire curve with linearly dependent components, together with a given

subspace $A_0 = \{\vec{a} \in C^p : \vec{G}(z) \cdot \vec{a} \equiv 0\}$, can be expressed as at most a countable union of subspaces A_j , satisfying $\omega \leq \dim A_j \leq p-1$ and $A_j \supset A_0$. Furthermore, it is established that the corresponding associated entire curve $\vec{G}_i : C \rightarrow C^q$, where $q = C_p^i$, also has $\omega^* \geq C_p^i - C_{p-\omega}^i$ linearly dependent components. For this associated entire curve, the set of its Nevanlinna exceptional vectors, together with the subspace $A_0^* = \{\vec{b} \in C^q : \vec{G}(z) \cdot \vec{b} \equiv 0\}$, constitutes at most a countable union of subspaces A_i^* of dimension not exceeding $q-1$, where $A_i^* \supset A_0^*$. In addition, for each A_i^* , there exists a so-called special vector $\vec{b}_j \in C^q$, orthogonal to A_i^* .

INCORPORATING MILITARY-ORIENTED APPLIED TASKS INTO LINEAR PROGRAMMING INSTRUCTION

*H. Bobrytska, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Modern military education requires instructional approaches that ensure not only the acquisition of theoretical knowledge but also the development of the ability to apply mathematical methods to real professional tasks. One of the most effective tools in this regard is the use of applied military-oriented problems when studying linear programming. Linear programming makes it possible to model optimization processes directly related to logistics, planning, resource allocation, unit management, and operational support. Incorporating military-oriented tasks increases cadets' motivation, as they clearly see the practical value of mathematical methods in their future professional activities. For example, problems involving the optimization of supply routes, minimization of fuel consumption, determination of the optimal composition of equipment, distribution of vehicles among units, or planning of duty schedules can naturally be formulated as linear programming tasks. Such models help cadets understand how mathematical tools support well grounded decision-making under conditions of limited resources and time constraints.

In tactical scenarios, linear programming problems can describe a wide range of situations. One of the most common examples is optimizing the distribution of combat units across different defensive or offensive directions. A commander must determine how to allocate limited personnel, equipment, and ammunition to ensure maximum defensive stability or the highest probability of success in offensive actions. In such cases, the objective function may represent combat readiness or mission effectiveness, while the constraints reflect available resources, time, logistical capabilities, and minimum requirements for each direction. Planning flights of unmanned aerial vehicles (UAVs) requires simultaneous consideration of numerous parameters: flight range, energy reserves, mission duration, risk zones, target priorities, weather conditions, and ground infrastructure capabilities.

Formulating these requirements as a linear programming problem makes it possible to obtain an optimal action plan that ensures the most efficient use of UAVs. Another important application is optimizing the distribution of UAVs among several tasks. For example, when reconnaissance in different sectors, cargo delivery, and patrolling must be performed simultaneously, the commander must determine

which UAVs will execute each task and in what sequence. Linear programming helps find a solution that maximizes the completion of priority missions while minimizing resource expenditure. The model accounts for UAV characteristics, task duration, distances between points, and time windows for mission execution.

Optimization becomes especially relevant when UAVs operate in high risk environments. The model may include constraints related to enemy detection, electronic warfare threats, the need to bypass dangerous sectors, or minimizing time spent in vulnerable areas. In such cases, linear programming helps identify a route that accomplishes the mission with the lowest possible risk. Importantly, military oriented tasks enable the integration of interdisciplinary connections, combining mathematics with tactics, logistics, engineering training, and unit management. This fosters a holistic understanding of professional activity and enhances cadets' readiness to make decisions in complex situations. Moreover, working with such tasks develops modelling skills, which are essential in modern decision support systems.

DIGITAL TWIN MECHANISM: KINETIC CALCULATION FROM FORMULA TO ANIMATION

S. Vovchuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Mathematica is widely used software for scientific and engineering calculations. One of the important advantages of this system is the ability to work with symbolic expressions, which allows not only numerical but also analytical calculations to be performed.

The main advantage of using Wolfram Language in this work is the ability to automate the compilation of equilibrium equations. Instead of manually deriving complex analytical dependencies, built-in functions are used:

Symbolic differentiation: To find linear and angular accelerations of links by differentiating vector equations of closed loops.

Vector analysis: Use of Cross (vector product) and Dot (scalar product) functions to instantly form moment equations relative to the mechanism nodes.

Solve/DSolve function: Allows solving systems of linear algebraic equations (SLAR) for unknown reactions in symbolic or numerical form throughout the entire cycle of mechanism motion.

Special attention is paid to working with contexts and data arrays. This allows structuring the calculation results for mechanisms with a large number of degrees of freedom. The following has been developed to interpret the results:

Dynamic hodographs: Construction of reaction vectors in kinematic pairs that change over time (Parametric Plot functions).

Animated models: Use of the Animate function to synchronize the movement of the mechanism with the graphs of the acting forces, which allows you to clearly identify "dead points" and peak loads.

Energy efficiency analysis: Construction of dependencies of inertia and friction forces on the generalized coordinate.

Using Wolfram Mathematica reduces the time spent on routine calculations and allows you to focus on analyzing the mechanical characteristics of the system. This approach ensures high accuracy of calculations, minimizes errors in deriving formulas, and provides ample opportunities for optimizing the mechanism design at the design stage.

АНАЛІЗ СИГНАЛІВ І РОЗВІДУВАЛЬНИХ ДАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ВИЗНАЧЕНИХ ІНТЕГРАЛІВ

Н.М. Гузик, к.ф.-м.н., доц.; М.Г. Грубель, д.т.н., проф.;

Н.Б. Сокульська, к.ф.-м.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Аналіз сигналів і розвідувальних даних у сучасних військових системах нерозривно пов'язаний із застосуванням визначених інтегралів як універсального інструменту опрацювання неперервних процесів. Одним із них є обчислення енергії сигналу, яка визначається як інтеграл від квадрата його амплітуди на заданому часовому інтервалі. У радіолокаційних системах після випромінювання зондувального імпульсу приймається відбитий сигнал, який часто має малу амплітуду і спотворюється шумами. Інтегрування дозволяє накопичити його енергію за певний інтервал часу та порівняти отримане значення з пороговим рівнем. Якщо накопичена енергія перевищує встановлений поріг, фіксується наявність об'єкта. Цей підхід забезпечує можливість виявлення малорозмірних або малопомітних цілей навіть за умов значних перешкод.

Іншою важливою сферою застосування визначених інтегралів є згладжування шумів. Реальні сигнали містять випадкові коливання, спричинені атмосферними впливами, електронними перешкодами чи внутрішніми шумами апаратури. Для зменшення їхнього впливу використовується інтегральне усереднення, коли значення сигналу обчислюється як середнє на певному інтервалі часу. Такий підхід дозволяє зменшити амплітуду випадкових відхилень і виділити стійку складову сигналу. У задачах радіоелектронної розвідки це забезпечує точніше визначення частотних характеристик випромінювання та виявлення стабільних режимів роботи джерел сигналу.

Отже, застосування визначених інтегралів безпосередньо впливає на підвищення точності виявлення, класифікації та супроводу об'єктів у сучасних системах військової розвідки та управління.

МЕТОД СААТІ В ОБГРУНТУВАННІ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Х.І. Ліщинська, к.т.н., доц.; Н.М. Гузик, к.ф.-м.н., доц.; М.С. Нагорний

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Підготовка фахівців авіаційного профілю у вищих військових навчальних закладах вимагає формування здатності приймати обґрунтовані рішення в умовах багатокритеріальності та дефіциту часу. Сучасний пілот або штурман стикається з необхідністю вибору типу озброєння, профілю польоту або маневру, де неможливо досягти ідеалу за всіма параметрами одночасно. Це зумовлює потребу в опануванні формальних математичних методів підтримки прийняття рішень.

Особливий інтерес для авіаційної тактики становить поєднання методу аналізу ієрархій Сааті та принципу оптимальності Парето. Метод Сааті

дозволяє структурувати складну проблему вибору, розбиваючи її на прості складові та кількісно оцінюючи суб'єктивні судження експертів.

На практичних заняттях з курсу “Основи критичного мислення” доцільно моделювати задачу вибору ударного безпілотного авіаційного комплексу (БпАК) для виконання конкретного завдання. Критерії вибору: K_1 – бойове навантаження, K_2 – радіус дії, K_3 – вартість льотної години, K_4 – живучість (стійкість до РЕБ). Курсанти будують ієрархію: мета (ефективне ураження) → критерії (K_1 – K_4) → альтернативи (3–4 типи БпАК). Використовуючи матриці парних порівнянь Сааті, вони визначають вектори пріоритетів альтернатив. Наступним кроком стає перевірка отриманих рішень на предмет Парето-оптимальності. Вилучаються доміновані стратегії, і курсанти усвідомлюють, що остаточний вибір часто лежить на межі Парето, де покращення за одним критерієм неминуче погіршує інший.

Такий підхід формує у майбутніх фахівців розуміння компромісів у військовій справі та надає їм математичний інструментарій для обґрунтування своїх рішень.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є В ЗАДАЧАХ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ

Н.Б. Сокульська, к.ф.-м.н., доц.; Н.М. Гузик, к.ф.-м.н., доц.;

Ю.О. Фтемов, к.т.н., с.н.с.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Застосування перетворення Фур'є в радіоелектронній розвідці є фундаментальним інструментом для переходу від часового зображення сигналу до частотного. Воно дозволяє виявляти приховані закономірності, ідентифікувати типи передавачів та аналізувати складну завадову обстановку.

Складний електромагнітний сигнал розкладається на суму гармонійних коливань. Математично цей процес реалізується через швидке перетворення Фур'є, яке дозволяє обробляти широкосмугові потоки даних у реальному часі, мінімізуючи обчислювальні витрати.

Науковий підхід до реалізації РЕБ за допомогою Фур'є-аналізу передбачає послідовне виконання ряду етапів: по-перше, здійснюється оцифрування аналогового сигналу за допомогою високошвидкісних АЦП, після чого отриманий масив дискретних відліків піддається віконній обробці (застосування функцій Геммінга, Ганна або Кайзера) для мінімізації ефекту розтікання спектра, спричиненого скінченністю вибірки. По-друге, обчислюється амплітудний спектр, який дозволяє виділити корисні сигнали на фоні шумів завдяки ефекту накопичення енергії вузькосмугових складових у конкретних спектральних бінах. По-третє, застосовується короткочасне перетворення Фур'є, що формує динамічну спектрограму, яка відображає зміну частотної структури сигналу в часі.

Таким чином, перетворення Фур'є виступає не лише як метод візуалізації ефіру, а як аналітичне ядро, що забезпечує селекцію сигналів за частотною ознакою, дозволяє здійснювати прецизійну цифрову фільтрацію завад та є необхідною умовою для подальшого декодування інформаційних каналів у системах стратегічної та тактичної розвідки.

НОРМАЛЬНІ ФОРМИ ВИСЛОВЛЕНЬ У ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ

*Н.Б. Сокульська, к.ф.-м.н., доц.; М.Г. Грубель, д.т.н., проф.; В.Ф. Кмін
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Застосування нормальних форм висловлень (логіки висловлень) у задачах фільтрації сигналів базується на переході від математичного опису неперервних величин до логічної декомпозиції умов проходження сигналу. Нормальні форми – кон'юнктивна (КНФ) та диз'юнктивна (ДНФ) – структурують правила, за якими цифрова система приймає рішення про пропуск, блокування або класифікацію імпульсів у складному потоці даних.

У сучасних системах цифрової обробки, особливо в умовах радіоелектронної боротьби, фільтрація часто не обмежується лінійним відсіканням частот, а вимагає прийняття логічних рішень на основі багатьох параметрів (амплітуда, тривалість, фаза, інтервал). Будь-яка складна умова фільтрації може бути представлена у вигляді ДНФ (як сума альтернативних варіантів сигналу, що нас цікавлять) або КНФ (як система жорстких обмежень, яким сигнал повинен відповідати одночасно). Це дозволяє мінімізувати логічні схеми в ПЛІС (FPGA) та забезпечити надшвидку селекцію сигналів за їхніми ознаками.

Процес логічної фільтрації через нормальні форми реалізується за таким алгоритмом: здійснюється квантування параметрів сигналу, де кожна ознака перетворюється на логічну змінну; розробляється цільова функція фільтрації, яка синтезується у формі ДНФ для виявлення специфічних комбінацій сигналів; проводиться логічна мінімізація, яка дозволяє спростити архітектуру фільтра до мінімально необхідної кількості логічних вентилів.

Таким чином, нормальні форми висловлень формують інтелектуальне сито, яке відсіює інформаційне сміття та завади на основі чітких математико-логічних законів.

АНАЛІЗ ГЕОМЕТРІЇ РУХУ ВУЗЛІВ МЕХАНІЗМІВ ЧЕРЕЗ ІНТЕГРУВАННЯ В ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ

*Н.Б. Сокульська, к.ф.-м.н., доц.; М.С. Нагорний; А.В. Баранов
Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*

Застосування інтегрування в полярній системі координат до аналізу геометрії руху вузлів механізмів базується на переході від декартових координат до опису руху через радіус-вектор та кут повороту. Це є найбільш природний спосіб дослідження криволінійних траєкторій, характерних для обертових пар, кулачкових механізмів та маніпуляторів робототехніки. Використання полярного інтегрування дозволяє обчислювати ключові геометричні та кінематичні характеристики: довжину шляху, пройденою точкою ланки, площу сектора, що описується важелем, та статичні моменти інерції елементів, чия конфігурація змінюється відносно центру обертання.

Принцип аналізу механізмів через полярне інтегрування реалізується шляхом визначення функціональної залежності радіуса від кута, що описує профіль вузла або траєкторію його руху. Схематично цей процес можна зобразити як послідовність етапів визначення полюса, параметризація профілю вузла, встановлення меж інтегрування відповідно до робочого циклу механізму, аналітичне або чисельне обчислення інтеграла, отримання

кількісних характеристик (об'єм, площа, шлях), оптимізація геометрії для зменшення інерційних навантажень. Такий підхід дозволяє перетворити статичне креслення вузла на динамічну математичну модель. Наприклад, при проектуванні кулачка цей метод дозволяє точно визначити профіль, що забезпечує заданий закон руху штовхача при мінімальних габаритах деталей.

Таким чином, якщо традиційна геометрія фіксує лише форму, то інтегрування в полярних координатах розкриває енергетичні та кінематичні можливості механізму в русі. Це робить полярний аналіз незамінним інструментом у сучасному машинобудуванні.

ОСОБЛИВОСТІ ТА КУЛЬТУРА МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ АВІАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ

Н.М. Гродзь, д.філос.; Р.А. Ковальчук, к.т.н., доц.

Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного

Математична підготовка авіаційних фахівців базується на поєднанні фундаментальних знань, а саме знань з вищої математики, у поєднанні із професійно-орієнтованими знаннями. Основні особливості підготовки, включають високу частку прикладної математики, моделювання аеродинамічних процесів, використання ІТ-інструментів та орієнтацію на безпеку польотів. Ключові особливості математичної підготовки, включають прикладну спрямованість, таку, як математичний апарат, котрий застосовується безпосередньо для вирішення інженерних задач, задач на розрахунок траєкторій, навантажень на конструкції та аеродинаміку; інтеграція з професійними дисциплінами, як математичні методи інтегрованими в курси з теорії польоту, навігації, авіоніки та керування повітряним рухом; моделювання та інформаційно-комунікаційні технології, як акцент на комп'ютерне моделювання фізичних та технічних процесів, використанні спеціалізованого програмного забезпечення; міжнародні стандарти, як підготовка, що враховує вимоги міжнародних авіаційних організацій (ICAO, EASA), що вимагає високого рівня математичної грамотності для аналізу відповідних ризиків. У 2026 році провідні заклади активно впроваджують змішане навчання, і, відповідно, викладання окремих розділів математики часто проводиться англійською мовою з використанням програмних інструментів для командної роботи студентів. Також широко застосовується проєктне навчання, де студенти вирішують реальні інженерні кейси.

ЕКСТРЕМАЛЬНІ ЗАДАЧІ МАТЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ У ВІЙСЬКОВО-ПРИКЛАДНОМУ МОДЕЛЮВАННІ

Н.М. Гузик¹, к.ф.-м.н., доц.; Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.;

А.П. Сеник², к.ф.-м.н., доц.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний університет "Львівська політехніка"

У сучасних умовах ведення бойових дій процес ухвалення рішень вимагає не лише оперативності, а й строгого математичного обґрунтування їх оптимальності. Значна частина військово-прикладних задач формалізується як проблема знаходження екстремуму функції. Зауважимо, що практичні задачі,

як правило, мають багатофакторний характер і описуються функціями кількох змінних. Зокрема, під час планування застосування безпілотних систем результативність місії може визначатися одночасно швидкістю польоту, висотою та тривалістю перебування в зоні виконання завдання. Зміна кожного з цих параметрів по-різному впливає на кінцевий результат: підвищення висоти зменшує ймовірність ураження, але погіршує якість спостереження; збільшення швидкості скорочує час виконання завдання, водночас змінюючи рівень виявлення. За таких умов оптимальний режим функціонування визначається як точка максимуму функції ефективності з урахуванням технічних і ресурсних обмежень.

Подібний підхід застосовується і в логістичному плануванні, де необхідно забезпечити раціональний розподіл ресурсів між підрозділами. Результативність кожного напрямку залежить не лише від обсягу власного забезпечення, а й від взаємозв'язків із суміжними елементами системи. У цьому випадку задача зводиться до пошуку умовного екстремуму за наявності заданих обмежень, що відображають наявний ресурсний потенціал.

Отже, дослідження екстремумів функцій багатьох змінних є ефективним інструментом розв'язання військово-прикладних задач, що дозволяє, зокрема, приймати оптимальні рішення в умовах невизначеності та обмежених ресурсів.

МАТЕМАТИЧНА ГРАМОТНІСТЬ І КРИТИЧНЕ МИСЛЕННЯ В ЦИФРОВІЙ ПІДГОТОВЦІ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

*Ю.О. Фтемов¹, к.т.н., с.н.с.; Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.;
Н.М. Гузик¹, к.ф.-м.н., доц.; А.П. Сенік², к.ф.-м.н., доц.*

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний університет "Львівська політехніка"

Цифровізація авіаційної індустрії спричиняє фундаментальні зрушення у вимогах до професійної компетентності фахівців, що зумовлює необхідність трансформації змісту їхньої підготовки. Впровадження інтелектуальних систем керування польотами, автоматизованих комплексів діагностики та цифрових двійників літальних апаратів потребує від персоналу здатності до інтерпретації великих масивів даних та прийняття рішень в умовах інформаційної невизначеності. У цьому контексті визначального значення набуває синергія математичної грамотності та критичного мислення як базису професійної надійності.

Математична грамотність забезпечує формування у майбутніх авіаційних фахівців здатності до формалізації процесів, розуміння алгоритмів функціонування бортових обчислювальних систем та аналізу кількісних параметрів польотної інформації. Водночас критичне мислення виступає інструментом верифікації отриманих даних, оцінки достовірності джерел та ідентифікації потенційних ризиків, пов'язаних із кіберфізичними взаємодіями. Інтеграція цих когнітивних навичок у освітні програми дозволяє підготувати фахівця, здатного не просто експлуатувати цифрові технології, а критично осмислювати результати їхнього застосування та забезпечувати необхідний рівень безпеки польотів. Таким чином, оновлення змісту підготовки на засадах поєднання математичного моделювання реальних процесів із розвитком аналітичних здібностей є стратегічним напрямом кадрового забезпечення авіаційної галузі в епоху цифрової трансформації.

ТЕОРІЯ ІГОР В ОПТИМІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЙ ПРОРИВУ ЗОНИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ

*Х.І. Ліщинська, к.т.н., доц.; М.І. Войтович, к.ф.-м.н., доц.;
А.П. Сеник, к.ф.-м.н., доц.*

¹*Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;*

²*Національний університет "Львівська політехніка"*

Подолання протиповітряної оборони противника є найбільш складним і відповідальним завданням бойового застосування авіації. Взаємодію "літак – зенітний ракетний комплекс (ЗРК)" можна розглядати як антагоністичну гру з протилежними інтересами сторін, коли результат залежить від обраних стратегій. Формалізація такої взаємодії засобами теорії ігор є ефективним інструментом розвитку тактичного мислення курсантів.

Для курсантів доцільно розглядати спрощену модель протистояння. Нехай пілот літака (гравець А) обирає між польотом на малій висоті (стратегія А1) та польотом на середній висоті з постановкою перешкод (стратегія А2). ЗРК (гравець В) відповідно діє в режимі виявлення цілей на малих (стратегія В1) або середніх висотах (стратегія В2).

На основі тактико-технічних характеристик складається платіжна матриця, елемент якої a_{ij} відображає ймовірність ураження літака за відповідної комбінації стратегій.

Аналіз гри починається з пошуку чистих стратегій та сідлової точки. За її відсутності курсанти переходять до змішаних стратегій. Розв'язуючи систему рівнянь або застосовуючи графічний метод, вони визначають ймовірнісні параметри оптимальних змішаних стратегій: p_1 для маневрування на гранично малих висотах та q_1 для моніторингу нижнього ешелону засобами ЗРК, а також ціну гри – мінімальну гарантовану ймовірність прориву.

Розуміння ймовірнісного, а не детермінованого характеру успіху в боротьбі з розумним ворогом – основа професійної підготовки. Це вчить офіцерів уникати шаблонів і замінювати інтуїтивні припущення точним математичним розрахунком.

ЖИВА СТРОГА МАТЕМАТИКА ДЛЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СИСТЕМ-ІЗ-СИСТЕМ

В.Ю. Тимчук¹, к.т.н., с.н.с.; В.В. Литвин^{1,2}, д.т.н., проф.

¹*Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;*

²*Національний університет "Львівська політехніка"*

Одним із сталих викликів для фізично-математичної науково-прикладної теорії систем-із-систем (СізС) є застосування адекватного та спроможного дати ефективні та достовірні результати математичного апарата. Загалом, це буде сукупністю математичних апаратів з кількох теорій математичної науки. Без сумніву в концептуальному та інженерному проєктуванні, а згодом в формалізованих і семантичних описах функціонування та еволюційності постійно варіативних СізС знайдеться місце і для теорії ймовірності, і для математичної статистики, і для матричного аналізу, і для алгебри логіки, і для бінарного апарату інструментів машинного та глибинного навчання, і для інших вже добре пристосованих рішень із теорії автоматичного керування,

теорії графів та інших обчислень або пошуків оптимальних розв'язків. Базовою варто вважати алгебру логіки та реалізований завдяки їй онтологічний підхід до усього життєвого циклу тієї або іншої СізС. Цей апарат визначально спроможний оперувати із системами або їх вираженнями (числовими, функціональними, статистичними та ін.) у категоріях різної природи та розмірностей. Тож на підставі формалізованого опису щодо первинних категорій, які так чи інакше формують систему-із-систем, можна далі перейти до “онтології діяльності” (функціонування, розвитку СізС). Ключовими ознаками буде постійне поєднання (залучення) нових (неуникнена властивість відкритої системи, що зумовлює її вразливість) чинників різної природи.

Дослідження було проведено за грантової підтримки Національного фонду досліджень України “Методи аналізу та оптимізації мультимодальних даних для моделей глибинного навчання у військовій сфері”, project registration No 2025.07/0017 від 24/12/2025.

ЛАВИНІЗАЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПРОБЛЕМ У СВІТЛІ ІННОВАЦІЙНОСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБОРОНИ

*А.І. Івченко¹; В.В. Литвин^{2,3}, д.т.н., проф.;
І.М. Сацук⁴, к.т.н., с.н.с.; В.Ю. Тимчук², к.т.н., с.н.с.*

¹Військова частина А0224

²Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

³Національний університет “Львівська політехніка”;

⁴Науково-дослідний інституту МО України

Приклади інформаційних технологій (ІТ) і спеціалізованого програмного забезпечення (СПЗ) повсюдно перераховують в публікаціях. Ми теж не уникнемо цієї “карми”, тож в ЗС України станом на 2026 рік помічені С2-система “Дельта”, інтегровані ІТ “Айсберг”, “Вежа”, “Віраж-Планшет”, “Гермес”, “Дамба”, “Ехо”, “Кофеїн”, “Кропива-Д2”, “Неон”, “Скаймапа”, “Farsight Vision” та інші, в т.ч. закордонні, які в той або інший спосіб “пробилися” до дослідної експлуатації в ЗС України (до слова, не поміченою стала система АСУ “Дзвін”).

Тож за такого розмаїття має місце просто лавина організаційно-технічних і експлуатаційних проблем, і не лише щодо сумісності та швидкодії/надійності у міжсистемному обміні інформацією, а і щодо готовності персоналу експлуатувати ІТ за призначенням в усій повноті запитів і можливостей, а також підтримувати їх заявлену ефективність.

Кожна нова ІТ / СПЗ (а, інколи, і “старі”, що зазнають модернізації/оновлення) привносить деякі нові вимоги до посадовців, які застосовують її чи зразок, в якій вона інтегрована, під час безпосередньої діяльності за призначенням, тобто в умовах бойових дій. Як наслідок, таких вимог, часто суперечних одна одній, стає так багато, що цією “лавиною” можна накрити і деякі функціональні завдання, і дай Боже, щоб не були не з арсеналу основних у бойовій діяльності.

Розробник ІТ / СПЗ має думати про це ще на стадії концептуальних рішень, а не дбати про зворотній зв'язок від військовиків.

РОЗВИТОК КРИТИЧНОГО МИСЛЕННЯ У ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

О.В. Білаш¹, к.е.н., доц.; М.М. Симотюк², к.ф.-м.н., с.н.с.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²ІППММ ім. Я.С. Підстригача Національної академії наук України

Математика у військовій справі виступає не лише інструментом розрахунку, а й методологічною основою аналізу ситуацій, прогнозування та оптимізації рішень. У цьому контексті формування критичного мислення у військових фахівців є невід'ємною складовою їхньої професійної компетентності.

Варто зазначити, що критичне мислення дозволяє: уникати когнітивних помилок; оцінювати альтернативні варіанти дій; швидко адаптуватися до змін обстановки; ефективно взаємодіяти в умовах невизначеності. У процесі математичної підготовки критичне мислення формується через: доведення тверджень; аналіз граничних випадків; перевірку коректності розв'язку; оцінювання похибок обчислень; інтерпретацію отриманих результатів у прикладному контексті.

Критичне мислення у військовій діяльності передбачає: аналіз вхідних даних; оцінку достовірності джерел інформації; виявлення суперечностей у вихідних припущеннях; перевірку математичних моделей на адекватність реальним умовам; прогнозування наслідків прийнятих рішень. Критичне мислення є дуже важливим для військових фахівців, оскільки забезпечує: відбір релевантних параметрів; відсікання другорядних факторів; швидке математичне оцінювання альтернатив; прогнозування можливих відхилень від плану.

Отже, критичне мислення є ключовою компетентністю військового фахівця, що забезпечує ефективне функціонування в умовах інформаційної та технологічної складності війни. Його розвиток має бути інтегрованим елементом військової освіти, що поєднує теоретичну підготовку, практичне моделювання та цифрові інновації.

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТІВ

Н.М. Гузик¹, к.ф.-м.н., доц.; М.С. Нагорний¹; М.М. Симотюк², к.ф.-м.н., с.н.с.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²ІППММ ім. Я.С. Підстригача Національної академії наук України

Звичайні диференціальні рівняння є універсальною мовою для опису будь-яких процесів, що змінюються у часі. Оскільки динаміка збройного протистояння є процесом безперервної взаємодії сил, апарат диференціальних рівнянь став фундаментом для кількісного аналізу бойових дій та стратегічного планування. Основним інструментом у цій сфері виступають детерміновані моделі, які описують зміну чисельності особового складу та техніки як результат взаємного вогневого впливу. Класичним прикладом такого підходу є системи рівнянь Ланчестера. Вони встановлюють чітку математичну залежність між темпами втрат підрозділу та поточною вогневою потужністю противника. У моделях прямого наведення вогню швидкість зменшення чисельності кожної сторони прямо пропорційна ефективності

озброєння та кількості бойових одиниць ворога. Це математично доводить, що перевага в силах має кумулятивний ефект: невелике кількісне домінування може призвести до неспівмірно великих втрат у противника. Водночас для ситуацій ведення вогню по площях або прихованих позиціях застосовуються лінійні моделі, де швидкість втрат залежить насамперед від концентрації сил у районі ураження. Модифікація цих рівнянь шляхом введення додаткових параметрів, таких як коефіцієнти логістичного забезпечення, прихід резервів або зміна морально-психологічного стану, дозволяє створювати багаторівневі симуляції операцій. Важливим аспектом є моделювання зміни ймовірності успіху при різних сценаріях дій. Диференціальні рівняння дають змогу визначити ті критичні точки, після яких система втрачає стійкість, а одна зі сторін – здатність до організованого спротиву.

МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОЇ ЗУПИНКИ ТА ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ У ЗАДАЧАХ ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ

Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.; М.М. Симотюк², к.ф.-м.н., с.н.с.;

А.П. Сенік³, к.ф.-м.н., доц.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний університет “Львівська політехніка”;

*³Інститут прикладних проблем механіки і математики
Національної академії наук України*

Специфіка льотної діяльності полягає в необхідності прийняття рішень в умовах високої невизначеності та підвищеної відповідальності за їх наслідки. Досвід застосування авіації в російсько-українській війні підтверджує, що успішність бойового вильоту значною мірою визначається обґрунтованістю рішень, які приймаються в умовах протидії ППО противника. Математична підготовка майбутніх офіцерів авіаційного профілю повинна включати опанування методів, які дозволяють формалізувати цей процес.

Двома ключовими методами, що мають безпосередню інтерпретацію в авіаційній тактиці, є метод оптимальної зупинки та метод динамічного програмування.

Дії штурмана ударного літака під час застосування керованого озброєння зводяться до пошуку компромісу між точністю удару та безпекою екіпажу. Оскільки шанси на влучання зростають із наближенням до цілі, а час перебування у ворожій зоні обмежений, вибір моменту пуску зводиться до задачі визначення оптимального моменту t^* , який максимізує ймовірність ураження з урахуванням ризику бути збитим.

Інший аспект – прокладання маршруту в зоні дії ППО. Траєкторія розбивається на етапи, на кожному з яких зміна висоти чи курсу впливає на ймовірність виявлення та ураження. Метод динамічного програмування передбачає покрокову оптимізацію у зворотному напрямку – від цілі до початкової точки, що дозволяє сформулювати оптимальну стратегію маневрування.

Інтеграція цих методів у математичну підготовку формує здатність не інтуїтивно, а обґрунтовано приймати рішення, що підвищує ефективність бойових дій і сприяє збереженню життя.

БАЙЕСІВСЬКА МЕТОДОЛОГІЯ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ У СИСТЕМІ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АВІАЦІЙНОЇ ГАЛУЗІ

Н.М. Гузик¹, к.ф.-м.н., доц.; Х.І. Ліщинська¹, к.т.н., доц.;

Н.Б. Сокульська¹, к.ф.-м.н., доц.; Ю.А. Сенік², к.т.н.

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Національний лісотехнічний університет України

Забезпечення високого рівня безпеки польотів нерозривно пов'язане з якістю професійної підготовки авіаційного персоналу, що актуалізує проблему ідентифікації та мінімізації ризиків в освітньому процесі. Традиційні детерміністичні підходи до оцінки надійності людського фактора не завжди дозволяють врахувати стохастичну природу помилок та багатоваріантність сценаріїв їх виникнення. У цьому контексті перспективним інструментом виступає байесівська методологія, яка ґрунтується на ітераційному оновленні ймовірнісних оцінок у міру надходження нової емпіричної інформації.

Застосування байесівського підходу в системі професійної підготовки дозволяє перейти від статистичної фіксації відхилень до прогностичного моделювання ризиків. Апріорні дані про типові труднощі у засвоєнні матеріалу чи виконанні процедур можуть бути скориговані на основі поточних результатів навчання, що забезпечує формування індивідуалізованих траєкторій підвищення кваліфікації. Така методологія уможливило не лише кількісне вираження ймовірності професійних девіацій, але й виявлення прихованих кореляцій між окремими компетентнісними дефіцитами та потенційними помилковими діями. Впровадження байесівських моделей в освітню практику сприяє формуванню адаптивної системи підготовки, здатної превентивно нівелювати загрози безпеці польотів, що походять від людського чинника, тим самим підвищуючи загальну стійкість авіаційної системи до відмов.

ІІІ-КЕРОВАНІ МОДЕЛІ ЕКО-СИСТЕМИ ARCGIS ДЛЯ ОБОРОННО-БЕЗПЕКОВИХ РІШЕНЬ

В.Ю. Тимчук¹, к.т.н., с.н.с.; Т.В. Триснюк², к.т.н.;

В.В. Худоба³, к.геогр.н., доц.; А.І. Делятинчук⁴

¹Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;

²Інститут телекомунікацій і ГІП Національної академії наук України;

³Львівський державний університет фізичної культури;

⁴Ясінянська об'єднана територіальна громада

В умовах війни найкращі ІТ з комерційного середовища (т.зв. COTS) стало вивчають для їх впровадження в Україні або розробки національних ІТ, як це має місце в кластері BRAVE1.

Серед найкращих COTS безумовно, відзначається спеціалізоване програмне середовище ArcGIS, яке, по суті, вже стає екосистемою. Не є таємницею, що окремі прикладні рішення ArcGIS є сумісними з системою C2 "Дельта".

На сьогодні, в безпековій сфері екосистеми в цілях ідентифікації потенційних загроз, створено ІІІ-керовану платформу інформаційної

обізнаності реального часу (AI-powered realtime information platform). Її джерелами є соцмережі, публічні сенсорні дані, аудіо сканери, глибоке сканування інтернету і “темного вебу” (dark web). В платформі реалізовано низку моделей. Модель прогнозування працює з поточною та архівною інформацією, видає оцінки щодо загострень (з локалізацією місць і середовищ) і щодо розвитку подій (дає проекти оптимальних логістичних ланцюгів і залучення персоналу для реагування на загрозу). Модель координації, базуючись на організаційно-правових основах, підбирає колаборацію операторів для дій (тобто сили і засоби). Модель відтворення синтезує дані у текстовому, зображальному, аудіовізуальному форматах та упорядкованому в бази даних. Модель просторового аналізу (на основі застосунків ArcGIS Enterprise, ArcGIS Online, ArcGIS Solutions Watch Center, ArcGIS Velocity та технології Datamint intelligence) візуалізує загрози та їх можливу динаміку. Модель аналізу виконаних дій (After-Action Review) оцінює ефективність життєвих заходів.

A SCENARIO-BASED FRAMEWORK FOR FORECASTING POST-WAR CIVIL AIR TRAFFIC RECOVERY

V. Kuchmenko

State University “Kyiv Aviation Institute”

The reopening of an airspace after a prolonged shutdown represents a forecasting challenge compared to conventional aviation crises. Post-war recovery begins from a complete absence of civil operations, resulting in a “cold start” situation where recent historical data are unavailable or no longer relevant. Under these conditions, classical time-series and data-driven forecasting methods become unsuitable. This paper presents a transparent, scenario-based framework for modeling civil air traffic recovery under severe data scarcity. The approach separates recovery dynamics from seasonal traffic patterns and relies on expert assumptions rather than historical extrapolation. Recovery trajectories are modeled using a logistic function parameterized by alternative recovery horizons, while seasonality is reconstructed using data from a structurally comparable European airspace. The framework is demonstrated on a synthetic post-shutdown scenario using Poland airspace data. Results show that the model captures key structural features of post-shock recovery and supports scenario comparison for strategic planning by aviation authorities.

МАТЕМАТИЧНЕ МИСЛЕННЯ У СТРУКТУРНІЙ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВО-ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

О. Сухомлинова

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут

Військово-прикладні задачі пов'язані з неповнотою даних, похибками вимірювань, динамічністю параметрів і необхідністю оперативного прийняття рішень. За таких умов перехід від опису ситуації до її математичної структури

відкриває можливість перевірки гіпотез і порівняння альтернатив на основі обчислюваних критеріїв.

Математичне мислення виступає механізмом редукції складності: воно виокремлює істотні змінні, переводить якісні характеристики у кількісні та встановлює залежності між параметрами. Формалізація військово-прикладних процесів передбачає використання апарату математичного аналізу, теорії ймовірностей, диференціальних рівнянь і методів оптимізації. Водночас коректність припущень і узгодженість результатів визначають надійність висновку, оскільки точність обчислень не компенсує помилки моделі.

Саме математичне мислення включає числові показники в систему умовних залежностей, у межах якої вони набувають змісту; їх ізольована інтерпретація може змінити висновок навіть за незмінних вихідних даних. Це зокрема помітно у задачах оцінювання достовірності сигналу системи спостереження (точність 85 %, частота появи об'єкта 20 %, рівень хибних тривог 10 %). Показник 85 % характеризує спрацювання за наявності об'єкта, але не визначає його фактичну присутність після сигналу. Формалізація ситуації в термінах умовних і апостеріорних ймовірностей дає результат близько 0,68, що відображає залежність висновку від моделі. У військово-прикладному контексті коректність побудованої моделі визначає обґрунтованість прийнятого рішення.

ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ БОЙОВИХ ДІЙ

О.М. Чередніков, к.т.н., доц.; А.Г. Павленко, к.т.н., ст.д.;

Д.Т. Шевченко; О.В. Кушніренко

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

Важливою складовою моніторингу стану безпеки польотів державної авіації України є прогнозування показників безпеки польотів з урахуванням впливу експлуатаційних факторів.

Основними експлуатаційними факторами впливу на безпеку польотів є: технічний стан літальних апаратів, ефективність технічної експлуатації, характер та інтенсивність експлуатаційних навантажень тощо. В умовах бойових дій вплив зазначених факторів набуває специфічних особливостей, що зумовлює необхідність застосування комплексних методів статистичного аналізу даних.

Такі особливості, зокрема пов'язані з можливою наявністю ефектів взаємодії зазначених факторів та фактору впливу засобів збройної боротьби противника (РЕБ, ППО, ракетні та авіаційні удари по місцях базування авіації тощо). Необхідність урахування ефектів взаємодії факторів, у свою чергу, обумовлює специфіку структурно-параметричної ідентифікації регресійних моделей впливу на безпеку польотів.

Іншими важливими особливостями аналізу впливу експлуатаційних факторів на безпеку польотів є: необхідність комбінації кількісних та якісних показників, різних за своїм фізичним змістом та шкалами вимірювання,

неоднорідність вибірок статистичних даних, відсутність апіорної інформації про характеристики відповідних випадкових величин та функцій. Зазначені особливості обумовлюють необхідність застосування непараметричних аналогів таких методів аналізу даних, як дисперсійний, кореляційний та факторний аналіз у поєднанні з технологіями машинного навчання та штучного інтелекту.

ВИРІШЕННЯ ВІЙСЬКОВО-ПРИКЛАДНОЇ ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ З ВИКОРИСТАННЯМ ANSYS WORKBENCH

*О.О. Білобородов, д.т.н., ст.д.; А.Л. Зірка, к.т.н., ст.д.; Д.С. Завадський
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України*

Програмне забезпечення інженерних розрахунків Ansys дозволяє вирішувати широкий клас модельних розрахунків різної фізичної природи. Авторами запропоновано до вирішення міждисциплінарну задачу пошуку компромісу щодо мінімізації характеристик радіолокаційної помітності при забезпеченні необхідного рівня аеродинамічної якості повітряного судна.

Оцінювання рівня радіолокаційної помітності реалізовано у модулі HFSS шляхом обчислення медіанного значення рівня ефективної площі розсіювання у горизонтальній площині (що відповідає переважним ракурсам спостереження радіолокаційними засобами). Оцінювання аеродинамічної якості реалізовано у модулі CFD шляхом обчислення відношення інтегральних значень сил вздовж вертикальної та горизонтальної проєкцій.

Вхідними даними для зазначених розрахункових задач виступає 3D-модель повітряного судна, яка створена у формі параметризованого геометричного об'єкта у модулі Discovery. Параметрами було обрано горизонтальне розташування крила відносно корпусу планера, кут нахилу крила в задній бік, а також параметри профіля крила.

Інтеграцію оптимізаційної задачі було реалізовано у середовищі Workbench: на першому етапі побудовано поверхню відгуку у просторі вхідних і вихідних параметрів; варіювання вхідних параметрів у заданих межах призводить до зміни геометрії об'єкта досліджень та відповідних вихідних цільових параметрів.

ТРИГОНОМЕТРИЯ: ВІД ШКІЛЬНОГО ПІДРУЧНИКА ДО РЕАЛЬНОГО ПОЛЬОТУ

А.Д. Юрченко

*Комунальний заклад “Харківський фізико-математичний науковий ліцей №27”
Харківської міської ради*

Актуальність: дослідження демонструє зв'язок шкільної тригонометрії з практичною авіацією, тож підвищує мотивацію учнів до вивчення математики, сприяє формуванню прикладного математичного мислення та професійній орієнтації учнів.

Мета: на конкретних прикладах простежити зв'язок шкільної задачі на трикутник і алгоритму визначення відстаней та розрахунку курсу літака в умовах реального польоту.

Приклади застосування тригонометрії в авіації:

1. Пеленгація (визначення відстані) до повітряної цілі за відомою базою між двома пунктами та вимірними кутами за допомогою теореми синусів.

2. Коригування маршруту – розрахунок обхідного шляху, коли прямий маршрут неможливий, за допомогою теорем косинусів та синусів.

3. Розрахунок траєкторій руху БпАК за допомогою математичного моделювання.

Висновки:

1. Описані приклади доводять, що шкільна тригонометрія – базовий інструмент авіаційної навігації.

2. Розв'язування таких задач у школі підвищує мотивацію учнів до навчання та розкриває прикладне значення математики для майбутніх фахівців авіаційного профілю.

3. Актуальність цієї теми підтверджує необхідність висококласних фахівців для безпілотних авіаційних комплексів (БпАК).

СЕКЦІЯ 23

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЦИВІЛЬНІЙ АВІАЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

Керівники секції: полковник Гладчук В.А.;
д.т.н. проф. прац. ЗС України Шевяков Ю.І.
Секретар секції: прац. ЗС України Семеренко Ю.О.

WAYS TO INTEGRATE THE TRAINING SYSTEM FOR AVIATION PROFESSIONALS IN UKRAINE INTO THE COMMON AVIATION AREA WITH THE EUROPEAN UNION

*V. Hladchuk¹; Y. Sheviakov², Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Aleksandrova²*

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Force

Ukraine's integration into the Common Aviation Area (CAA) requires an immediate transition to the standards of the European Aviation Safety Agency (EASA). The key problem remains the regulatory gap between Ukrainian programmes and European regulations Part-FCL and Part-66.

The main solution is the direct certification of Ukrainian educational institutions within the EASA structures for automatic recognition of qualifications. It is necessary to implement a competency-based training approach (CBTA) that focuses on practical skills rather than just theoretical hours. With airports closed, training based on VR/AR simulators and 'digital twins' of aircraft should be a priority. An important step is to create joint training hubs with neighbouring countries to provide practical flight training for cadets. It is also necessary to scale up dual degree programmes with leading EU aviation universities to synchronise knowledge and pay special attention to aviation English as the foundation of safety in the common sky.

Solving these tasks will allow Ukraine to become a full-fledged participant in the European aviation transport market. The key task is to train specialists whose licences are recognised and competitive in any EU country.

RENEWAL AND DEVELOPMENT OF THE AVIATION INDUSTRY THROUGH INTENSIFICATION OF SCIENTIFIC RESEARCH

Y. Sheviakov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Aleksandrova; N. Babchenko

Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Force

The current state of global and domestic aviation requires not just a mechanical restoration of lost capacity, but a qualitative technological leap. The scientific sector must become the foundation for a "green" and digital transition that will ensure the industry's long-term competitiveness.

Key areas for intensifying research:

Digitalization and digital twins: The introduction of aircraft life cycle technologies reduces design and maintenance costs.

Greening and alternative energy sources: Development and testing of sustainable aviation fuel (SAF), hydrogen fuel cells and electric power plants.

Unmanned Aerial Systems (UAS): Intensification of research in the field of autonomous navigation, integration of UAVs into general airspace, and creation of cyber threat protection systems.

Strategic steps for implementation:

Creation of scientific and industrial clusters: Close integration of universities, research centres and aviation enterprises for rapid technology transfer.

State support for R&D: Increased funding for applied research aimed at import substitution and the development of unique domestic technologies.

International scientific cooperation: Participation in global projects (e.g., within the EU Horizon Europe programmes) to attract investment and expertise from leading global developers.

The aviation industry cannot be revived without the rapid development of its scientific base. Intensifying research will enable crisis challenges to be turned into opportunities for technological leadership.

TRANSFORMATION OF EDUCATIONAL CONTENT IN THE CONTEXT OF DIGITISATION: FROM LOCAL RESOURCES TO MOBILE APPLICATIONS

Y. Sheviakov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

V. Aleksandrova; N. Kononova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern educational paradigm, driven by the widespread introduction of distance and blended learning formats, requires a fundamental rethinking of approaches to the design of educational materials. Traditional static resources are being transformed into complex digital products that integrate content, communication and management into a single system.

A key element of the modern architecture of education is the digital layer of learning. This is the integration level of the environment that combines digital assets, interaction channels, and process organisation tools. It is at this level that the transition from linear presentation of material to multimedia complexes (video lectures, podcasts, interactive tasks) takes place.

The digital sphere acts as infrastructure that provides:

1. Content structuring: organising access and promptly updating materials.
2. Interaction moderation: supporting feedback between the teacher (who becomes the content developer) and the learner.
3. Analytics: using user activity data to adapt the course.

An important vector of development is the development of mobile learning applications. The experience of implementing an international educational project shows that the mobile format is the most effective for implementing microlearning. The application allows you to integrate: theoretical modules in video and audio format; instant self-assessment tools; reference digital databases. This approach significantly increases user engagement by combining theory with practical cases within a single interface.

BUILDING A UNIVERSAL DATABASE OF LIGHT AIRCRAFT THAT COMBINES QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS

*Y. Sheviakov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V. Aleksandrova; N. Babchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National University of Air Force*

The rapid development of small aviation requires effective tools for market analysis, model comparison, and decision support when purchasing or designing aircraft. Currently, information about light aircraft is scattered: technical specifications are found in registries, and data on operating experience is found in reviews and expert reports. The creation of a universal database (DB) allows these resources to be consolidated.

To ensure universality, it is proposed to divide the data into two vectors:

- quantitative characteristics: maximum take-off weight (MTOW), engine power, cruising speed, flight range, fuel consumption, cost per flight hour;
- qualitative characteristics: cabin comfort level, control ergonomics, maintainability, avionics reliability, and safety assessment based on operational data.

The main difficulty is converting qualitative parameters into digital values for comparative analysis. For this purpose, expert assessment methods and fuzzy set theory methods are used.

The database is based on a relational model using JSON fields to store unstructured qualitative data. This allows the system to remain flexible when adding new aircraft models with unique design features.

For the first time, a model has been proposed that allows for a multifactorial analysis of aviation equipment not only based on the manufacturer's passport, but also on actual life cycle indicators. Such a database will form the basis for intelligent aircraft selection systems (Recommendation Systems) for private owners and flight schools.

APPLICATION OF KRAVCHUK'S POLYNOMIALS IN CUTTING-EDGE TECHNOLOGIES IN AVIATION

*Y. Sheviakov, Doctor of Technical Sciences, Professor;
Y. Kushneruk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Aleksandrova
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Mykhailo Kravchuk was a world-renowned Ukrainian mathematician whose name was long erased from history due to Soviet repression. Kravchuk polynomials are his most famous achievement. Today, these mathematical structures form the basis for data encoding, information theory, and even quantum physics.

Regarding the latest technologies in aviation:

1) Kravchuk moments are used to identify aircraft silhouettes in autonomous UAV navigation systems. Traditional image recognition methods require the discretization of continuous functions, which causes errors at low resolutions of digital cameras. The use of Kravchuk moments avoids approximation errors and ensures high accuracy in describing aircraft geometry.

2) Data transmission in aviation occurs in conditions of intense electromagnetic interference, which requires effective error correction algorithms. The use of this

mathematical apparatus allows optimizing the energy costs of signal transmission while maintaining a high probability of delivering flight information data packets.

3) Onboard recorders record parameters discretely. To accurately reconstruct the trajectory or analyze engine vibrations, an approximation is needed that does not lose significant spikes. The expansion of aircraft system state functions into a series of Kravchuk polynomials allows flight data to be compressed without losing diagnostically important anomalies, which simplifies further analysis of the engine's condition.

MODELING OF RESOURCE COSTS OF AVIATION SYSTEMS BASED ON KRAVCHUK POLYNOMIALS

Y. Sheviakov, Doctor of Technical Sciences, Professor;

Y. Kushneruk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Aleksandrova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Most modern resource consumption models are based on continuous differential equations. However, real data on the state (operating hours, cycles, number of starts) is received discretely during scheduled inspections or with the discretization step of on-board systems. This creates a gap between the continuous model and the discrete nature of measurements. The use of Kravchuk polynomials opens up unique opportunities for analyzing discrete resource depletion processes.

To calculate Kravchuk polynomials $K_n(x, p, N)$, it is appropriate to use a recursive formula, which is critically important for programming onboard computers, as it allows calculating high-order polynomials without using complex factorials, which saves memory and processor time:

$$(n+1)K_{n+1}(x) = [p(N-n) + n(1-p) - x]K_n(x) - n(1-p)K_{n-1}(x),$$

where n – is the next order;

x – is the current step of the resource cycle;

p – is the wear intensity parameter;

$K_0(x) = 1$ – in aviation modeling $K_0(x)$ corresponds to the average value or

“zero level” of the resource;

$K_1(x) = pN - x$ – this is the most important working tool in the model, as it is responsible for linear dynamics (the rate of change of the resource);

$K_2(x) = 0,5 \left[(N-x)(N-x-1)p^2 - 2x(N-x)p(1-p) + x(x-1)(1-p)^2 \right]$ – informs about accelerated wear (defect signal).

IMPROVING THE OPERATIONAL MAINTAINABILITY METRICS OF AIRCRAFT

A. Biekurov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The operational maintainability (OM) of an aircraft is a pivotal factor determining its operational efficiency, operating expenditures, and dispatch reliability. Achieving the requisite level of OM necessitates a comprehensive

integration of both design and operational factors across all stages of the aircraft's lifecycle.

An objective evaluation of OM requires a robust framework of quantitative metrics, encompassing both aggregate and individual indicators. Relying on a single metric is insufficient to fully account for the multifaceted nature of factors influencing the maintainability level.

Complex challenges, particularly characteristic of legacy aircraft with significant service lives, include the following:

- Structural Integrity and Fatigue Strength.
- Technological Obsolescence and Systems Integration.
- Economic Constraints and Operational Efficiency.
- Human Factors and Engineering Personnel.
- Research Gaps.

Promising research directions aimed at enhancing aircraft maintainability involve the active implementation of Artificial Intelligence, the expanded deployment of sensor networks (for Condition-Based Maintenance), the optimization of Maintenance, Repair, and Overhaul scheduling, and the standardization of maintenance protocols for aging fleets.

The improvement of operational maintainability metrics is only feasible through close synergy between designers, manufacturers, operators, and research institutions across all stages of the aircraft's development and operational life.

APPLICATION OF THE DOUBLE FAILURE MATRIX METHOD TO ENHANCE THE RELIABILITY OF AIRCRAFT

*A. Biekirov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Sigaylo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The operational regularity and flight safety of an aircraft, as well as its economic efficiency, are significantly determined by the reliability levels of its components.

Reliability analyses of aircraft and their respective components indicate that operational safety and integrity are largely contingent upon the timely identification, analysis, and prevention of system and element failures throughout all stages of the product lifecycle. This facilitates the identification of strategies to improve reliability criteria through the implementation of diverse analytical methodologies.

Inductive analysis methods, such as Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis (FMECA), provide a systematic framework for identifying failure modes, their underlying causes, and subsequent effects. These methods enable the ranking of failures by criticality, thereby supporting informed design decisions and the prioritization of corrective measures based on the severity of consequences. The application of FMECA during the early stages of design process ensures the proactive identification of structural or systemic vulnerabilities, promoting the selection of design solutions characterized by superior reliability and robustness.

The Double Failure Matrix (DFM) method extends the capabilities of inductive analysis by incorporating the consideration of combined failures (multiple failures). This is particularly critical for redundant functional aircraft systems. While the application of the DFM method enhances the comprehensiveness of the analysis compared to standard FMEA and FMECA, its utility is typically constrained to systems with a relatively limited number of components due to the increasing complexity of the matrix.

DETERMINING THE REQUIRED POWER FOR HORIZONTAL FLIGHT OF AN AIRCRAFT WITH A QUAD-ROTOR LIFT SYSTEM

*V. Berdochnyk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
D. Berdochnyk, Ph.D.; A. Berdochnyk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In horizontal flight, single-rotor helicopters experience a change in the power that must be supplied to the main rotor. This is due to changes in the “conditional” components of the main rotor total power when the flight speeds changes: inductive, profile, and power to overcome the drag of the aircraft. The power consumed for course balancing is usually considered separately in the form of additional consumption of the engine’s available power, together with the power consumption of the transmission, the various onboard units, and the cooling system fan. When considering the power required for the main rotor to operate, it should be understood that it should actually be determined as the mechanical power of the rotor’s rotational movement, i.e., as the product of the torque and its rotational frequency.

For an aircraft equipped with a quad-rotor lifting system, there is a significant influence of the vortex trail behind the front pair of rotors on the flow conditions around the rear pair of blades, which necessitates longitudinal balancing of the aircraft in horizontal flight. As a rule, this balancing is achieved by appropriately controlling the front and rear pairs of propellers in the system, and the associated power consumption is considered part of the required power of the quad-propeller system.

The report presents the results of numerical modeling of the oblique flow modes of quad-rotor lift systems to ensure the required lift, drag, and longitudinal balance, as well as the power required for this.

HUMAN FACTORS IN AVIATION: HISTORICAL ASPECTS AND THE MODERN PARADIGM

*A.Pryimak, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher; P. Momot
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The concept of “Human Factors” (HF), while encompassing the functioning of a human being as a subject in all spheres of social life, ultimately focuses on socio-functional activities within specific domains, defined by the level of professional training, social activity, civic responsibility, and the individual’s health. In aviation, the issue of HF is critically important for ensuring Flight Safety (FS). Its historical roots date back to the 19th century, when engineer I.I. Richter, studying railway accidents, identified a trend: while technical equipment improves and becomes more reliable, “spiritual causes” (human errors) remain a constant risk factor. In the early 20th century, psychotechnics as a science, developed by W. Stern and H. Münsterberg, established the tasks of professional selection and the adaptation of technology to human psychological capabilities. The term “personal factor” was introduced, linking the reliability of controlling complex systems to the operator’s psychological qualities. In domestic science of the 1920s, S.E. Mintz and A.P. Nechaev implemented psychophysiological testing, establishing a clear dependence of the number of accidents on the pilot’s individual qualities. However, the development of this field was interrupted in 1936 due to ideological reasons.

Parallel to professional selection, an ergonomic approach evolved (N.A. Bernstein and N.M. Dobrotvorsky), which introduced the following fundamental principle: requirements for a pilot are only valid once the aircraft design is maximally adapted to the average person and comfortable working conditions are ensured.

The modern ICAO Flight Safety concept provides a clear definition of HF, highlighting it as the cornerstone of ensuring FS. At the same time, it emphasizes the need for an integrated approach to the HF problem, oriented toward accounting for the capabilities of an “average”, yet not “impersonal”, operator. Ignoring these principles leads to a persistent high level of accident rates due to personnel error.

EXPERIMENTAL STUDIES OF A SIMPLIFIED BI-COPTER UAV MODEL

Y. Nemshylov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

V. Rykun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

O. Sukmaniuk

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aircraft are usually statically unstable objects. Due to this, increased maneuverability and controllability are achieved. One of the promising areas is the development and implementation of UAVs of the bi-copter or tiltrotor type. Their movement is provided by two screw electric drives. The non-identity of engine parameters and the peculiarities of the movement of UAVs of this type determine special requirements for control systems. To ensure stability, modeling and research using various tools are necessary. The most accessible models of unstable movements are pendulum devices of various types, which allow studying stabilization processes.

The aim of the work is to use computer stabilization systems for a simplified bi-copter-type UAV model by changing engine thrust. The objectives of the work are: development of a computer stabilization system for pitch or roll angles, creation and testing of stabilization algorithms on a laboratory bench using an ARDUINO controller, research of the functional capabilities of angular stabilization circuits.

When performing the work, it was chosen control law using angle and angular velocity feedback.

A variant of aircraft stabilization using engine thrust control is proposed. The control law of the computer stabilization system, which is implemented on the ARDUINO controller, is selected and tested. The applied value of the work is the further use of the obtained results in modern bi-copter models.

MICROPROCESSOR-BASED RELAY PROTECTION DEVICES FOR CABLE LINES OF MILITARY AIRPORT POWER SUPPLY SYSTEMS

V. Rykun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

B. Biriukov; D. Filimonov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In accordance with the requirements of the Rules for the Arrangement of Electrical Installations, relay protection of the cable line of a military airfield against multi-phase short circuits must be implemented as a two-stage system. The first stage is the current cut-off (CCO) for the instant elimination of significant damage, and the second is the maximum current protection (MCP), the time-current characteristic of which (dependent or independent) is selected depending on the

selectivity conditions. Additionally, selective protection against single-phase ground faults is provided, the function of which is to inform personnel (action on the signal) without immediately turning off the line.

To implement these relay protection devices on traditional electromagnetic relays, at least 7 overcurrent relays, 2 time relays, 3 indicating relays and 3 intermediate relays located in a suitable cabinet will be required.

The conducted analysis of the operation of the cable power lines (CLP) of military airfields showed that, according to the “price-quality” criterion, it is advisable to use the simplest microprocessor terminals of the company for relay protection of such power lines. “Schneider Electric” (France) SEPAM series 10.

Use of relays SEPAM series 10 To protect the line, the CLP allows you to provide:

- protection of the CLP against short circuits and overloads;
- MCP from three-phase short circuits with time delay;
- MCP ground fault and thermal overload protection.

This shows the possibility and feasibility of using microprocessor relays to increase the reliability of power supply to military airfields.

PARALLEL OPERATION OF SYNCHRONOUS GENERATORS IN AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS

*Y. Nemshylov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
O. Ruchka, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; O. Chudnovskiy
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Ensuring a high level of stability and uninterrupted power supply to strategically important facilities and industrial enterprises requires the integration of autonomous power sources that perform the function of backup for the main network. With this architecture, the power supply system operates in two key modes: main (from the external power system) and autonomous (from its own generating capacities in the event of emergency situations in the main networks).

A typical configuration of such systems usually includes two or more synchronous generators, the technical capabilities of which allow them to operate both separately and in parallel mode. Parallel operation of generating units is a basic condition for creating stable power systems, as it guarantees high reliability of supply and allows optimizing specific energy consumption. The transition to a common operation mode requires the execution of a synchronization procedure, which is a critically important stage of operation.

The efficiency of parallel operation directly depends on the accuracy of the automatic distribution of active and reactive loads in proportion to the rated capacities of each unit. The design and functional features of synchronous generators allow them to be connected to parallel operation both with each other and with the external main power system.

Parallel operation of generators is a fundamental condition for energy security of consumers. At the same time, uneven distribution of power between units leads to excessive fuel consumption and accelerated wear of equipment. The development of technical means that ensure optimal load distribution between geographically remote generation nodes is an important engineering task.

APPLICATION OF TOPOLOGICAL IMAGES TO THE MATRIX OF CIRCUITS/SECTIONS OF AN ELECTRIC CIRCUIT

*D. Shymuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
K. Hasanov; K. Yevstafieva
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

To analyze electromagnetic processes in electrical installations using the method of state parameters, it is necessary to have the equations of objects in the form of a system of differential equations of the first order in the form of Cauchy. It is under this form that algorithmic procedures for the numerical solution of linear and nonlinear differential equations are created. Therefore, the task of algorithmic determination of the values of the elements of the matrices of Cauchy equations is urgent.

A universal method of describing the topology of any scheme with reactive elements is the application of the Kirchhoff con-tour/section matrix. This matrix immediately determines the equation of the electrical network – the number of columns is equal to the number of contours (equations according to Kirchhoff's second law), – the number of rows is equal to the number of nodes (equations according to Kirchhoff's first law).

To obtain the values of the elements of the matrices of Cauchy equations, it is necessary to solve such a system of equations separately every time for each element, which is irrational. Therefore, it is proposed to apply the well-known Meson formula, which is a universal template for the formation of any transmission coefficient.

To apply Maison's formula, you should establish the following images of the signal graph: all possible paths between non-required nodes, all independent contours, a system of touching the contours between themselves and between contours and paths.

The method of combinatorial determination of the disjunctive-normal form is presented in detail to determine all possible ways between the necessary nodes for the quantitative assessment of cause-and-effect relationships "source" – "effect".

AUTOMATION OF RESPONSE TO INFORMATION SECURITY INCIDENTS

*O. Sievierinov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
Y. Semerenko; S. Barchuk
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid growth of data volumes, the distribution of information systems, and the active implementation of cloud technologies form a complex and dynamic cyber environment in which the number of security incidents is growing exponentially. Traditional methods of manual analysis and response are ineffective in conditions where the speed of attacks exceeds human capabilities to detect and neutralize them.

That is why today the implementation of automated incident response systems that can ensure the efficiency, consistency, and accuracy of actions of cyber security specialists is becoming critically important. The analysis showed that SOAR (Security Orchestration, Automation, and Response) technologies play an

important role in this process, which combine the orchestration of security tools, the automation of routine operations, and centralized incident management.

To address automation issues, it is proposed to create an integrated model of interaction between the SOAR platform and open cyber security technologies, which allows for the formation of a scalable, adaptive, and reproducible information security architecture. The proposed approach provides synergy between SIEM and SOAR systems, combining centralized event collection and correlation with the possibility of automated processing and scenario response (playbooks) in real time.

A comprehensive automated incident response system based on the integration of TheHive and Cortex platforms in a Docker containerized environment is proposed. It provides a full incident management cycle – from detection, correlation and analysis of events to decision-making and execution of automated response. The use of this architecture has significantly reduced the average time to detect and eliminate cyber threats, increased the accuracy of analytical processing of events and the speed of decision-making in critical situations, as well as minimized the impact of the human factor, which is a key aspect of ensuring the stability of modern security systems.

CHALLENGES OF INTEGRATING WESTERN FIGHTERS INTO AIR FORCE ENGINEERING SUPPORT

*O. Lykhodeev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; G. Sigaylo
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The integration of Western fighter aircraft into the Ukrainian Air Force's (UAF) operational framework is an extremely complex task. These aircraft were designed to operate within a "closed ecosystem" under specific operating conditions that differ significantly from the realities of current high-intensity combat operations. The primary challenges are as follows:

1. Infrastructure mismatch and mobility requirements. Airfield quality: Western aircraft are highly sensitive to runway conditions. Most Ukrainian airbases use segmented concrete slabs, while the F-16 requires continuous pavement, demanding discreet reconstruction. Survivability: Given the persistent threat of precision strikes, maintenance infrastructure must be decentralized and highly mobile. This includes the deployment of expeditionary C2 nodes, mobile GSE.

2. Personnel training and mindset shift. Pilot adaptation: Western cockpits feature highly integrated avionics suites and HMI that differ fundamentally from Soviet-era design. Pilots must develop new automated skills in systems management and decision-making. Specialist shortage: There is an insufficient number of personnel able to quickly master and maintain such complex systems.

3. Organizational and technical gaps. Staffing structure: Western doctrine dictates a higher maintainer-to-aircraft ratio (up to 23 personnel per F-16) compared to the 8–10 typically assigned in Ukrainian brigades. This necessitates force structure expansion and increased technical specialization. Fleet heterogeneity: Aircraft supplied by Denmark, Norway, and Netherlands may vary in configuration and upgrade level, significantly complicating supply chain management and cross-fleet maintenance.

4. Systemic transition. The UAF must shift from a Soviet-legacy fleet to a unified model.

PRACTICAL BREAKDOWN OF THE IEEE802.11A STANDARD FOR HIGH RATE WIRELESS COMMUNICATIONS

*V. Orlenko, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Wireless communication represents one of the most profound technological advancements of the modern era, which have fundamentally transformed global connectivity, commerce, and information exchange. Over the past several decades, its continuous evolution has been driven by concurrent progress in electromagnetic theory, digital signal processing, and semiconductor technology, establishing wireless systems as a cornerstone of modern society. Ultimately that development led to the creation of dependable wireless connectivity system, the STARLINK.

In this talk we consider technical specs of original digital wireless communications standard IEEE802.11a. The standard puts forward a very clever technique for the spread spectrum wireless communications. Basic vehicle that provides for wireless connectivity systems like 4G, 5G, Wi-Fi and soon, is the OFDM Symbol. The OFDM symbol has a total duration of 4.0 μ s. This duration is divided into two distinct components to mitigate the effects of Multipath Propagation and Inter-Symbol Interference (ISI): 1) Orthogonal Tone Duration, a 3.2 μ s window where the actual data and pilot tones are modulated. This window determines the subcarrier spacing; 2) Guard Interval, an 0.8 μ s Cyclic Prefix, which provides a buffer against temporal spreading of the signal caused by multipath wave propagation in the dense urban environment. This waveform results in the baseline symbol rate of 250 ksymb/s.

From a computational perspective, the standard presumes digital hardware implementations that utilize a 64-point FFT. This provides sufficient resolution to map the 52 active subcarriers within the 20 MHz window while leaving the remaining “bins” as zero-padding for the guard bands.

INFORMATION TECHNOLOGY FOR PARAMETER IDENTIFICATION OF COMPLEX CONTROL SYSTEMS BASED ON MINIMIZED DYNAMIC MODELS

*S. Lapta, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Despite considerable progress in diabetes research and the effectiveness of insulin therapy in clinical practice, the issue of preventing the life-threatening long-term complications of this disease remains unresolved. Such complications often arise not only due to inadequate insulin compensation, resulting from the absence of precise methods for optimizing insulin therapy, but also in cases of latent type 2 diabetes mellitus

The concept of program-model-based extraction of diagnostic information from glycemic data – aimed at evaluating the functional state of a patient’s carbohydrate metabolism regulation system – was proposed over half a century ago. The implementation of this approach required the development of a mathematical model capable of accurately reproducing the physiological behavior of this system under various deviations from its basal (normal) state.

The newly proposed model for glycemia dynamics is the most simplified in terms of the order of the differential equation and the number of variables involved.

It is physiologically valid and currently represents the only comprehensive model capable of universally describing the dynamics of glycemia under any exogenous glucose load. It can be applied in clinical practice for the diagnosis and management of diabetes mellitus, as well as integrated into automatic therapeutic systems for insulin therapy in diabetic patients.

In the future, it would be valuable to extend this model by incorporating a description of insulinemia dynamics, which is implicitly accounted for in model, in order to develop a comprehensive minimal model of glucose-insulin metabolism.

INFORMATION PROCESSING MODULE FOR THE IDENTIFICATION OF LATENT PHASES IN DYNAMIC PROCESSES

*S. Lapta, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

This article introduces a clinical information processing module within a biotechnological system (BTS) designed for large-scale population screening aimed at detecting type 2 diabetes mellitus (DM2), including its latent form – prediabetes. The proposed BTS follows a conventional architecture, comprising biological components (the patient and physician), standard technical modules, and a novel clinical information processing block, integrated into a unified functional system. The operation of this module is grounded in expert-based diagnostics performed by experienced endocrinologists, currently regarded as the most reliable and accurate method. To support this, a mathematical model representing the intellectual decision-making process of the expert endocrinologist has been developed. This model formalizes the diagnostic reasoning for prediabetes using a logical algebraic formula.

In summary, the Integral Logical Criterion (ILC) enables classification of glycemic states – specifically, distinguishing between normoglycemia and prediabetes – with an accuracy that closely approximates the diagnostic conclusions of experienced endocrinologists. This level of diagnostic reliability allows the ILC to be effectively employed in large-scale population screening programs for prediabetes within the framework of the corresponding BTS. During the operation of the diagnostic BTS, the operator performs clinically minimally invasive procedures, such as capillary blood sampling from the patient's finger. The collected samples are then analyzed by an automated blood analyzer. The glycemia measurements obtained form a standard oral glucose tolerance test, and the resulting data are transmitted to the computational processing unit implementing the ILC model. The diagnostic output, generated in the form of a computerized conclusion, is subsequently stored in a central database and displayed on the physician's terminal.

THE ROLE OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND ELECTRICAL ENGINEERING SYSTEMS IN THE TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS UNDER THE CONDITIONS OF MODERN WARFARE

*A. Vitchenko; M. Ivashchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The full-scale Russian-Ukrainian war has led to an increased role of information technologies and electrical engineering systems in the activities of the Armed Forces of Ukraine. A modern military specialist in the field of technical support must

combine professional knowledge with psychological resilience, legal awareness, and readiness to act under conditions of heightened responsibility.

The training of future specialists in information technologies and electrical engineering systems requires adaptation of the educational process to wartime conditions. Practice-oriented learning gains priority, including the use of simulators, digital platforms, and combat situation modeling, which contributes to the development of skills in operational analysis and technical decision-making.

The psychological aspect of training is associated with high psycho-emotional stress and responsibility for the functioning of critically important systems, which necessitates the development of stress resistance, self-regulation, concentration, and teamwork. The legal component presupposes knowledge of the fundamentals of military legislation, norms of international humanitarian law, and rules for the operation of technical systems during wartime as a prerequisite for safe professional activity.

Thus, the training of students in information technologies and electrical engineering systems for the military sphere requires a comprehensive integration of technical, psychological-pedagogical, legal, and social components.

ASSESSMENT OF RISKS ASSOCIATED WITH BAROMETRIC ALTIMETER ERRORS DURING APPROACH

S. Lisevych

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Analysis of incidents during approach procedure with vertical guidance (APV) using barometric vertical navigation systems (Baro-VNAV) has shown that errors in the barometric altimeter, as an information sensor for Baro-VNAV, can have serious consequences for flight safety during the final phase of the approach.

Barometric altitudes are widely used today:

- to define certain vertical approach paths (APV);
- to determine decision altitude (DA).

The technical characteristics of the barometric altimeter create two risks that can lead to erroneous altitude determination:

- 1) incorrect pressure setting on the altimeter scale;
- 2) temperature effects due to the difference between the real atmosphere and the standard atmosphere.

An error of 1 hPa causes an error in altitude of 30 ft, and 10 hPa will lead to an error in altitude of 300 ft. It is essential to ensure that the pressure is set correctly when using Baro-VNAV, remembering that if an error occurs, both the vertical profile and the DA will be affected.

The altitude error due to temperature effects can be predicted as it is directly related to the deviation from the standard ISA temperature.

Both errors are largely dependent on human factors.

To assess the risks associated with barometric altimeter errors, quantitative assessment methods can be used, for example, a statistical method based on the principle of extrapolating into the future trends in errors in the vertical profile and barometric altitude for a certain period of time in the past.

Based on the numerical indicators of individual risks, it is possible to propose risk reduction measures, technical solutions and develop certain general recommendations.

MODERN TECHNICAL MEANS OF EDUCATION IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES

P. Krasnopyorov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

At the present stage, considerable attention is paid to modern technical means of education. Among modern technical means of education, the global information network Internet occupies a special place.

It is through the Internet, online, that students have access to international sites, can listen to and watch videos, communicate with foreigners and understand the culture of the country whose language they are studying. The use of a projector plays a special role during thematic classes dedicated to professional and events inherent in English culture. New multimedia tools, which use an audio-visual format, provide opportunities that traditional textbooks cannot provide. These tools allow you to use almost all of the senses of students, combining printed text, graphic images, moving video, static photos and audio recordings, creating a “virtual reality” of real communication. It has been proven that the use of multimedia materials and computer networks reduces learning time by almost three times, and the level of memorization due to the simultaneous use of images, sound, and text increases by 30–40 percent. Thus, when using project technology, students’ cognitive skills develop. The ability to independently construct their knowledge and navigate the information space is formed, critical thinking and communication skills are actively developed.

Great opportunities in increasing the efficiency of the process of teaching foreign languages are the use of the Internet. Usually, the simplest application of the Internet in teaching foreign languages is its use as a source of additional materials.

However, the full possibilities of Internet are revealed when using it in the classroom: these can be special training exercises for distance learning of languages, electronic correspondence with foreign partners, etc.

OPERATIONAL RELIABILITY OF GAS AND VACUUM CIRCUIT BREAKERS

*O. Kamyshinsky; V. Rykun, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
R. Dulichenko*

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

It should be noted that the main task of circuit breakers is to interrupt short-circuit currents, i.e. to protect electrical equipment from the effects of emergency currents. Circuit breakers must perform this task with high efficiency and reliability.

One of the important criteria for assessing the efficiency and reliability of electrical equipment is the operational reliability index, which is defined as the average expected number of years of trouble-free operation. The inverse of operational reliability is the failure rate. As evidenced by a long-term analysis of the operational reliability of low-oil, SF6 and vacuum circuit breakers, operational reliability directly depends on the number of components of the circuit breaker’s switching chamber. Based on this, experiments were carried out on modern low-oil, SF6 and vacuum circuit breakers of the medium voltage class and the average number of components of the switching chamber was determined.

Comparing vacuum and SF6 circuit breakers, an intermediate conclusion can be drawn – the arc extinguishing part of SF6 circuit breakers has significantly more

elements compared to vacuum circuit breakers. The number of moving parts of the switching chamber is especially significant. The failure rate of moving elements is definitely higher compared to fixed elements. Due to the different number of components of the switching chamber, the maintenance of a particular type of switching device has different time parameters. In addition, the number of components affects the nominal number of switching operations of the device. In vacuum circuit breakers, the number of switching cycles of operating currents and short-circuit currents is significantly higher than in SF6 circuit breakers, i.e. they are well suited for frequent short-term switching operations.

APPLICATION OF CAPACITIVE ENERGY STORAGE STORES IN DIESEL POWER PLANTS OF MUNICIPAL FACILITIES POWER SUPPLY SYSTEMS

*S. Khabosha; D. Bielan; D. Gorai
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

With the beginning of large-scale missile strikes on Ukraine's energy infrastructure and the destruction of its energy facilities by the Armed Forces of the Russian Federation, many regions of the country have been using power cuts to cut off entire cities from electricity in order to evenly supply the country's industry and population.

The presence of decentralized power sources better resists missile strikes and has significant advantages because it provides energy autonomy. Gasoline and diesel generators of various capacities and voltages are widely used as one of the sources of power supply for municipal facilities. However, there are certain problems associated with their operation, especially when the external temperature drops to minus temperatures. There were also certain problems with starting diesel engines of electric generators during short-term starts due to a decrease in the capacity of the starter batteries and the lack of sufficient time for its restoration by recharging.

Given the specifics of the operation of municipal (communal) facilities, there is a need for constant readiness of diesel power plants for use, as this can lead to their destruction and large financial costs for restoration.

In order to prevent these shortcomings, the paper proposes the use of capacitive energy storage devices in diesel power plants. They are capable of providing electrical energy in a short time interval both during the start-up of internal combustion engines and providing rapid charging with minimal electricity demand in a short time between starts.

DIRECTIONS FOR USING INTERACTIVE TEACHING METHODS FOR TRAINING MILITARY SPECIALISTS

*V. Semeniuk; R. Frunt;
D. Zhuikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

War in modern conditions has turned into a constant technological competition, which has changed the tactics of conducting combat operations due to the contactless use of UAVs and the transition to the concept of network-centric wars with their simultaneous integration. The rapid change in types and new approaches to the methods of using weapons requires the military to constantly implement

significant changes, both in the training of troops and in the tactics of conducting combat operations.

According to the authors, a promising direction for training military specialists involved in the fight against enemy UAVs could be the development of a special interactive shooting course with exercises that would provide shooters with skills in destroying unmanned aerial vehicles on a computer or special simulators. Given that there are many different models of UAVs, it is necessary to create a catalog with their technical data, which can be constantly updated. During training, the shooter should be given the opportunity to choose: the type of weapon (means of destruction) and the type of UAV (taking into account its technical data), set: speed, altitude and distance to it, time of day, weather conditions (wind direction, its strength and speed), etc. After the shot (launch) is fired, the program should display the trajectory of the bullet (destruction means) and the target in three-dimensional form for visual perception by the shooter. Thanks to the use of AI, the software should independently determine all the necessary data for the destruction of the target, and if necessary (during training) indicate (fix) the aiming point and target location at the moment of firing.

We believe that such an approach will accelerate high-quality training and acquisition of professional skills by military specialists.

IMPROVING VHF AIR-GROUND DATA TELECOMMUNICATIONS FOR AVIATION SERVICES

*Ye. Zhydko; A. Chopenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub National Air Force University*

The rapid growth of airspace users worldwide, coupled with increasing air traffic volume and density, necessitates expanding the capabilities of air-to-ground (A2G) radio communications services. These services, using multiple 25 kHz channels in the 118–137 MHz VHF band, provide controller-to-pilot (CPDLC) and aircraft-to-ground (ACARS) data communications services.

This paper presents the potential for upgrading the Aeronautical Telecommunications Network and related air traffic management system components to increase air traffic management system capacity. The need to monitor thousands of parameters of modern engines and the significant increase in operational and safety-critical information necessitates the delivery of data in the A2G system at a rate that is a multiple of the data transfer rate of earlier-generation aircraft.

This paper demonstrates how to achieve higher-speed aviation data transmission channels, in addition to traditional narrowband communication services, by modernizing the aircraft architecture and systems using specialized hardware and software solutions and ACARS-over-IP tools.

It also demonstrates how ACARS over IP is integrated into modern IP networks and onboard equipment by using intelligent interfaces and multi-protocol radio frequency terminals to collect engine, hydraulic, and other data. Results are presented on how to increase data transfer rates by implementing the process of converting ACARS data from IP packets, encapsulating various data classes in IP packets, prioritizing the processing of critical ACARS traffic data, adaptive compression of aircraft technical condition data, and payload encoding.

IMPROVING SATELLITE RADIO COMMUNICATIONS TO ENSURING DATA TRANSMISSION IN AVIATION APPLICATIONS

*Ye. Zhydko; A. Chopenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub National Air Force University*

When aircraft fly for extended periods over oceans and deserts, the use of advanced satellite technologies and broadband satellite communications systems provides significant advantages in air traffic control, air traffic management, and improved maintenance services, among other things. Satellite radio communications provide higher speeds and greater throughput for real-time data transmission.

The article presents results on the feasibility of integrating terrestrial and satellite communications into a single network for aviation applications, and the key components of telecommunications network hardware and software solutions required to implement satellite radio communications capable of supporting the use of Internet technologies in aviation.

This paper demonstrates how to utilize end-to-end telecommunications networks in next-generation satellite networks, including IP services to support AOC, ATS, and AAC IP traffic, relying on the Internet Protocol Suite (IPS).

The paper presents results on how to convert signals into IP packets, integrate IP protocols into onboard systems, replace the OSI stack with the IPS, integrate protocols into ATN/IPS and Airborne IPS, and utilize gateways to convert ACARS messages into IP packets.

Also studied were the use of IPv6 for unique addressing of each onboard device (e.g. FMS, sensors), priority processing of ATS messages, ATS/AOC traffic, critical ACARS data, operation of QoS quality of service mechanisms, end-to-end data encryption between the aircraft and the control center, and data compression before transmission.

IMPROVING HIGH-SPEED INTERNET SERVICE FOR PASSENGERS ON BOARD AIRCRAFT

*Ye. Zhydko; A. Chopenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Vdovonkov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub National Air Force University*

To stay ahead in the competitive aviation market, airlines are striving to meet passenger demand for internet services on board aircraft, similar to what is available on the ground.

It has been established that high-speed, low-latency data exchange in aviation and an end-to-end telecommunications network can be achieved through Internet protocols using TCP/IP and UDP/IP data transfer methods over high-speed networks.

This paper demonstrates the implementation of an Aero Terminal in an aircraft, providing radio communication between the aircraft and a constellation of low-orbit satellites. The features of the phased array antennas (PARs) mounted on the aircraft fuselage are electronically controlled to capture STARLINK satellite signals and maintain stable communication even at high speeds and various flight altitudes. This paper examines how Wi-Fi 6 technology can be implemented to provide full internet coverage within a dense, multi-user environment, such as a passenger aircraft. This

allows for simultaneous connection of a significant number of clients with varying bandwidth requirements to a single access point, increasing spectrum efficiency, and throughput through orthogonal frequency division multiplexing (OFDMA). MU-MIMO (Multi-user Multiple Input Multiple Output) technology is used to implement spatial multiplexing, enabling the transmission of multiple independent data streams over the same bandwidth, increasing system throughput.

IMPROVING QUADROPTER CONTROLS UNDER WIND DISTURBANCES

*Ye. Zhydko; A. Chopenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

When flying quadrotor, a flight controller is used. Its control algorithms stabilize the quadcopter's (QC) position in space and adjust its trajectory and angular velocity. When unpredictable and chaotic weather conditions, including fluctuations in wind speed and direction, occur, control systems are needed that ensure the QC's constant stability under these conditions. Nonlinear control methods and nonlinear flight controllers are more suitable for QC control.

Results are presented on how to appropriately select control methods, multiparameter control systems, and flight controllers that can ensure the best QC control system stability during flight under strong wind loads.

It has been shown that, in the case of strong wind gusts, sliding mode control (SMC) and adaptive control methods and systems are useful for resilience to wind disturbances in flight, as they cope well with sudden wind changes. Furthermore, Disturbance Observer-Based Control (DOBC) can be useful for real-time gust assessment and compensation.

In cases of strong wind turbulence associated with chaotic forces, model-based control (Model Predictive Control (MPC)) can be effective during flight. Hybrid systems (PID + LQR), such as the Linear Quadratic Regulator (LQR), can also be used.

IMPROVING QUADROPTER CONTROL SYSTEMS UNDER MINOR EXTERNAL DISTURBANCES

*Ye. Zhydko; A. Chopenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Quadrotor (QUAV), using a mechatronic system with four main propellers in a cruciform configuration, fly along a trajectory with high precision and stability in any flight direction.

A control system with six degrees of freedom and four control inputs is responsible for maintaining the system's behavior within specified limits, accurately tracking the trajectory, stabilizing the QUAV position in space, and creating precise and rapid execution of the required vertical and lateral movements, pitch, roll, and yaw.

For cases where external disturbances are minor and deviations from the specified trajectory are small, the results of using a multiparameter control system to simulate QUAV flight controllers, selecting mathematical models of QUAV dynamics, and applying PID controllers to stabilize angles (pitch, roll, and yaw) are presented. Tracking error, stability, response time, and robustness to uncertainties were assessed. A possible approach to tuning the PID controller gains was explored.

DEVELOPMENT OF A RESILIENT DATA STORAGE SYSTEM MODEL FOR SMALL ENTERPRISES USING SOFTWARE-DEFINED STORAGE (SDS) TECHNOLOGIES

*M. Kolbasin; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current environment of business process digitalization, the continuity of data access has become a key factor in the stability of small enterprises and civil aviation departments. The challenge with traditional hardware-based storage systems (SAN/NAS) lies in their high cost and complex scalability, which is often financially burdensome for small organizations. This research aims to develop a model for a resilient storage system based on Software-Defined Storage (SDS) technologies, which enable the creation of reliable storage solutions using standard server hardware and open-source software.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on analyzing data mirroring and redundancy methods (RAID) within a software environment. The scientific inquiry involves designing an architecture where storage management logic is decoupled from the hardware, providing flexibility in drive selection and simplifying the data recovery process after failures. The research hypothesis suggests that implementing SDS solutions (e.g., based on ZFS file systems or Ceph technologies) will achieve enterprise-class resilience while significantly reducing capital expenditures on IT infrastructure.

The expected results of the subsequent work include creating a storage model capable of maintaining functionality despite the failure of one or more drives, alongside performance testing under various software RAID configurations. In the long term, the formulated recommendations will allow small enterprises, including aviation service units, to implement reliable systems for archiving technical documentation and flight data logs with minimal risks of data loss. This will ensure a high level of data integrity and rapid system ROI by utilizing accessible hardware resources.

RESEARCH AND PERFORMANCE OPTIMIZATION OF PRIVATE CLOUD STORAGES BASED ON THE NEXTCLOUD PLATFORM

*V. Popova; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the modern digital ecosystem of aviation enterprises, ensuring secure file sharing and collaborative document editing without relying on public cloud services which may pose data leakage risks is of critical importance. The use of private cloud storage based on the Nextcloud platform allows organizations to maintain full control over their information; however, it is often accompanied by issues of low interface responsiveness and synchronization delays when handling large data sets. This research is dedicated to analyzing the architectural features of Nextcloud and identifying methods for server-side optimization to enhance system performance in corporate environments.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on examining the impact of data caching mechanisms and the choice of database management systems on overall storage speed. The scientific inquiry involves a comparative analysis of standard configurations against solutions utilizing object caching (e.g., Redis) and

script execution accelerators (PHP-FPM). The research hypothesis suggests that integrating in-memory caching systems and optimizing database indexes will significantly reduce file access times and decrease disk subsystem load, even on servers with limited hardware resources.

In the long term, the formulated recommendations will enable aviation departments to implement high-performance internal clouds for storing technical documentation and training materials, ensuring stable personnel operation within local networks. This approach will contribute to increased operational efficiency and ensure the digital sovereignty of critical organizational structures.

INTEGRATING ADVANCED IT SOLUTIONS INTO THE TRAINING OF AVIATION SPECIALISTS: CHALLENGES AND PERSPECTIVES

*Y. Semerenko; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid digital transformation of the aerospace industry demands a fundamental shift in how aviation personnel are educated and trained. As aircraft systems become increasingly autonomous and interconnected, the role of Information Technology (IT) in the training process has transitioned from a supportive tool to a core architectural element. This report examines the intersection of latest aviation technologies and modern pedagogical approaches driven by AI, VR, and Big Data.

One of the most significant advancements in aviation training is the implementation of Digital Twin technology. Such systems provide real-time feedback, allowing specialists to visualize internal system failures that are impossible to replicate on physical hardware.

Modern IT platforms in aviation academies now utilize machine learning algorithms to analyze student performance data in real-time. These adaptive learning systems can identify specific weaknesses in a pilot's or engineer's decision-making process and automatically adjust the curriculum to address these gaps. This data-driven approach ensures that specialists meet the rigorous safety standards required by international civil aviation organizations.

The synergy between aviation engineering and information technology is redefining the professional landscape. The successful preparation of the next generation of aviation specialists depends on the seamless integration of immersive simulations, AI-driven analytics, and robust cybersecurity education. By leveraging these IT innovations, training institutions can produce highly skilled professionals capable of navigating the complexities of modern digital airspace.

ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF NETWORK INFRASTRUCTURE MANAGEMENT AUTOMATION METHODS BASED ON ANSIBLE TECHNOLOGY

*V. Fursov; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The scaling of network structures in the aviation industry, involving hundreds of switches, routers, and access points, renders manual hardware configuration inefficient and vulnerable to human error. Traditional management via Command Line Interface (CLI) for each individual device is time-consuming and complicates

maintaining configuration consistency. This research is dedicated to exploring network automation methods using the Ansible tool, which enables the implementation of the “Infrastructure as Code” (IaC) concept for centralized management of heterogeneous network equipment.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on examining Ansible's agentless architecture and developing universal playbooks to automate routine tasks, such as firmware updates, security rule changes, and configuration backups. The scientific inquiry aims to analyze the speed of deploying network changes compared to manual configuration methods. The research hypothesis suggests that implementing automated management will reduce network maintenance time by 60–70 % and ensure full configuration compliance with established security standards.

The expected results of the subsequent work include creating a virtual laboratory to test automated scenarios on network device images (e.g., Cisco or MikroTik) and assessing the reliability of command execution in multi-threaded mode. In the long term, the developed methodologies will allow airport IT services to respond instantly to incidents and deploy new network segments with minimal resource expenditure. This will provide high flexibility and manageability for the complex information system of an aviation enterprise under dynamic conditions.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN ENERGY-EFFICIENT MONITORING SYSTEM FOR SERVER ROOMS BASED ON IOT TECHNOLOGIES

Y. Semerenko; O. Voznyi;

*O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The resilience of modern server infrastructure, particularly within the context of civil aviation facilities, is directly contingent upon precise adherence to environmental temperature and humidity standards. Traditional monitoring methods often entail significant costs for cable network deployment and complex integration into existing server racks, rendering them economically inefficient for local or remote nodes. This work focuses on the justification and development of an autonomous control system based on the Internet of Things paradigm, designed to ensure continuous oversight of critical parameters without the necessity of constant wired power.

At the initial stage of research, primary attention is focused on designing a system architecture based on the ESP32 family of microcontrollers and high-precision digital sensors. The core scientific and practical challenge lies in finding a balance between data update frequency and the device's autonomous operating duration. To address this problem, the use of the MQTT protocol is proposed due to its minimal overhead traffic, alongside the implementation of software-based deep power-saving algorithms. The research hypothesis suggests that an adaptive sensor polling interval combined with the microcontroller's Deep Sleep mode will significantly extend battery life compared to standard solutions.

In the long term, the developed system is intended to provide not only statistical data collection but also real-time alerts for personnel regarding out-of-range parameters via modern communication channels, such as mobile applications or messengers. This will minimize the risks of failure for expensive aviation IT equipment and enhance the overall fire safety level of critical infrastructure facilities.

CURRENT STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF DIGITAL IMAGE PROCESSING METHODS

*V. Chumak; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
Y. Semerenko, Senior Researcher;*

*S. Bulba, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Digital image processing is an integral part of the global digital environment, as it covers a huge range of industries – from medical diagnostics and security systems to autonomous transport control and space exploration. The main task of modern engineering is not just filtering noise, but creating intelligent systems capable of interpreting the content of the frame in real time with minimal energy consumption.

The report considers modern approaches to image processing that allow automating the process of feature extraction and object classification. Special attention is paid to classical mathematical methods and the implementation of neural network architectures.

Classical tools, in particular the OpenCV library, remain the foundation for data preprocessing, as they provide high speed on low-power embedded systems. The use of deterministic algorithms for color correction, geometric transformations or threshold segmentation allows you to prepare the input signal for more complex analysis without critical delays. However, for complex identification tasks, convolutional neural networks and Vision Transformers-class architectures dominate today. For example, the YOLO family of algorithms allows you to detect dozens of objects in a video stream with a frequency of more than 60 frames per second, which is critical for robotics.

Thus, the combination of classical algorithms with modern neural networks and optimized hardware allows you to create highly efficient image processing systems.

EDUCATIONAL AND ORGANIZATIONAL BARRIERS TO TRAINING MILITARY PSYCHOLOGISTS FROM AMONG SERVICE MEMBERS

*S. Shyroka, Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The full-scale Russian-Ukrainian war has sharply increased demand for specialists in psychological support for military personnel. At the same time, many service members are pursuing qualifications as military psychologists, recognizing psychological support as crucial for unit combat effectiveness. Those with combat experience and intrinsic motivation represent a valuable resource for military psychological services.

Ukraine's higher education system allows individuals without a bachelor's degree in psychology to enroll in master's programs in Psychology, typically in part-time or distance learning formats for military personnel. However, this model presents several challenges, including insufficient theoretical background, lack of a developed psychological conceptual framework, limited participation in synchronous learning, restricted access to practical training and supervision, and organizational barriers related to command support for educational needs.

These factors create the risk of formal qualification without sufficient professional readiness to provide psychological assistance in combat conditions. To address these issues, it is necessary to introduce bridge programs for applicants

without prior psychological education, develop asynchronous modular training adapted to military service conditions, institutionalize supervision through online mentoring, and ensure regulatory support for service members' educational rights and individual learning pathways. Effective training requires adapting educational programs to military service realities by integrating combat experience with systematic psychological training to enhance long-term effectiveness of military psychological support.

RESEARCH ON THE EFFECTIVENESS OF CENTRALIZED NETWORK INFRASTRUCTURE MONITORING SYSTEMS BASED ON ZABBIX

*D. Riabokonova; O. Soloviova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The modern network infrastructure of aviation enterprises is characterized by a high degree of complexity and distribution, imposing strict requirements on the promptness of technical failure detection. The lack of centralized control over the status of active network equipment and servers leads to increased downtime for critical services and rising maintenance costs. This research is dedicated to examining the effectiveness of implementing the Zabbix monitoring system as a tool for collecting, analyzing, and visualizing network status data in real time.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on exploring Zabbix's architectural capabilities, specifically Low-Level Discovery (LLD) mechanisms and the use of proxies for monitoring remote airport facilities. The scientific inquiry is aimed at optimizing the load on the monitoring system's database and developing efficient personnel notification scenarios. The research hypothesis suggests that transitioning from reactive to proactive monitoring using Zabbix's intelligent triggers and predictive functions can prevent up to 40 % of potential equipment failures before they occur.

The expected results of the subsequent work include building a network model with integrated monitoring agents and a comparative analysis of resource consumption between different data collection methods (SNMP vs. Zabbix Agent). In the long term, the formulated recommendations will enable the creation of a unified network operations center where the visualization of critical parameters on interactive network maps will help administrators instantly localize problem sources. This will ensure high availability of the aviation enterprise's information systems and minimize the impact of the human factor on the stability of network processes.

MODERN METHODS OF ENSURING SAFETY IN CIVIL AVIATION THROUGH THE PRISM OF TECHNICAL AND LEGAL THINKING UNDER THE CONDITIONS OF WARTIME CHALLENGES

*O. Havrysh; M. Ivashchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of the Russian-Ukrainian war, the issue of safety has gained particular relevance not only in the military sphere but also in civil aviation. The training of aviation specialists requires a comprehensive approach that combines technical competence, legal awareness, and professional responsibility. In this regard, civil aviation safety is viewed as a legal and socially significant phenomenon rather than solely a technical category.

Aviation activity is a field of heightened responsibility regulated by engineering standards and legal norms. Wartime conditions intensify the requirements for discipline, as violations of procedures or a formal approach to regulations create risks with substantial legal consequences. Non-compliance with aircraft maintenance requirements constitutes a potential offense, demonstrating the inseparable connection between technology and law. Ignoring operational instructions may result in system failures and legal liability.

The modern system of ensuring civil aviation safety is based on the integration of technical control measures, safety management systems, high-quality personnel training, and clear legal regulation. Aviation safety is a professional duty of the specialist and requires a high level of legal culture and professional thinking. In conclusion, civil aviation safety is formed at the intersection of technical competence, legal culture, and responsibility, which is particularly relevant under contemporary wartime challenges.

TEACHING THE DISCIPLINE OF “MATERIAL RESISTANCE” USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

T. Byrka

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The use of modern technologies for teaching “Strength of Materials” allows for personalized learning based on the psychological type of students.

Performing practical and laboratory work with visual materials demonstrating the behavior of materials under the influence of various factors, which allows for a more detailed examination of the impact of forces on different materials and under different conditions. Students can instantly change the cross-section or material of a beam, and AI visualizes the change in the stress-strain state. In a remote format, the use of artificial intelligence allows you to predict and simulate the behavior of materials in certain conditions, make changes to the input data of the task (type of material, method of fastening, distribution of forces acting on the body), and quickly obtain the results of the experiment. The use of artificial intelligence allows us to move from dry numbers and formulas to the visualization of processes, which contributes to the understanding of the material and its deeper assimilation. In particular, artificial intelligence can describe scenarios of material destruction, help choose the shape and material of a part that meets the specified parameters, or solve this problem from the other side: what unfavorable conditions or wrong decisions led to the destruction of a part or the entire assembly.

Based on the above, the use of artificial intelligence in teaching the discipline “Strength of Materials” allows teaching the material more clearly, demonstrating the behavior of materials under various operating conditions, which helps students transform dry formulas into real-life cases.

COMPREHENSIVE APPROACH TO THE TRAINING OF MILITARY PROFESSIONALS UNDER THE CONDITIONS OF MODERN WARFARE

M. Ivashchenko; I. Ratnakar

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The full-scale Russian-Ukrainian war has significantly transformed the system of training military professionals, bringing psychological-pedagogical, legal, and social challenges to the forefront. A modern military specialist must combine

professional competence, psychological resilience, legal awareness, and social responsibility, which necessitates a comprehensive interdisciplinary approach. In the pedagogical dimension, priority is given to adapting the educational process to wartime conditions through competency-based and practice-oriented training aimed at decision-making in extreme situations, as well as the development of critical thinking and leadership skills.

Psychological training is complicated by the impact of chronic stress, combat-related trauma, and emotional burnout, which requires the development of stress resistance, emotional self-regulation, teamwork, and psychological support for military personnel.

The legal aspect of training involves the formation of legal culture, knowledge of the norms of international humanitarian law, national legislation, and the principle of the rule of law. The sociological approach emphasizes the role of the military professional as a bearer of societal values and highlights the need to support social adaptation in wartime conditions.

Thus, the integration of psychological-pedagogical, legal, and social approaches is a key prerequisite for the formation of a professionally trained, psychologically resilient, and socially responsible military specialist.

METHODS OF OPTIMIZING NETWORK SERVICE DEPLOYMENT IN HETEROGENEOUS ENVIRONMENTS USING CONTAINERIZATION TECHNOLOGIES

Y. Semerenko; V. Harenskykh

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

The modern trend toward digitizing infrastructure facilities, particularly within the aviation industry, requires the implementation of numerous network services that often operate in heterogeneous environments with diverse hardware and software components. The primary challenge of traditional deployment methods lies in the difficulty of ensuring cross-platform compatibility and the substantial overhead of computational resources required for classical virtualization. This research focuses on exploring the capabilities of containerization technologies, specifically the Docker platform, as an efficient tool for standardizing and accelerating network application startup processes across mixed infrastructures.

At the initial stage of the study, primary attention is focused on developing methodologies for optimizing container image sizes and configuring network parameters to minimize service deployment latency. The core scientific idea involves transitioning from cumbersome virtual machines to lightweight container stacks, which significantly reduces CPU and RAM utilization. The research hypothesis posits that utilizing optimized Docker containers will ensure high availability for critical services, such as passenger information systems or internal technical databases, even on hardware-constrained or legacy server nodes.

Expected results of the subsequent work involve conducting a comparative performance analysis of containerized applications versus traditional installation methods under real network load conditions. In the long term, the study aims to formulate practical recommendations for creating universal deployment templates. This approach will enhance the flexibility of aviation IT infrastructures and substantially reduce the time required for technical maintenance and software updates.

ANALYSIS AND ENHANCEMENT OF WIRELESS CORPORATE NETWORK SECURITY BASED ON THE WPA3 PROTOCOL AND SEGMENTATION MECHANISMS

*Y. Semerenko; V. Kalchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Securing wireless communication channels is a critical aspect of modern corporate network functionality, particularly in airport environments and aviation offices where sensitive information is processed. Despite its widespread adoption, the traditional WPA2 protocol exhibits several vulnerabilities to brute-force attacks and key interception. This research is dedicated to analyzing the advantages of the new WPA3 standard and exploring its effectiveness in combination with logical traffic segmentation methods to create a multi-layered defense system.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on examining the Simultaneous Authentication of Equals (SAE) mechanism, which replaces the vulnerable PSK connection in WPA3, providing resilience against offline dictionary attacks. Beyond updating authentication protocols, the scientific inquiry is directed toward developing a network segmentation scheme using Virtual Local Area Networks (VLANs). The research hypothesis suggests that integrating WPA3-Enterprise with strict access control for different user groups and devices will mitigate the risks of unauthorized access to an aviation enterprise's internal resources, even if a single terminal is compromised.

The expected results of the subsequent work include comparative testing of network resilience against typical cyber threats and assessing the impact of enhanced encryption standards on wireless channel throughput. In the long term, the study aims to formulate comprehensive recommendations for migrating corporate systems to the WPA3 protocol, considering the need to support legacy client hardware. This approach will ensure robust protection of critical infrastructure against modern attack vectors while maintaining the stability and manageability of network processes.

RESEARCH ON PERFORMANCE AND SECURITY OF VPN GATEWAYS FOR REMOTE WORK ORGANIZATION BASED ON MODERN TUNNELING PROTOCOLS

*Y. Semerenko; O. Polotov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The massive transition to hybrid and remote work formats, particularly within the administrative and engineering departments of aviation enterprises, highlights the challenge of establishing secure communication channels over public networks. The primary difficulty in implementing Virtual Private Network (VPN) technologies is ensuring a balance between robust encryption strength and traffic processing speed, as traditional protocols often impose a significant load on gateway hardware resources. This research is focused on a comparative analysis of modern tunneling solutions, such as WireGuard and OpenVPN, to determine the most effective architecture for corporate deployment.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on examining cryptographic primitives and the specifics of protocol implementation within the

operating system kernel. The scientific inquiry involves assessing the impact of authentication and encryption methods on latency and channel throughput. The research hypothesis suggests that utilizing the WireGuard protocol – due to its streamlined codebase and modern ciphers (ChaCha20, Poly1305) – will significantly enhance VPN gateway performance on standard server hardware without compromising the security level of transmitted data.

The expected results of the subsequent work include building a testbed to simulate remote personnel access to internal network resources and collecting statistical data on CPU utilization under varying numbers of simultaneous connections. In the long term, the formulated recommendations will enable IT departments to optimize secure access to technical documentation and flight plans, ensuring stable communication even under conditions of unstable internet connectivity. This approach will contribute to the overall cyber-resilience of the aviation enterprise's information system.

FUNCTIONALLY ROBUST AUTOMATIC AIRCRAFT ALTITUDE CONTROL UNDER DISTURBANCES AND FAILURES

O. Lykhodieiev¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Yu. Burchin², Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Kharkiv National University of Radio Electronics

Modern trends in the development of aviation systems are aimed at enhancing flight safety, reducing crew workload, and increasing the efficiency of automated control modes. One of the key trajectory control functions is barometric altitude stabilization, which is critically important during cruise flight, particularly in turbulent conditions and complex meteorological environments. Accurate altitude holding ensures compliance with flight level separation, optimization of fuel consumption, and improved air traffic safety.

Despite the widespread use of automatic control systems, most existing solutions are based on classical control laws and hardware redundancy. This approach results in increased system weight, cost, and structural complexity, while not always providing the required accuracy and reliability under sensor failures or external disturbances.

Therefore, the application of functional resilience principles based on information redundancy and adaptive resource reallocation is especially relevant. This makes it possible to maintain system operability without significant complication of the hardware architecture.

The aim of this study is to improve the aircraft automatic control algorithm in the barometric altitude stabilization mode through the integration of functionally resilient control methods. The paper analyzes classical altitude stabilization systems, develops a structural scheme of an improved system using data from barometric sensors, inertial systems, and navigation aids, and presents mathematical modeling that accounts for external disturbances and measurement channel failures.

The obtained results confirm the effectiveness of functionally resilient algorithms in improving the accuracy and reliability of automatic flight altitude control.

ANALYSIS AND DEVELOPMENT OF A LOCAL AREA NETWORK PROTECTION SYSTEM AGAINST NETWORK THREATS USING NEXT-GENERATION FIREWALLS

*Y. Semerenko; T. Riabokonov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The rapid evolution of cyber threats and the increasing complexity of network attack methods impose new requirements on the protection systems of aviation enterprise local area networks. Traditional firewalls operating at the packet-filtering level are no longer capable of effectively detecting threats hidden within legitimate traffic or encrypted connections. This research is dedicated to the study and implementation of Next-Generation Firewalls (NGFW), which combine deep packet inspection, intrusion detection and prevention systems (IDS/IPS), and application-level control at Layer 7 of the OSI model.

At the initial stage of the study, primary focus is placed on a comparative analysis of open-source software for building NGFW gateways, specifically the pfSense and OPNsense platforms. The scientific inquiry involves designing a protection architecture that integrates content filtering and antivirus traffic scanning directly at the network edge. The research hypothesis suggests that utilizing open-source NGFW solutions can provide a security level equivalent to commercial products while significantly reducing licensing and hardware costs for small and medium-sized units of the aviation infrastructure.

Expected results of the subsequent work include building a laboratory testbed to simulate typical network attacks and evaluate the effectiveness of their mitigation by the NGFW system. Special attention will be paid to analyzing the impact of traffic inspection modules (such as Suricata or Snort) on overall channel throughput and network latency. In the long term, the developed methodologies will enable the creation of a robust security perimeter for internal airport networks, ensuring the stable operation of critical services and protecting sensitive data from modern cyberattack vectors.

TOWARDS THE CREATION OF MODERN TEACHING MATERIALS FOR LEARNING UKRAINIAN AS A FOREIGN LANGUAGE

*O. Ivashyna
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Developing textbooks for learning Ukrainian is crucial to meet the increasing interest in the language among international students. As Ukraine strengthens its connections within the global community, adopting a systematic and well-organized approach to language instruction becomes essential for promoting clear communication and deeper cultural awareness. Carefully prepared textbooks provide a consistent and thorough framework that enables learners to understand grammar, build vocabulary, and develop language skills in an integrated way. In addition, tailored materials can address different proficiency levels, allowing students to advance steadily and confidently. By offering accessible and structured resources, such textbooks play an important role in supporting and popularizing the Ukrainian language worldwide.

Ukrainian Grammar in Use is specifically created for non-native learners and is intended to guide them throughout their language-learning process. The textbook

builds a solid lexical foundation necessary for effective communication, using various language models and engaging several language skills.

By studying the material in *Ukrainian Grammar in Use*, learners can develop communicative competence sufficient for participating in everyday situations as well as social and cultural interactions in Ukrainian. One of the distinctive strengths of the textbook is its approach to using language as a tool for learning other subjects. A notable feature is the inclusion of bilingual (Ukrainian–English) comparative tables, which introduce an innovative instructional model combining varied teaching strategies, structures, and methods. The textbook represents a modernized approach in its goals, design, content, and methodology, placing particular emphasis on the development of practical competencies.

ASPECTS OF PSYCHOLOGICAL REHABILITATION OF AVIATION PERSONNEL

M. Kontsevoy¹; M. Sukhanov¹, Ph.D.; I. Sukhanov²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Department of Rehabilitation and Rehabilitation Treatment of Military Unit A3306

Psychological rehabilitation of aviation personnel is a set of measures aimed at restoring the psychological state, reducing neuro-emotional stress and increasing the stress resistance of specialists who provide maintenance and operation of aviation equipment.

The main aspects of psychological rehabilitation:

- High level of responsibility for flight safety;
 - Constant stress due to the complexity of maintenance;
 - The influence of the human factor on the quality of work.
- Psychophysiological features of the engineering and technical staff:
- Requirements for concentration, speed of decision-making;

– High neuro-emotional stress;

Methods of psychological rehabilitation:

- Psychological counseling and support;
- Trainings on stress management and stress resistance development;
- Implementation of relaxation programs, breathing exercises, meditation.
- Monitoring of the psychophysiological state using special techniques;
- Prevention and correction of sleep disorders, anxiety, depressive states.

DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE GENERAL STRESS-DEFORMATION STATE OF THE TAIL BOOM TRANSPORT CATEGORY HELICOPTERS

M. Orlovskiy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

L. Shutska¹; V. Kostandi²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”

In the practice of world helicopter construction, single-rotor helicopters are most widely used, which are characterized by relative simplicity of design, convenient control and relatively low cost. The tail boom is the most complex part of a helicopter to manufacture. For a single-rotor configuration, it is also a critically important part of the structure, the failure of which usually leads to an aviation

accident. Ensuring the requirements for strength is an extremely responsible task, therefore it is regulated by the airworthiness standards mandatory for designers, which are an integral part of the Aviation Rules (AR). They specify the initial requirements for calculations and experimental work to ensure strength assurance, define loading conditions, and provide guidance on determining load values. In the practice of helicopter construction, the experience accumulated in aircraft construction in forming structural and power schemes of frame units is used.

One of the main tasks of modern aviation science is the creation of a rational SPS of helicopter units, which makes it possible to achieve high indicators of weight efficiency and structural resource. This scientific problem is solved by studying the stress-strain state using various methods. Numerical modeling methods, specifically the finite element method, are increasingly being used to determine the optimal parameters of aviation structures for specified operating modes.

The main design case for the tail boom is the exit from a dive. The corresponding design load cases acting on the helicopter's tail boom are determined through calculations performed in accordance with the requirements of the AR and other regulatory documents for creating a transport category rotorcraft, as well as through the analysis of test results.

INFORMATION SYSTEMS IN ENSURING THE SAFETY OF LIFE UNDER MARTIAL LAW

Y. Semerenko¹; M. Helunen¹; A. Lutsenko²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Kharkiv National University of Radio Electronics

Against the backdrop of the Russian Federation's full-scale invasion of Ukraine, active hostilities are being waged in the information space. This affects many sectors of the country's life, primarily information resources circulating in special-purpose information and communication networks that are of vital importance. The enemy's main goal is to distort, steal, and destroy information.

Under martial law, threats of a technogenic, natural, criminogenic, and terrorist nature are growing, posing a real danger to the population of the regions and the development of Ukraine as a state as a whole. In order to protect against these threats, information systems for ensuring the security of life are being created.

The report analyzes modern information systems for ensuring life safety.

Systems for the exchange, processing, and transmission of data. This is an area of special technologies for the exchange and transmission of information. The idea behind this system is that information itself has no value without proper application. In this regard, it is important not only to collect and process information, but also to transmit it in a timely manner between civil and law enforcement agencies for the purpose of making operational decisions.

System for identifying areas that pose a threat to life. One of the most important systems, it has become more relevant since 2014 and the start of the full-scale invasion, as active combat operations cause a large number of dangers that threaten life.

Based on the research conducted, recommendations have been developed for building a security system for information systems based on artificial intelligence technology.

ORGANIZATIONAL MEASURES OF PSYCHOLOGICAL REHABILITATION OF AVIATION PERSONNEL

D. Sapozhnikov¹; M. Sukhanov¹, Ph.D.; I. Sukhanov²

¹Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University;

²Department of Rehabilitation and Rehabilitation Treatment of Military Unit A3306

Organizational measures of psychological rehabilitation of aviation personnel are aimed at maintaining mental health, restoring working capacity and preventing stress disorders. They include condition monitoring, individual consultations, trainings, rehabilitation after flights and organization of recreation, which is provided by a comprehensive support system.

The main organizational measures of psychological rehabilitation of aviation personnel can be distinguished:

- Implementation of rules for medical and psychological support of flights and maintenance;
- Regular medical examinations, taking into account the psycho-emotional state;
- Advanced training taking into account the psychological aspects of professional activity;

Therefore, the psychological rehabilitation of aviation engineering and technical staff is critical for maintaining flight safety and maintenance efficiency. It includes a set of measures that help reduce stress, restore psycho-emotional balance and increase the professional performance of specialists.

TARGETED SECURITY PROFILES AS A TOOL FOR EFFECTIVE SYSTEM AUTHORIZATION

*D. Holubnychy¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
A. Sirenko²*

¹Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

In modern information and communication systems, ensuring secure and controlled access to resources is a critical challenge. With the increasing complexity of IT infrastructures, users often require differentiated access rights depending on their roles, responsibilities, and tasks. Targeted security profiles provide a structured approach to managing these access privileges, enabling organizations to implement fine-grained authorization mechanisms. By configuring profiles according to security requirements, organizations can reduce the risk of unauthorized access, data breaches, and insider threats.

This topic is especially relevant in the context of regulatory compliance, cybersecurity standards, and the growing demand for adaptive and scalable security solutions. Understanding how to design, implement, and manage targeted security profiles is essential for strengthening overall system security and operational efficiency.

Owners and administrators of information systems often face several challenges when implementing targeted security profiles for effective authorization:

1. Defining user roles and access levels accurately.
2. Balancing access granularity to avoid over-permissioning.
3. Scaling profiles for growing numbers of users and systems.
4. Ensuring compliance with security policies and regulations.

Targeted security profiles are essential for effective system authorization, but their implementation requires careful planning, continuous monitoring, and periodic adjustment. Properly configured profiles help minimize unauthorized access, enhance security, and support organizational compliance and operational efficiency.

COMPARATIVE ESTIMATION OF VARIOUS TURBULENCE MODELS FOR EJECTOR NOZZLE CFD

*R. Tsukanov; S. Yepifanov, Doctor of Technical Sciences, Professor
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*

Problem of thrust increase of small turbojets for Unmanned Aerial Vehicles (UAV) is especially urgent because the same engine can be selected for application in many objects having considerably different use conditions. When not great thrust increase is required, redesigning of engine structure with changes of primary unit sizes can be economically unreasonable. One of technically simple and effective methods of thrust increase without changes of primary unit structure is ejector nozzle application.

Computational Fluid Dynamics (CFD) models are being used for ejector nozzle analysis since the second half of 1970-th. Thus, the goal of this work is stated as comparison of various turbulence models and justification of choice those, which are the most adequate for gas flow simulation within an ejector nozzle.

Digital data from NASA experiments has been selected for accuracy comparison of different turbulence models within this study. Accuracy of the calculation model has been validated by means of comparison of calculation integral parameters of ejector nozzle with experimental ones.

Calculations with fourteen turbulence models were performed. On the base of multicriterion expert analysis of the obtained results, the best three models have been discovered: Spalart-Allmaras (Strain/Vorticity-Based), $k-\omega$ (BSL), $k-\omega$ (SST) and also seven models having acceptable level, which give mistakes of ejector nozzle thrust and primary flow rate calculation less than 1 %, and mistake of average flow speed at the ejector nozzle exit calculation, which does not exceed 5 %. Thus, just these models can be recommended for the following researches of thrust augmenting ejector nozzles.

INCREASING THE EFFICIENCY OF ATTACK UAVS BY USING FLAT WINGS IN THEIR CONFIGURATION

*L. Kapitanova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
V. Riabkov, Doctor of Technical Sciences, Professor
National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*

A method is proposed for increasing the combat effectiveness of attack unmanned aerial vehicles (UAVs) by using non-flat wing panels in their configuration.

A constant requirement for attack UAVs is the greatest possible increase in warhead weight and its delivery in localized engagements and on a large howitzer into the enemy zone.

One solution to this problem is the use of an airfoil, which helps maintain the UAV at cruising altitude and stabilize it in flight mode.

It should be emphasized that both configurations utilize so-called “flat” wings with identical local chord angles and identical profile shapes at half-span. This is both an advantage and a disadvantage. Such wings are significantly simpler to manufacture, but their aerodynamic efficiency is significantly reduced compared to the proposed “non-flat wing”.

A non-flat wing is generally considered to be a trapezoidal wing in platform with unequal local chord angles at half-span and a common wing panel angle based on the criterion of minimizing induced drag. This results in a reduction in overall drag, and therefore in reduced fuel consumption, which in turn increases the UAV’s operational range.

The proposed changes to the non-flat wing can be used in the aerodynamic, structural and strength configuration of the UAV with an aerodynamic wing, the placement of the cruise engine, the arrangement of the mechanization and control surfaces, as well as the required mass of fuel on board.

Replacing the flat wing of such a UAV with a twisted wing, according to the proposed model, shows that the warhead weight can be increased by 11 kg, and its delivery range increases by 343 km.

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF STRATOSPHERIC RECONNAISSANCE UNMANNED AERIAL VEHICLES (HAPS)

*O. Babushkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”*

Stratospheric UAVs (High Altitude Pseudo-Satellites – HAPS) are autonomous aerial vehicles operating at altitudes of 18 to 25 km (lower stratosphere). This zone is above commercial airlines and major weather phenomena, making it an ideal platform for long-term observation.

The development of stratospheric reconnaissance aircraft is based on three “whales” of modern technologies:

- Solar energy and batteries: The use of ultra-light flexible solar panels with an efficiency of over 30 % and lithium-sulfur batteries with high capacity allows the devices to stay in the air for months.

- Composite materials: The use of carbon fiber allows the creation of gigantic structures (wingspans of over 30 meters) with a weight comparable to the weight of a bicycle.

- Artificial Intelligence (AI): Autonomous navigation of air currents and intelligent processing of intelligence data directly on board to reduce the load on communication channels.

Despite the great potential, there are significant barriers:

The market for payload technologies for stratospheric UAVs is expected to grow from \$3 billion in 2025 to over \$9.4 billion by 2035. The main areas of focus will be:

- Hybrid systems: Creating networks where HAPS act as repeaters for lower-level tactical drones.

- Multi-sensor platforms: Simultaneously deploying radar (SAR), thermal imaging, and signal intelligence (SIGINT) systems.

Stratospheric reconnaissance UAVs are the future of strategic monitoring of borders, sea lanes, and war zones. They will not completely replace satellites, but they will become an indispensable tool for obtaining high-precision data in real time, providing an “information advantage” without huge space costs.

INTELLIGENT DECISION-MAKING SYSTEM FOR ADAPTIVE ALGORITHM SELECTION IN SAFE ROUTE PLANNING THROUGH UXO-CONTAMINATED TERRITORIES

I. Kliushnikov¹, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher; O. Oliinyk²

¹National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute";

²Ivan Kozhedub National Air Force University

Unexploded ordnance are a global problem and a constant threat due to the fact that they can remain active and unpredictable and potentially explosive even decades after the end of hostilities in liberated territories.

The purpose of this work is to develop methods and means of augmented reality and digital twins for intelligent decision-making system for adaptive algorithm selection in safe route planning through UXO-contaminated territories.

There is already a solution using augmented reality for searching and manual demining in the form of a smartphone application. The existing solution is called UXO-AID and is an application for mobile devices, which is able to determine exactly what type of UXO the operator sees based on the existing database of objects through the smartphone camera.

After the analysis, it was established that a solution is needed that can provide intelligent algorithm selection using multiple optimization criteria. The application will process data that will be provided by the UXO locating system in the form of a database from a drone or using Computer Vision. The input data are as follows: the location of the object (GPS coordinates and depth level, if available); predicted type of UXO. The system processes this information and provides automatic selection of the most appropriate pathfinding strategy based on multi-criteria evaluation. The application also has an augmented reality mode, where the user can see information about UXO in real time through the camera.

Thus, such a system can provide information about UXO quickly and conveniently.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ СЕГМЕНТОВАНИМИ ІНВЕРТОРАМИ РУХОМИХ АЕРОДРОМНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ТЯГОЮ

А.В. Божко; А.О. Нечаус, к.т.н., доц.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Рухомі аеродромні засоби забезпечення з електричною тягою (Electric Ground Support Equipment – eGSE) включають різного роду тягачі, навантажувачі, підйомники, тощо. При цьому, як і для електромобілів, до них висувають вимоги підвищення питомих потужнісних характеристик. Одним з напрямів задоволення цих вимог є використання для живлення тягового електричного двигуна потужних інверторів на основі сучасних напівпровідникових комутаційних пристроїв. Одна з проблем, яка виникає при збільшенні робочих струмів трифазного інвертора полягає у значному збільшенні ємності, а, відповідно, і об'єму та маси конденсатора шини постійного струму тягової акумуляторної батареї. Варіант використання, так званого, сегментованого інвертора. Такий інвертор являє собою, фактично, два трифазних інвертора, які паралельно живлять розщеплені обмотки тягового

електричного двигуна. Застосування такої системи, згідно наявних відомостей, дозволяє практично на 50 % зменшити пульсації струму на шині постійного струму, тобто знизити вимоги до конденсатора. При цьому, оскільки у складі інвертора вдвічі збільшується кількість керованих вентилів, з'являються можливості більш гнучкого керування інвертором, що дозволяє досягти ще кращих результатів.

Представлені результати комп'ютерного моделювання струмів у системі сегментованого інвертора з використанням методу DREAM, розробленого Oak Ridge National Laboratory (США), та методу формування кусково-синусоїдних струмів на основі просторово-векторної модуляції, розробленого Institute of Electrical, Electronics and Computer Engineering, University of the Punjab та School of Science and Engineering, Lahore University of Management Sciences (Пакистан). Аналіз результатів дозволяє сформулювати задачі подальшого вдосконалення систем керування сегментованих інверторів.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ КОМБІНОВАНОЇ ДРОВОВОЇ/БЕЗДРОВОВОЇ ЗАРЯДНОЇ СТАНЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Є.В. Красильников; А.О. Нечаус, к.т.н., доц.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Бездротовий заряд електромобілів є наступним етапом удосконалення інфраструктури транспортних засобів з електричною тягою. Відомі тестові проекти, які проходять у Швеції та Норвегії, щодо впровадження систем бездротового заряду електричних таксі. Тому можна припустити, що у найближчому майбутньому з'являться пропозиції впровадження систем бездротового заряду для електричних рухомих аеродромних засобів забезпечення. Припускаючи, що автопарк eGSE буде складатися з транспортних засобів з різними способами заряду – дрововим та бездротовим, можна запропонувати комбіновану зарядну станцію, яка б забезпечувала обидва способи. При цьому, приймаючи до уваги, що зарядні станції дровового та бездротового заряду мають деякі аналогічні компоненти, слід розглянути можливість їх суміщення у складі комбінованої зарядної станції. Такими компонентами є перетворювач з боку мережі живлення та високочастотний ізолюючий трансформатор.

Наведено результати комп'ютерного моделювання комбінованої зарядної станції з варіантом побудови високочастотного ізолюючого трансформатора, від якого енергія передається у ланку дровового заряду та ланку бездротового заряду. Основна увага дослідження зосереджена на визначенні взаємного впливу зарядних ланок одна на одну при зміні споживаної потужності у межах 50% проектної потужності зарядної станції, а також визначенні впливу змін споживаної потужності на параметри електричної енергії як на вході, так і на виходах зарядної станції. Результати моделювання свідчать про можливість суміщеного використання окремих елементів зарядної станції, що дозволяє забезпечити її високі масо-габаритні та вартісні показники, а також визначити напрямки подальшого вдосконалення електричних та магнітних компонентів станції.

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ ЛЕКСИКИ

В. Святченко, к.філол.н.

*Слов'янський фаховий коледж ДНП "Державний університет
"Київський авіаційний інститут"*

Фахова мова використовується у певній фахово-обмеженій галузі для забезпечення професійної комунікації між фахівцями певної сфери. Під фаховою мовою авіації розуміємо сукупність всіх мовних засобів, які використовуються в комунікативній сфері авіації з метою досягнення розуміння між усіма фахівцями даної галузі. Особливе місце у фаховій мові будь-якої галузі займають фахові терміни, які позначають спеціальні поняття та полегшують спілкування між фахівцями певної галузі.

Під авіаційними термінами розуміємо слова або словосполучення на позначення спеціальних понять з області аеронавтики. Це терміни на позначення всіх видів літальних апаратів, їх конструкцій, двигунів та систем забезпечення, озброєння, видів наземного забезпечення, обслуговуючого персоналу у повітрі та на землі, понять аеродинаміки, метеорології, радіолокації, аерофотозйомки, парашутно-десантної служби та авіаційної медицини.

Виділяють функції авіаційних термінів з урахуванням того, що терміни – це слова спеціальні, обмежені своїм особливим призначенням, слова, які прагнуть бути однозначними як точне вираз понять та називання предметів.

Основними функціями авіаційних термінів є: номінативна, сигніфікативна, комунікативна, навчальна, прагматична, евристична, когнітивна.

Отже, основою авіаційної лексики є терміни, які слугують для досягнення розуміння між всіма фахівцями авіаційної галузі, задовольняючи їх професійні потреби спілкування. Терміни повинні відповідати ряду вимог, виконувати певні функції, мати певну характеристику.

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL RISKS OF NANOMATERIALS IN MILITARY APPLICATIONS

R.G. Akhundov¹; İ. İslamov¹; E.G. Hashimov^{1,2}

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Nanomaterials are increasingly integrated into advanced military systems, including smart and stealth coatings, high energy propellants and explosives, lightweight protection, and nanosensors for chemical, biological, radiological, and nuclear situational awareness. While these applications improve operational capability, they also introduce distinct environmental hazards because the same properties that enable superior performance, high surface area, reactivity, and mobility can amplify persistence, transport, and toxicity once released. This article synthesizes an environmental risk assessment perspective tailored to military use cases, with the goal of clarifying how nanomaterials enter environmental media, how they transform under stressors typical of ranges and conflict zones, and how conventional chemical assessment frameworks should be adapted for credible decision making.

The study applies a structured narrative review and comparative analysis of regulatory and methodological sources. It organizes evidence along a life cycle sequence, production, deployment, live fire training, maintenance, accidental

release, combat damage, and end of life disposal. For each stage, plausible exposure pathways are mapped for air, soil, and water, and key transformation processes are summarized, including aggregation, sedimentation, dissolution, oxidation, and interaction with natural organic matter. To illustrate defense relevant behavior, case evidence is discussed for nano Al₂O₃ and CuO particles and for carbon nanotubes, emphasizing scenarios with short duration high intensity emissions, co contamination with energetic residues, and extreme thermal and mechanical loads.

The analysis indicates that environmental exposure in military contexts is typically multi pathway and episodic, producing spatially heterogeneous contamination hotspots near firing points, vehicle routes, and maintenance areas, while also enabling longer range atmospheric transport during large scale events. Transformation processes can either attenuate or aggravate risk. For example, aggregation may reduce mobility yet increase sediment accumulation, whereas partial dissolution can enhance bioavailability of metal ions. Data limitations remain substantial, especially for chronic effects, bioaccumulation, and mixture toxicity under realistic field conditions, which constrains quantitative risk characterization and the derivation of defensible thresholds.

To address these gaps, the article proposes an operationally oriented assessment workflow that complements standard environmental risk assessment with nanomaterial specific descriptors, particle size distribution, surface functionalization, zeta potential, and reactivity metrics, and that explicitly incorporates scenario-based release profiles and field adapted monitoring. The review further evaluates the applicability of major governance instruments and guidance sets, including OECD approaches, REACH provisions, ISO measurement practices, and TSCA related mechanisms, highlighting where dual use materials and classified contexts complicate transparency, traceability, and compliance.

Practically, the proposed mitigation set includes containment and dust control at ranges, wastewater pretreatment for maintenance shops, controlled recovery and disposal of nano enabled components, and biomonitoring near receptor habitats. The article also presents a conceptual logic model linking sources and uses to release pathways, environmental media, transformations, exposure scenarios, effect assessment, and risk characterization, to support transparent planning decisions.

The paper concludes that balancing military innovation with ecological security requires life cycle management, targeted monitoring at ranges and logistics hubs, harmonized test protocols, and international cooperation to improve data comparability. These measures can reduce uncertainty, support proportionate mitigation, and strengthen environmental stewardship without undermining legitimate defense readiness.

References

1. Talibov A.M. et al. Environmental safety of nanomaterials application // Problems of informatization. 2024, Vol. 3. - p. 55-56.
2. Garayev M.F. Ecological monitoring: the role of new technologies in the conservation of natural resources // Grundlagen der modernen wissenschaftlichen Forschung. Zürich, 4. Juli, 2025. p. 103-111. <https://doi.org/10.36074/logos-04.07.2025.017>.
3. Rzayev, S. Environmental risk assessment of nanomaterials in military applications. Grail of Science, 2025, (55), 412–425. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.08.2025.051>
4. Garayev, M. Balancing innovation and sustainability: the ecological risks of modern technologies. Collection of Scientific Papers “SCIENTIA”, (September 12, 2025; Sydney, Australia), 52–59.

5. İsmayil, İsmayil et al. Nanotechnology for next-generation UAVS: applications, challenges, and prospects. Collection of Scientific Papers "SCIENTIA", (September 26, 2025; Kraków, Poland), 56–64.

6. Zulfugarov B.S., et al. Multi-criteria evaluation of energy accumulation technologies for defense energy security. In Current directions of development of information and communication technologies and control tools. 2025, Volume 1: sections 1,5. p. 137.

7. Garayev M.F. et al. Application of composite materials for military purposes. In Problems of informatization. 2024. Vol. 3. - p. 25.

8. Radovanović M. et al. Application of the new hybrid model LMAW-G-EDAS multi-criteria decision-making when choosing an assault rifle for the needs of the army //Journal of decision analytics and intelligent computing. – 2024. – T. 4. – № 1. – С. 16-31.

9. Garayev M. F. et al. Analysis of shear stress resistance and abrasive wear in surface layers of materials for military use. – 2025.

ІНТЕГРАЦІЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ В АВІАЦІЇ ТА ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ

С.П. Козлюк

*Національна академія державної прикордонної служби України
ім. Б. Хмельницького*

Анотація. У тезі окреслено вплив сучасних технологічних змін на розвиток авіаційної галузі та обґрунтовано необхідність модернізації підготовки авіаційних фахівців відповідно до вимог цифровізації та автоматизації.

Сучасна авіація розвивається в умовах інтенсивного впровадження цифрових систем керування, автоматизованих навігаційних комплексів і засобів інтелектуальної діагностики. Це змінює характер професійної діяльності: пілот і інженер дедалі більше виконують функції аналізу, контролю та прийняття рішень на основі даних. Відповідно зростає значення цифрової грамотності, аналітичного мислення та здатності ефективно взаємодіяти з автоматизованими системами.

Використання прогностичної аналітики у технічному обслуговуванні дозволяє своєчасно виявляти потенційні несправності та підвищувати безпеку експлуатації. Паралельно розширюється застосування безпілотних авіаційних систем, що вимагає міждисциплінарної підготовки, поєднання знань з аеродинаміки, програмування та інформаційної безпеки.

Технологічні зміни зумовлюють трансформацію освітнього процесу. Поряд із традиційними формами навчання застосовуються симуляційні комплекси та тренажери, що забезпечують формування практичних навичок у безпечному середовищі.

Отже, оновлення системи підготовки авіаційних фахівців має здійснюватися комплексно, поєднуючи фундаментальну технічну базу з розвитком цифрових компетентностей, міждисциплінарністю та практико-орієнтованим навчанням. Саме такий підхід забезпечить відповідність сучасним вимогам авіаційної галузі.

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ АВІАЦІЙНИХ ФАХІВЦІВ В УМОВАХ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНИХ АВІАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

І.А. Луковський

Національна академія державної прикордонної служби України

ім. Б. Хмельницького

Стрімкий розвиток авіаційної галузі, пов'язаний із впровадженням цифрових систем управління польотами, безпілотних авіаційних комплексів, технологій штучного інтелекту, автоматизованого технічного обслуговування та аналізу великих масивів даних, зумовлює необхідність переосмислення змісту й організації професійної підготовки авіаційних фахівців. Сучасний авіаційний спеціаліст повинен володіти не лише ґрунтовними інженерними знаннями та навичками експлуатації авіаційної техніки, а й цифровими компетентностями, системним мисленням, здатністю працювати в умовах високотехнологічного середовища та швидкої зміни нормативних і технічних вимог.

Модернізація професійної підготовки передбачає оновлення освітніх програм із урахуванням актуальних тенденцій розвитку авіації. Насамперед ідеться про інтеграцію міждисциплінарних модулів, що поєднують авіаційну інженерію, інформаційні технології, кібербезпеку та управління ризиками. Важливо забезпечити баланс між теоретичною складовою та практичною підготовкою, розширюючи використання симуляційних технологій, тренажерних комплексів, віртуальних лабораторій і цифрових двійників авіаційних систем. Такі інструменти дозволяють моделювати складні виробничі ситуації, формувати навички прийняття рішень в умовах обмеженого часу та підвищеної відповідальності.

Отже, модернізація професійної підготовки авіаційних фахівців є комплексним процесом, що охоплює зміст освіти, технології навчання та організаційні механізми взаємодії з галуззю. Її реалізація забезпечить підготовку конкурентоспроможних спеціалістів, здатних ефективно працювати в умовах технологічної трансформації авіації та гарантувати високий рівень безпеки й надійності авіаційної діяльності.

СЕКЦІЯ 24

ПЕРЕПІДГОТОВКА ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ АВІАЦІЙНОГО ПЕРСОНАЛУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ В УМОВАХ ВІДСІЧІ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ

Керівники секції: полковник Катаєв О.В.;
підполковник Соломко С.І.
Секретар секції: майор Політов І.А.

AWARENESS OF AVIATION SPECIALISTS IN FLIGHT SAFETY ISSUES AS AN INTEGRAL COMPONENT OF AIRSPACE PROTECTION

O. Kataiev¹; S. Solomko²; O. Sapov²; A. Panchuk²

¹Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine;

²Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

Modern aviation personnel, whose combat capabilities are continuously increasing, are subject to exceptionally high requirements. The foremost among them is maintaining an appropriate level of combat readiness while ensuring unconditional flight safety, particularly during the execution of combat and special missions.

Ensuring flight safety is a multifaceted and complex issue that requires coordinated efforts of command staff, aircraft designers, pilots, engineering and technical personnel, and all specialists involved in organizing and supporting flight operations. Each of them plays a decisive role, as insufficient training or a lack of proper coordination within even a single component inevitably complicates mission execution and reduces operational effectiveness, which in turn negatively affects the state's ability to protect its airspace.

The human factor remains one of the key causes of aviation incidents. Therefore, it is critically important to provide proper training for aviation specialists at all levels in order to ensure timely risk identification, error prevention, and mitigation of their consequences. Strict compliance with regulatory documents governing the functioning of the aviation system, as well as systematic efforts to prevent the influence of new hazards and the recurrence of known dangerous factors, are mandatory conditions for maintaining a high level of flight safety.

High-quality organization of a flight safety training system is an essential prerequisite for maintaining the required level of aviation combat readiness, enhancing its effectiveness in performing assigned missions, and strengthening the state's defense capability.

IMPLEMENTATION OF A MULTI-LEVEL TRAINING SYSTEM FOR TACTICAL-LEVEL ARMY AVIATION PERSONNEL IN REPELLING THE ARMED AGGRESSION OF THE RUSSIAN FEDERATION

*V. Landishevskiy; I. Batenko; M. Havrysh
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Since September 1, 2023, a system of professional higher education has been operating in Ukraine, introducing new approaches to the training and retraining of qualified specialists for the Armed Forces of Ukraine.

Professional Military Education is a new component of military education that operates through the implementation of a multi-level system of L-courses (L1-L5) for the officer corps of the Armed Forces of Ukraine and other components of the security and defense sector. Its goal is to provide tactical, operational, and strategic levels of military education.

The tactical level of military education is divided into four courses: L-1A, L-1B, L-1C, and L-2.

Completion of the L-1A courses enables participants to obtain a tactical level of military education and is focused on NATO (TLP) standards, aimed at preparing officers to perform duties in entry-level positions.

During the L-1B course, students undergo training on a specific helicopter type, gaining in-depth knowledge of its specialized systems and the tactics of its combat application. Practical training is conducted on light single-engine multi-purpose H125 (A350) helicopters.

The L-courses are designed and structured to develop motivated and responsible officer-leaders with a strong desire for continuous learning and career growth. Graduates will be well-versed in planning procedures and military decision-making processes according to NATO standards. Each of them must acquire a wide range of knowledge: from fundamental to professionally specialized, necessary for further service in combat aviation.

IMPROVING THE QUALITY OF PRACTICAL TRAINING OF AVIATION PERSONNEL AS A TOOL FOR ENSURING A HIGH LEVEL OF FLIGHT SAFETY

*V. Bogaichuk; O. Yevtushenko; Ye. Stepanov; A. Mistyukovich
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The high intensity of use the aviation component of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine during the repulsion of Russia's armed aggression against Ukraine places high demands on the training of aviation personnel, in particular on the practical skills of flight control group (FCG). The level of flight safety directly depends on the level of acquired professional practical skills of aviation personnel and readiness for action in complex and non-standard situations.

According to the results of the analysis of the organization and implementation of the practical component of the training process for flight control personnel, it was proven that the imperfection of existing training facilities negatively affects its effectiveness.

The capabilities of the training equipment of the training command and control point (TCCP), which is used for practical training, cannot fully provide training for flight control personnel, in particular, practicing the actions of the flight controller in special situations (incidents) on the ground and in the airspace of the visual control zone, etc.

The study was conducted to find ways to improve the efficiency and quality of training of FCG personnel. It is proposed to improve the training environment of the TCCP by expanding the capabilities of the special X-PLANE software, modeling real flight situations, and practicing actions in non-standard and emergency conditions during practical (simulation) training.

Improving practical training helps minimize the impact of the human factor, increase the aviation personnel level of professional readiness and ensure a high level of flight safety.

THE LINK-16 INFORMATION EXCHANGE SYSTEM IN THE ORGANIZATION OF COMBAT OPERATIONS BY F-16 AIRCRAFT

*A. Neveskyi; S. Yaslyk; V. Kolomiets
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The effectiveness of modern air combat operations is largely determined by the level of situational awareness and the speed of tactical information exchange among the participants of an operation. A key element in the implementation of network-centric command and control is the Link-16 tactical data exchange system integrated into the F-16 fighter aircraft avionics suite.

The operation of Link-16 on the aircraft is ensured by the Multifunctional Information Distribution System (MIDS), which provides secure data exchange in the 960–1215 MHz frequency band using time division multiple access (TDMA), rapid frequency hopping (77,000 hops per second), and cryptographic protection. This ensures resistance to electronic countermeasures and reliable information transmission under combat conditions.

The Link-16 system provides the transmission of standardized J-series messages containing data on air and ground tracks, the status of friendly forces, and also supports command and control (C2) functions. Owing to this capability, the F-16 aircraft can operate as an element of a unified information network or perform limited command functions at the unit level.

Information received via Link-16 is presented to the pilot on an electronic tactical map in the Horizontal Situation Display (HSD) format, which provides an integrated representation of navigational and tactical situations. The display of routes, threats, and track symbology significantly enhances situational awareness and reduces decision-making time.

Thus the employment of the Link-16 system as part of the F-16 aircraft avionics suite ensures the formation of a unified information space and increases the effectiveness of combat mission execution.

WAYS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE FLIGHT CONTROL GROUP PERSONNEL TRAINING PROCESS

*A. Neveskyi; O. Krivtsova; S. Yaslyk; V. Kolomiets
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the current conditions of repelling armed aggression, Ukraine has found itself in a difficult economic situation, which makes it urgent to develop measures aimed at increasing the effectiveness of training personnel of the Armed Forces of Ukraine, in particular, flight control group (FCG) personnel. Since the success and combat mission's quality and ensuring the established flight safety level largely depend on their professional actions.

The report considers modern approaches to calculating the training systems (TS) FCG adequacy. It is proposed that TS FCG be evaluated by a complex adequacy indicator, which takes into account the values of external stimuli that are modeled during the synthesis of the TS training environment, the degrees of correlation between them and their "weight". The availability of comprehensive adequacy assessments creates the basis for an objective classification of TS used in the training FCG personnel process. The availability of FCG TS certified under this

classification will allow changing the current regulatory framework in the direction of making reasoned decisions on taking into account the training FCG personnel results at the airfield in practical aircraft flight control. Such consideration will have a positive impact on the economic component of training and will ensure an increase in flight safety indicators by reducing the number of practical flights aimed at maintaining, restoring or increasing the acquired capabilities level to aircraft flight control by FCG personnel.

DIFFERENTIAL IMPACT BEFORE STARTING ADVANCED QUALIFICATION COURSES

*B. Karpenko; V. Martynyuk; O. Protsenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Due to the beginning of the Russian Federation's aggressive aggression against Ukraine, there is a shortage of qualified IAS fencing officers. This was stated by the current officials: restructuring of aviation units, transfer of ITS to subdivisions of other military formations, transfer of the most prepared ITS to reassignment to foreign technology selection, interest in the military service for the greatest preparation of graduates of initial mortgages. As a result, students who arrive for advanced qualification courses show a low level of basic knowledge when passing the entrance control.

The plan-programs for advanced qualifications are divided on the basis of the basic knowledge and skills of hearing people in the areas of their activities. Taking into account, it is recommended to carry out a differential approach before addressing the individual characteristics, level of training and professional needs of the hearing aid.

With a differential approach, before starting treatment, the level of professional competence of the skin hearing specialist is ensured for the results of input control, which allows for a more thorough treatment of problematic nutrition. The evaluation of the results is based on the particular progress of the hearing community. This approach promotes effectiveness and motivation.

USE OF DISTANCE LEARNING IN IMPROVING THE QUALIFICATIONS OF FLIGHT CREWS IN THE CONTEXT OF REPELLING ARMED AGGRESSION BY THE RUSSIAN FEDERATION

*R. Leshchenko; A. Pomerantsev; V. Yurchenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

In the context of repelling armed aggression by the Russian Federation, Ukraine's aviation is undergoing constant transformation. The rapid integration of Western aircraft types and the modernization of existing equipment require the rapid retraining of flight crews. Distance learning has become the foundation of this process, allowing training to be combined with combat missions.

Distance retraining in wartime has the following characteristics:

- asynchronous nature;
- specialized;
- software closed networks.

The introduction of DL during combat operations has a number of strategic advantages:

1. Personnel safety.
2. Mobility and accessibility.
3. Individual pace.
4. Scalability.

Despite its advantages, distance learning also has significant limitations. These include:

- lack of practical skills;
- technical dependence;
- lack of ‘live’ interaction;
- high demands on self-discipline.

Based on the above, the following conclusion can be drawn:

Remote retraining during combat operations allows for the creation of a solid theoretical foundation, which flight crews can then put into practice during intensive practical training. To minimize the disadvantages, it is recommended to use a blended model, where theory is taught online and practical skills are practiced on real equipment.

EVALUATION OF IMPLEMENTED SAFETY ACTIONS IMPACT

*A. Voronin; M. Gudkov, PhD.; V. Pomohaibo; V. Durov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Maintaining the required level of flight safety (FS) is a critical task of the safety management system. This requires systematic analysis of aviation accidents and incidents (A&I) to evaluate the impact of implemented safety actions (SA) with the aim of preventing future accidents. The analyzed traditional approach to evaluation of the implemented SAs impact is based on manual processing of A&I reports and introduces heuristic elements into the resulting assessment.

An approach to automated analysis and evaluation of the implemented SAs impact is proposed, based on processing of textual A&I report parts. The approach is based on the integration of vectorization of SAs textual descriptions, their semantic and temporal analysis, which allows avoiding conflation of textual interpretations with formalized FS indicators. Semantic clustering of SAs texts using vector representations and a graph-based grouping approach is applied to identify conceptually homogeneous management actions. Clustering quality was assessed using an intra-cluster coherence metric. The effectiveness of actions is determined through temporal comparison of A&I occurrence frequency of corresponding types in periods before the first and after the last implementation of the actions. An approach to determining the confidence level of the obtained impacts is also proposed, which accounts for the volume of data used and the semantic consistency of the formed clusters.

IMPROVEMENT OF THE PRACTICAL COMPONENT OF TRAINING OF FUTURE AVIATION SPECIALISTS

*I. Laptiev; S. Zhuravlov
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

The modern development of the aviation industry places increased demands on the level of professional training of specialists in the operation of aviation equipment. The training of technical personnel should provide not only solid

theoretical knowledge, but also developed practical competencies. That is why improving the practical component of training is one of the key areas of modernization of the educational process.

Practical training of future aviation specialists should be based on the principles of approaching real processes of aviation units.

The main areas of its improvement are:

- expanding the scope of practice on the basis of aviation units, aviation centers and aircraft repair plants.

- using modern training complexes and simulators that allow modeling emergency situations during aircraft maintenance.

- introducing a dual form of training that combines training in an institution with systematic work in aviation units.

- modeling production cases based on real incidents and technical failures.

- the formation of a culture of safety and responsibility, which is a key element of professional activity in aviation.

It is advisable to pay special attention to the development of practical skills in working with modern on-board systems, digital diagnostic tools and automated technical control systems.

Improving the practical component of training will contribute to: increasing the level of professional competence of graduates; reducing the adaptation period of young specialists in aviation units, reducing the risk of errors related to the human factor, and increasing the overall level of flight safety.

METHODS FOR OPTIMIZATION OF INPUT PARAMETERS OF SPECIAL MATHEMATICAL SOFTWARE (SMS) OF AIRCRAFT FLIGHT DYNAMICS FOR SIMULATING THE PERFORMANCE OF COMBAT APPLICATION TASKS

R. Kozyrev; O. Fedorov; I. Politov

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University

For retraining of flight crews, the Faculty has developed a SMS for calculating the parameters of the trajectory of the MiG-29 aircraft. In order to improve the skills of flight crews in choosing a maneuver, engineering and navigation calculations for performing a combat mission, it is advisable to direct work on using SMS to selecting the optimal values of flight parameters to achieve certain criteria. Namely, the specified parameters of the combat load, speed mode, flight altitude, type of maneuver during combat use, etc., will directly affect the range and flight time, the probability of entering the air defense zone, and the probability of hitting the target. The program code will optimize the variable input parameters to achieve the desired combat mission criteria, taking into account technical and tactical constraints. Forecasting tasks have more than one goal, which in most cases contradict each other. Such problems should be considered as multi-objective. In general, there are two main approaches to multi-objective optimization: classical methods and evolutionary methods. Classical methods combine conflicting objectives into a single function. The difficulty with these methods is that the parameters are set by the optimizer, and the exact choice of weights can be difficult for most design problems. We propose to use the 2nd method of evolutionary (genetic) algorithms. The concept of genetic algorithms is inspired by evolutionary theory, where the mechanism of reproduction and natural selection are used to achieve the most suitable solution.

**OVERCOMING THE SKILLS CRISIS: REVERSE INTERNSHIPS
AND HYBRID SIMULATION COMPLEXES AS A RESPONSE
TO THE DEFICIT OF MILITARY EXPERIENCE
IN THE TEACHING ENGINEERING -TECHNICAL STAFF**

*O. Kanishchev; I. Dementiev; D. Krivtsov; S. Lukianenko
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Problem. The engineering component of military aviation education lags behind the pace of technological advancement. Some instructors lack practical experience working with modern digital onboard systems, condition-based maintenance systems, and Western weaponry. This results in a gap between training and the real needs of combat units.

Crisis manifestations:

- “paper engineering” without access to modern systems;
- relevant knowledge is concentrated in combat engineers, not in the educational environment;
- new models are received without adapted documentation;
- insufficient level of technical English.

Proposed solutions:

Mandatory internships for teachers in combat aviation brigades and repair units; introduction of reverse mentoring under the guidance of combat engineers; creation of VR/AR laboratories with digital twins of modern and captured equipment; a course in “Technical English for Aviation Engineers”; motivational incentives for developing methodologies and translating documentation.

Conclusion. Overcoming the competence crisis is only possible through systematic ‘combat enrichment’ of the teaching staff and digitization of the educational base. Only practice-oriented engineering education will provide a real advantage in war.

**DIGITAL TRANSFORMATION AND STRATEGIC GOVERNANCE
IN HIGHER MILITARY EDUCATION**

A.H. Hasanov¹; H.H. Hasanov¹; E.G. Hashimov^{1,2}

¹National Defense University, Baku, Azerbaijan;

²Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

This paper examines strategic reforms and digital innovation in the management of higher military education institutions under the conditions of rapidly evolving warfare, accelerated digitalization, and complex geopolitical threats. The study conceptualizes military academies and defense universities as adaptive organizations whose administrative models must balance operational readiness requirements with academic quality, institutional accountability, and resource constraints. The paper aims to systematize the main reform trajectories shaping contemporary military educational management, clarify the mechanisms through which digital transformation improves institutional effectiveness, and identify governance and human resource priorities that enable sustainable excellence.

The analysis highlights several interrelated developments. First, the integration of digital learning platforms and hybrid education models is reshaping instructional delivery and administrative control. Digital environments enhance continuity of training, facilitate scalable access to learning resources, and enable standardized

assessment and monitoring. Hybrid models combine face-to-face instruction with remote components, improving scheduling flexibility and supporting rapid curriculum updates in response to emerging operational requirements. Second, competency-based officer education is gaining prominence as a management and curriculum framework. By aligning learning outcomes with mission-relevant competencies, institutions can better link training inputs to measurable outputs, strengthen practical readiness, and reduce gaps between educational content and operational realities.

Third, the growing emphasis on agility, interdisciplinarity, and innovation is redefining leadership roles and institutional planning processes. Performance-oriented management instruments, data-driven decision-making, and the use of Artificial Intelligence in planning, modeling, and simulation are increasingly applied to improve responsiveness and optimize resource allocation. AI-supported analytics can enhance course planning, forecast training demands, and support scenario-based learning, while simulation technologies help synchronize curricula with real-time challenges in domains such as cyber defense, geospatial intelligence, and autonomous systems. Fourth, reforms in governance structures, quality assurance mechanisms, and alignment with international accreditation standards are strengthening institutional competitiveness and accountability. These changes promote transparent evaluation procedures, consistent educational standards, and more effective external benchmarking, particularly when coupled with partnerships involving civilian universities and international military education networks.

The paper also underscores the central role of strategic human resource management in sustaining reform outcomes. Continuous professional development for academic staff and military instructors, structured talent management, and incentives for pedagogical innovation are identified as critical conditions for maintaining instructional quality amid technological change. Overall, the findings indicate that successful management of higher military education institutions depends on visionary leadership, technological adaptability, and strategic alignment with national defense priorities. The observed trends reflect a paradigm shift from rigid, tradition-bound educational administration to flexible, innovation-driven, and evidence-based management capable of supporting modern force development and long-term institutional resilience.

References

1. Agayev, S.O., et al. Modern pedagogical technologies in military education. Textbook. Part I. Baku: Military Publishing House. 2016.
2. Piriye, H.K., et al. Some issues of pedagogical staff training for special-purpose higher education institutions. Military knowledge, 2014, (4), 3-9.
3. Piriye, H.K., et al. Provide interactive training methods. Methodological materials. Baku: Military publishing house. 2016. 32 p.
4. İbrahimov R.İ. Artificial intelligence applications in higher education: prospects for personalized learning and governance efficiency. Grail of science. 2025, N55. pp.601-614. DOI 10.36074/grail-of-science.22.08.2025.071.
5. Piriye, H.K. et al. Modelling of the battle operations. Monografiya, Herbi Nashriat", Baku, 2017. 254 p.
6. Hasanov A.H. Exploring the impact of online learning platforms on higher education. In Current directions of development of information and communication technologies and control tools. T.4: section 6. 2025. C. 39.
7. Hasanov A.H. Online education platforms in higher education: opportunities, challenges, and future directions. In XXI international scientific conference of

Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozhedub “New technologies – for the protection of air space”: abstracts of reports, April 09-10, 2025. – Kh.: KhNUPS named after I. Kozheduba, 2025. - p. 752-753

8. Piriye H.K. et al. Some aspects of optimization of control / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 14-th International Scientific and Technical Conference. Volume 1. 2024. - pp.18-19.

9. Piriye H.K. et al. Model for assessing the functionality of systems in the structure of the armed forces. In Problems of informatization. Proceedings of 11-th International Scientific and Technical Conference. 2023, Vol. 3. p. 14-15.

10. Tahirov R.K., Hashimov E.G. Professional military education and the development of strategic human capital / Current directions of development of information and communication technologies and control tools. Proceedings of 15-th International Scientific and Technical Conference . 2025, Volume 4: sections 6. - p. 35

THE DEVELOPMENT OF LEADERSHIP SKILLS IN THE INSTRUCTION OF CONTEMPORARY MILITARY ART

*H.H. Ahmadov, Dr., Prof.
Azerbaijan Institute of Education, Baku, Azerbaijan*

In the contemporary military education system, the development of leadership skills represents one of the fundamental components of effective military management at both the strategic and operational levels. Leadership competencies encompass decision-making, team management, communication, motivation, and psychological resilience. The formation of these skills is not limited to the transmission of theoretical knowledge within the educational process but is also fostered through practical exercises, simulation games, and real operational scenarios.

Modern military training develops leadership skills at both individual and group levels. At the individual level, cadets strengthen analytical thinking, situational assessment, and risk management abilities. At the group level, leadership, cooperation, distribution of responsibility, and interpersonal interaction come to the forefront. Research demonstrates that leadership development is more effective when supported not only by theoretical instruction but also by simulation games, practical exercises, and role-based training [3].

Furthermore, leadership competencies include strategic and ethical approaches in commanders' decision-making processes. Leaders must operate effectively not only within operational environments but also across social, psychological, and ethical dimensions, maintaining high levels of team motivation and readiness. In the modern era, the integration of technologies into the training process supports leadership development. Virtual reality and simulation programs enable cadets to model real operational conditions, thereby enhancing decision-making, team management, and strategic planning skills [2].

Leadership is not merely an indicator of the tactical and operational capabilities of military personnel but also a core element of their strategic, ethical, and psychological preparedness. The objective of military training is the systematic development of leadership skills and their application across all areas of military professionalism. Thus, leadership is regarded as a principal factor of success at both the individual and organizational levels within the military education process.

Unlike historical combat practices, modern military art encompasses not only the acquisition of tactical and technical knowledge but also leadership, strategic thinking, critical analysis, and ethical decision-making skills. In this context, military training is not confined to imparting knowledge of weapons and operations; it also requires the development of competencies corresponding to the complex and uncertain nature of contemporary combat operations. The requirements of modern military art are shaped along several key dimensions: strategic and tactical preparation, team management, psychological resilience, ethical decision-making, and technological proficiency.

Various pedagogical methods and approaches are employed to effectively develop leadership skills in modern military education. These methods serve not only to transmit theoretical knowledge but also to foster practical competencies. Unlike traditional classroom approaches, contemporary training methods aim to enhance cadets' decision-making, strategic thinking, and team management skills in real-life situations.

Simulation and role-playing exercises are widely applied in leadership training. These methods allow cadets to replicate real operational environments and develop agile decision-making abilities under stress while simultaneously strengthening teamwork and communication skills [1].

Team management and group dynamics play a significant role in the formation of leadership skills. Effective management strengthens coordination, trust, and cooperation within the team and ensures flexible decision-making in operational conditions.

Strategic and tactical thinking constitutes an integral component of leadership. Modern training develops these abilities through practical exercises and simulations alongside theoretical knowledge, transforming military personnel into adaptive and effective decision-makers.

Assessment and monitoring methods ensure the effectiveness of leadership development. Tests, practical tasks, reflective analysis, and 360-degree evaluation enable systematic tracking of cadets' knowledge and skills and support the preparation of individualized development plans.

In conclusion, the development of leadership skills in modern military education is a key factor determining the operational, strategic, and organizational effectiveness of military personnel. The integration of training methods, simulations, practical exercises, and digital technologies enhances leaders' tactical, strategic, psychological, and ethical competencies. This approach improves both individual leadership proficiency and unit operational readiness, thereby ensuring success in contemporary combat environments. Therefore, the systematic development of leadership skills is an integral and indispensable element of modern military education.

References

1. Freina L., Ott M. A literature review on immersive virtual reality in education // *eLearning & Software for Education*. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 133–141.
2. Məmmədzadə M. Ali hərbi təhsil müəssisələrində tədris prosesində idarəetmə bacarıqlarının formalaşdırılması // *Azərbaycan Respublikasının Təhsil İnstitutunun Elmi əsərləri*. – 2023. – Cild 92, № 2. – S. 105–110. – URL: https://journals.arti.edu.az/uploads/f_202503130714291040259526.pdf (müraciət tarixi: 05.01.2025).
4. Məmmədzadə M. Hərbi təhsildə innovativ yanaşma: süni intellektlə integrasiya olunmuş təlim texnologiyaları. Süni İntellekt Texnologiyaları və Aerokosmik Problemlər: III Beynəlxalq Elmi-Praktik konfransın materialları. Bakı-Azərbaycan, 8–9 iyul 2025. – S. 87–91.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ВПЛИВУ ПРЕВЕНТИВНИХ ЗАХОДІВ З БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

В.М. Єлін¹; А.В. Воронін²; В.В. Помогайбо²

¹Національний університет оборони України;

²Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Методи машинного навчання та обробки природної мови все частіше застосовуються в багатьох сферах науки і техніки. Проведені різними авторами дослідження доводять ефективність їх застосування в сфері безпеки польотів.

Розроблене спеціальне математичне програмне забезпечення (СМПЗ) автоматизованої інформаційно-довідкової системи безпеки польотів (АІДС) використовує комплекс методів машинного навчання та обробки природної мови для аналізу результативності превентивно-профілактичних заходів з безпеки польотів Державної авіації України.

Так, для перетворення текстових описів інцидентів у числовий вигляд використовується модель Sentence-BERT, розмірністю R^{384} . Модель базується на архітектурі трансформера з 12 шарами, механізмом self-attention і mean pooling. Альтернативний метод (при помилках першого) TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) із використанням SVD (Singular Value Decomposition).

Для візуалізації багатовимірних даних на 2D-площині ми застосували каскадний підхід з пріоритетом алгоритмів UMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection).

АІДС підтримує три алгоритми кластеризації: HDBSCAN (Hierarchical Density-Based Spatial Clustering), DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), K-Means.

Для якісної оцінки результативності вжитих превентивно-профілактичних заходів застосовується темпоральний аналіз – порівняння частоти інцидентів до першого застосування заходу та після його останнього застосування.

CASE METHODOLOGY FOR TRAINING MASTERS IN INNOVATIVE ACTIVITIES IN THE FIELD OF ARMAMENTS AND MILITARY TECHNOLOGY

*O. Cherkes; M. Olshansky
Korolov Zhytomyr Military Institute*

The formation of specialized (professional) competencies of masters is ensured through the processing of applied tasks (cases) that cover all stages of the life cycle of an innovative product – from the justification of the idea to the introduction of samples of armaments and military equipment (AME) into operation.

The application of the case method allows solving situational tasks that take into account the specifics of various military-accounting specialties. Conditions are created under which students perform the role of experts, conduct case analysis to identify key indicators of innovativeness and the prospects of developments (projects). In particular, they analyze the compliance of the innovative AME sample with prospective tactical and technical requirements, technical

completeness, the correspondence of the declared characteristics to the actual level, and the manufacturer's ability to bring the innovative product to serial production; operational advantage, the ability to significantly change the tactics of combat use or provide an advantage over the opponent's analogs; integration compatibility of the new product with the existing armament system, economic feasibility. To ensure the objectivity of expert conclusions, methods of comparative analysis with the enemy's TTPs, decomposition, and modeling of situations (how operational advantage is provided) are used. At the stage of defending the results of the case analysis – the method of argumentation and discussion.

Thus, the application of the case method in the training of masters in innovative activities in the field of armaments and military equipment (AME) is an effective tool for forming professional competencies. This method allows students to process real management situations, analyze the life cycle of innovative products, and make informed decisions under conditions of information uncertainty and limited access to data.

PROJECT-BASED LEARNING IN EDUCATION

*V. Pochuieva, Candidate of Pedagogic Sciences, Associate Professor
Kharkiv National University of Internal Affairs*

Project-based learning is a student-centered form of learning that involves students spending sustained periods of study time exploring and attempting to solve real-life problems.

Projects usually involve a number of features:

- the study and use of authentic English language materials;
- an emphasis on student group-centered experience and de-emphasis of teacher-directed work;
- the encouragement of student responsibility for planning, carrying out, and presenting the task;
- the use of a range of research skills;
- activity outside the classroom in the students' own time.

As practice shows, project work incorporates such main elements of communicative approach as motivation, relevance and educational values. Positive motivation is the key to successful language learning, and project work is particularly useful as a means of generating this. As to relevance, that is, how the learners relate to the language, we can state that project work helps to make the language more relevant to learners' actual needs and encourages the use of various communicative skills.

As to educational values, that is, how the language curriculum relates to the general educational development of learners, practice indicates that project work is very much in tune with contemporary educational aims. Project-based learning has been promoted within ELT for a number of reasons. Learners' use of language as they discuss information and ideas is determined by genuine communicative needs. Most modern school curricula require all subjects to encourage initiative, independence, imagination, co-operation, and the development of useful research skills. So, project work is considered a practical methodology that puts into practice the fundamental principles of a communicative approach to language teaching.

ГАРМОНІЗАЦІЯ ВИМОГ ЩОДО ПІДГОТОВКИ ЗОВНІШНІХ ПІЛОТІВ (ОПЕРАТОРІВ) БЕЗПІЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМ

М.М. Геращенко; Ю.Ю. Бондаренко, к.т.н., проф.;

О.О. Саутін; Д.В. Тичков, Ph.D.

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки*

В умовах збройної агресії росії окремої уваги заслуговують питання належної підготовки зовнішніх пілотів (операторів) безпілотних авіаційних систем (БпАС). З метою узгодження класифікацій БпЛА БпАК України та БпАС НАТО, а також створення передумов щодо взаємного визнання кваліфікації пілотів/операторів безпілотних повітряних суден в 2024 в Україні було запроваджено ВСТ 700.004:2024(01) “Підготовка. Мінімальні вимоги до зовнішніх пілотів (операторів) безпілотних авіаційних систем (STANAG 4670 Ed. 5 / ATP-3.3.8.1 Ed. B “Minimum Training Requirements for Unmanned Aircraft Systems (UAS) Operators and Pilots”, MOD)”. Нове видання STANAG 4670, що набуло чинності з вересня 2025 року кардинально змінило підхід НАТО до підготовки пілотів/операторів БпАС.

У доповіді розглянуто запропонований НАТО підхід, що передбачає перехід від застосування чотирьох базових кваліфікаційних рівнів, які були сформовані на підставі знань про масо-габаритні характеристики БпАС, до трирівневого підходу, який спирається не лише на атрибути розміру і ваги БпАС, а враховує ще такі характеристики, як: можливості та характеристики цільової (корисної) навантаги БпАС, характеристики типових завдань БпАС, вимоги до використання повітряного простору тощо. Врахування згаданих вимог до підготовки зовнішніх пілотів (операторів) БпАС та перегляд військового стандарту ВСТ 700.004:2024(01) має важливе значення для забезпечення належного національного рівня підготовки зовнішніх пілотів (операторів) БпАС та їх готовності до виконання польотів у міжнародному повітряному просторі і участі у спільних операціях НАТО.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

A		B	
Abbasov R.	143	Artiunov S.	616
.....	144	.....	617
.....	150	.....	618
Abramov D.	158	Atamanskyi D.	339
Adamenko A.	615	Atamas R.	251
Afanasiev V.	89	Atlasiuk M.	203
.....	91	Avilov A.	572
Afanasiev Y.	426	.....	614
Ahafonov Y.	613	.....	616
Ahlgren A.E.	334	.....	617
Ahmad F.	619	Avramchuk O.	675
Ahmadov H.H.	958	B	
Akhundov R.	246	Babayev S.M.	623
.....	544	Babchenko N.	911
.....	946	.....	913
Aktyanov V.	600	Babenko D.	280
Aleinik O.	757	Babenko O.	15
Alekperova S.N.	798	.....	447
Aleksandrov O.	48	Babenko S.	320
.....	54	Babenko V.	159
Aleksandrov S.	61	Babii R.	98
Aleksandrova P.	57	Babushkin O.	943
Aleksandrova V.	911	Babych A.	199
.....	912	.....	200
.....	913	.....	201
.....	914	.....	202
Aliferenko A.	224	.....	203
Aliyev N.A.	798	Babych A.	811
Alonkyn M.	384	Babych O.	232
Ananin O.	756	.....	233
Andrieiev S.	245	.....	514
Andriushchenko A.	542	.....	751
Andriychuk Y.	283	Baiba A.	200
Andrus A.	230	Bairak R.	241
Antipov D.	147	Baistov Y.	359
.....	165	Baizan V.	441
Antonenko H.	893	.....	442
Araslanov M.	344	.....	461
.....	354	.....	462
.....	358	Bakin N.	712
.....	360	Balabukha O.	498
Artemiev V.	239	Balakireva S.	434
Artiunov S.	191	Balychev S.	275
.....	372	.....	276
.....	614	Bandurka A.	746
		Baranik O.	572
		Baranovsky O.	161
		Barchuk S.	919
		Barhatov O.	681
		Barkhatov O.	355
		Barkhudaryan M.	659
		Barsukov O.	205
		Basova D.	742
		Batenko I.	950
		Baturynskyi M.	49
		.....	50
		Beilis L.	14
		Bekirov A.	874
		Belevshchuk Y.	349
		Belous M.	439
		Benkovska N.	870
		Berdnikov Y.	245
		Berdochnik D.	17
		.....	132
		Berdochnyk A.	916
		Berdochnyk D.	612
		.....	916
		Berdochnyk V.	916
		Berezhnyi A.	13
		.....	275
		Berezina S.	539
		Berezytskyi D.	237
		Berlizova M.	206
		Berlov G.	157
		.....	161
		Bespalko O.	59
		.....	216
		.....	611
		.....	612
		.....	619
		.....	823
		Bezdielnyi V.	84
		Bezhetskyi K.	92
		Bezpalyy V.	95
		.....	98
		.....	100
		Bezverkhyy S.	357
		Bezvuliak A.	362
		Bidun A.	296
		.....	311
		.....	314
		Biekurov A.	914

Biekirov A.	915	Borozenets I.	431	Buzenovskiy V.	108
Bielan D.	925	.....	433	Byrka T.	934
Bielimov V.	439	Borries O.	333	C	
.....	516	.....	334	Chaun Y.	96
Bielous M.	516	Borsuk Y.	217	.....	99
Bielov S.	601	.....	218	Chebakova O.	523
.....	602	Bortsova M.	539	Chechelnytskyi M.	444
Bielykh D.	666	Borysenko K.	812	.....	465
Bierlov H.	172	.....	882	Chechui O.	398
Biesova O.	657	Borysenko M.	17	.....	401
Biesova A.	667	.....	436	Chekanov A.	493
.....	670	.....	465	Chekunov V.	439
Bihuniak V.	312	.....	540	Chekunova O.	399
Biletska V.	893	.....	565	Chemerys V.	521
Bilichenko I.	401	.....	613	Cherednichenko O.	579
.....	422	Borysenko O.	341	Cherednikov O.	888
Bilichenko O.	424	Boryshchuk O.	195	Cherkashyn S.	493
Bilozorov O.	198	Borysov V.	297	Cherkes O.	483
Biriukov B.	917	Bovkun R.	210	.....	960
Bizin Ya.	713	Bovt V.	752	Chernenko V.	370
Blashchuk S.	394	Boyko I.	308	Cherneva G.	421
.....	396	Bragin V.	301	Cherniavskiy O.	546
Bobrivnyk D.	221	Bratus O.	129	Cherniavskiy P.	321
Bobrytska H.	895	.....	130	Chernovol N.	892
Bogaichuk V.	951	Brechka M.	505	.....	893
Bohun N.	201	Brovdi H.	73	.....	894
Bohushev I.	603	.....	95	Chernykh O.	56
Boichenko O.	604	Bryk T.	850	.....	430
Boiko I.	286	Bryksin O.	43	Chernyshova T.	790
Boiko M.	205	Brytov M.	597	Chernyak D.	448
.....	229	Budur I.	794	Chervonna O.	766
Boiko O.	706	Budzinska O.	484	Chezlov D.	217
Boiko S.	794	Buhai R.	209	.....	514
Boiko V.	110	Buharenko E.	204	Chilei N.	169
Boklag I.	705	Buhas M.	786	Chopenko A.	926
Boliubash O.	503	Bulatov M.	148	.....	927
Bologov A.	494	Bulba S.	932	.....	928
Bolshakova I.	437	Buniak B.	306	Chopenko Y.	435
Bombela O.	796	Bunyak Y.	309	Chorny V.	224
Bondar B.	538	Burchin Yu.	937	Chub O.	463
Bondar P.	577	Burkovskiy S.	50	Chudnovskiy O.	918
Bondarenko D.	146	Burlachenko I.	363	Chumak S.	512
Bondarenko S.	311	Burtsev V.	290	Chumak V.	932
Bondarenko A.	791	.....	292	Chygryn R.	142
Borisenko S.	235	Busylko O.	577	D	
Borodavka V.	618	.....	578	Danilenko V.	713
Borovenskiy Y.	619	.....	582	Datsenko A.	243
Borovy V.	347	Buzenovska Kh.	108	Datsenko S.	206

Datsinko I.	347	Donchak D.	379	Dziuba I.	461
.....	377	Dondyuk V.	706	.....	462
Datsiuk V.	399	.....	708	.....	469
Degtyarenko S.	229	Donoshenko S.	708	Dziuba O.	452
Deineko T.	102	.....	721	.....	464
.....	135	Dontsov S.	280	.....	469
.....	739	Dorosh A.	860	Dzyubchuk R.	634
.....	741	Doroshko D.	815	Dzoban O.	807
Demenko A.	794	Doska I.	319	E	
Demenko M.	283	Doska O.	319	Eidelshtein H.	199
Dementiev I.	956	Dovhaliuk D.	284	.....	241
Dementiuk H.	499	Dragan K.	736	Eliseev E.	86
.....	504	Drahunov A.	103	.....	109
Demianenko A.	225	Drannyk P.	289	F	
Demidov B.	17	Drevenchuk R.	220	Fedko V.	339
.....	436	Dribnytsia S.	495	Fedo T.	495
.....	465	.....	516	Fedorchak V.	87
.....	538	Drob N.	863	Fedorchak V.	388
.....	565	Drol O.	161	.....	409
Denysenko S.	375	.....	543	.....	410
Denysov D.	719	Drozd K.	430	.....	413
Derevianko A.	142	.....	443	.....	414
.....	145	Drozdov S.	130	.....	415
Derevianko O.	299	Dubnyuk A.	86	Fedorov A.	363
Dergousov M.	504	Dudko M.	132	Fedorov O.	955
Diakiv O.	69	Dudko O.	301	Fedoryshyn Y.	217
Diatlova I.	790	Dudush A.	299	.....	218
Didenko I.	84	Dukhnyak Kh.	233	Fedyuk S.	112
Digtyar M.	228	Dukhopelnykov S.	672	Feldi S.	516
.....	229	Dulichenko R.	924	Filimonov D.	917
Dihtiar M.	233	Dumanska K.	438	Fisun M.	281
Dmytriiev A.	132	Durov V.	954	.....	287
.....	134	Durovych S.	581	Fokina A.	743
Dobrovolskyi Yu.	604	.....	583	Fomuk N.	140
Dobryi Y.	744	Dyachenko D.	43	.....	141
Dobryi E.	759	Dyadchenko P.	99	Frunt R.	925
Dodukh O.	363	Dysyuk M.	231	Fursenko O.	892
Dodurych O.	456	Dzeverin I.	503	.....	893
.....	462	Dzeverin T.	503	.....	894
Dolhyy Yu.	892	Dzhebzeniak P.	452	Fursov V.	930
Dolinsky M.	564	Dzhus R.	138	G	
Dolinskyi M.	581	Dzhus V.	294	Galuzinskyi A.	511
Dolya A.	228	.....	295	Gapon I.	576
.....	229	.....	318	Garaeva O.	514
Dolyna M.	279	.....	661	Garbuz S.	816
.....	288	Dzigora O.	344	Gariachiy M.	394
Dolyniuk V.	103	.....	345	Gavrylova V.	660
Domsky V.	96	.....	663	Girna I.	857

Givak S.....	792	Hasanov A.....	248	Holubnychyi D.....	941
Golets N.....	156	.....	471	Holubtsov S.....	12
Golota A.....	794	.....	956	Holyshev M.....	225
Golub Y.....	315	.....	717	.....	222
Goncharov V.....	714	Hasanov H.....	21	Holysheva N.....	222
Goorin O.....	665	.....	471	.....	225
Gorai D.....	925	.....	956	Homaniuk S.....	822
Gorodnov V.....	277	Hasanov K.....	919	Homut S.....	312
Grabenko D.....	48	Hashimov E.....	246	Honcharenko I.....	442
Grib D.....	358	.....	248	Hoptsii S.....	228
Gromyko D.....	795	.....	723	Hoptsii T.....	207
Gromyko O.....	78	.....	517	Horbachevskyi S.....	372
Gryb D.....	14	.....	623	Horbenko S.....	134
Grygorova I.....	851	.....	946	Horbov I.....	882
Grytsyshyn V.....	71	.....	956	Hordiienko A.....	449
.....	80	Havryliuk Ye.....	354	Hordiienko R.....	312
Gubsky N.....	217	Havrysh M.....	950	.....	313
Gudkov M.....	452	Havrysh O.....	933	.....	316
.....	453	Havryshkevych Y....	101	Hordiienko O.....	174
.....	954	Haziiev O.....	542	Horielyshev S.....	378
Guliyev R.S.....	416	Helunenko M.....	940	Horobchenko A.....	293
.....	418	Heorhiiev Y.....	217	Horobets A.....	99
.....	683	.....	218	Hots A.....	101
Gurin O.....	92	.....	219	Hrabovetskyi A.....	222
.....	361	.....	220	Hrachov O.....	198
Gutchenko A.....	19	.....	222	.....	308
Gutchenko O.....	19	Herasimova M.....	133	Hrechka O.....	309
H		.....	135	Hrianko D.....	100
Hadzikovskiy K.....	152	.....	136	.....	102
Haibadulov B.....	306	.....	406	Hrichaniuk O.....	572
.....	307	.....	407	.....	614
Haichev A.....	75	.....	795	.....	616
.....	107	Herasymov Ye.....	510	.....	617
Haldobin O.....	423	Hladchuk V.....	911	Hridin V.....	598
.....	725	Hladyshev M.....	455	Hromyko O.....	88
Halepa O.....	241	.....	461	Hrydyn V.....	597
Halkin Yu.....	510	.....	462	Hrynychak R.....	331
Halysh V.....	206	Hliebova V.....	465	.....	332
Halytskyi O.....	294	Hloba O.....	63	Hryshko A.....	820
Hanzha D.....	718	Hlushchenko I.....	389	Hrytsaienko S.....	340
Hapych M.....	213	Hnatenko O.....	202	.....	346
.....	215	Holeychuk L.....	421	.....	359
Haraeva O.....	456	Holik O.....	336	Hrytsenko P.....	72
Harenskykh V.....	935	Holovatiuk O.....	737	Hrytsiuk A.....	212
Harmash N.....	463	Holovko B.....	204	Hryzo A.....	346
.....	464	Holovko H.....	306	Hubarieva O.....	291
Harmash S.....	237	.....	307	Hubchuk Ye.....	662
Harnets P.....	813	Holubko Y.....	157	Hubych N.....	153

Huk O.	818	Ivashchenko M.	934	Kandirin M.	345
Hula R.	787	Ivashchenko S.	453	.....	663
.....	788	Ivashchuk A.	244	Kanishchev O.	956
Hulevych M.	66	Ivashchuk B.	203	Kapashyn M.	614
Hurieiev I.	353	Ivashchuk L.	244	.....	616
Huriev D.	278	Ivashyna O.	938	.....	617
Hurieva O.	758	J		.....	618
Hurin A.	361	Jahangirov V.A.	623	Kapitanova L.	942
.....	619	Jian Yu 56		Kapliar V.	336
.....	665	.....	470	Kapranov V.	55
Husar V.	709	Jiang He 56		Kapytsia V.	142
Huseynov A.G.	416	.....	469	.....	145
.....	418	K		Karachov O.	88
.....	683	Kachailo R.	597	Karamushka N.	434
.....	685	Kachan M.	19	Karateev S.	228
Huzchenko S.	541	Kachurovskiy G.	502	Karatieiev S.	231
Hyshko H.	542	Kadubenko S.	492	Karlov D.	57
.....	545	.....	495	Karlov D.	388
I		Kaduk S.	407	.....	389
Iasechko M.	493	.....	809	.....	390
.....	494	Kalachova V.	15	.....	599
Ignatushko S.	369	.....	447	Karlov V.	654
Igumentsev S.	563	Kalchenko V.	936	.....	667
Ihnatenko E.	170	Kalenchuk I.	224	.....	668
.....	171	Kalimulin T.	363	.....	670
Ilenko Y.	133	Kalinichenko O.	737	Karmannyi Ye.	356
.....	135	Kalinichenko R.	715	.....	361
Illenko E.	133	.....	716	.....	611
Illenko Y.	135	Kalinovskyi D.	429	.....	614
Indutnyi K.	154	Kalkamanov S.	71	Karpash O.	736
Indyk S.	420	.....	72	.....	746
Isaieva A.	432	.....	73	.....	749
Isaieva T.	449	.....	74	Karpenko B.	953
Isau M.	371	.....	75	Karpenko O.	658
Ishchenko E.	822	.....	79	.....	659
İslamov İ.	946	Kalmutsky S.	211	.....	662
Iurchenko M.	888	.....	223	Karpov S.	61
Ivanets H.	497	Kalniy S.	664	Kartashov O.	673
.....	501	.....	665	Kartashov V.	667
Ivanets M.	521	.....	672	Kasatkin M.	82
Ivanov V.	782	Kalyta O.	311	.....	90
Ivanuchenko V.	155	Kamaltynov G.	341	Kashayev I.	568
Ivanychko I.	223	.....	342	.....	569
Ivanyuk V.	340	.....	343	.....	570
.....	352	.....	379	Kashchyshyn O.	85
Ivashchenko K.	736	Kamchatniy M.	293	.....	354
Ivashchenko M.	922	Kamyshinsky O.	924	Kashkanov A.	566
.....	933	Kandirin M.	344	Kashko V.	77

Kashko V.	114	Kichey D.	374	Kolesnyk O.	232
Kasian N.	242	Kiiko A.	658	Kolisnik M.	75
Kataiev O.	950	.....	659	Kolmohorov O.	545
Katunin A.	191	.....	662	.....	543
.....	520	Kirichenko B.	133	Kolmykov M.	82
Kaviuk V.	566	.....	135	Kolodiaznyi O.	76
Kazakov Y.	198	Kirichenko V.	574	Kolodii O.	191
.....	240	.....	714	Kolodka I.	366
Kazakova O.	349	.....	715	Kolomiets V.	952
Kazan P.	725	Kishiev H.T.	418	Kolomiets Yu.	62
Kazimirov O.	78	.....	683	Kolomiitsev O.	58
Kazmirov I.	193	.....	685	.....	59
.....	384	Kitov V.	505	.....	191
Kedrovskiy Y.	572	.....	506	.....	467
Khabosha S.	712	Kivshar I.	807	.....	506
.....	719	Kivshar O.	197	.....	516
.....	925	Klaban I.	466	.....	520
Khakhula V.	725	Klievtsov S.	315	.....	521
Kharcenko A.	215	Klimchenko V.	343	.....	522
Kharchenko D.	504	.....	344	.....	523
Kharchenko N.	213	.....	354	Kolomiitsev O.	332
Khavrun D.	315	.....	358	.....	601
Kheilyk V.	492	.....	360	.....	611
Khizhniuk O.	233	Klimishen O.	209	.....	612
.....	234	.....	210	.....	615
Khizhnyak I.	338	Klimov D.	403	.....	619
Khizhnyuk O.	683	Klimov V.	401	Kolomiitsev V.	58
Khlopiachy V.	208	Klipalka S.	210	Kolomiets O.	288
.....	209	Kliushnikov I.	82	Koltsov V.	294
Khlopyachiy V.	208	.....	83	Komar S.	143
Khmelevska O.	437	.....	84	.....	163
.....	810	.....	944	Komarivskiy D.	436
.....	813	Klivets S.	286	.....	565
Khmelevskiy S.	437	.....	522	Komarov E.	394
Khokhlov D.	377	Klochko N.	773	Komarov M.	195
Kholodniak M.	602	Kmetiuk D.	814	Komarov V.	58
Khoroz A.	404	Kobyliatskyi A.	760	.....	398
Khreptak A.	797	Kobzev A.	598	Komin D.	451
Khrol L.	501	Kobzev V.	284	Kondra O.	853
Khudarkovsky K.	439	.....	285	Kondrashov I.	673
.....	440	Koenig E.	669	Koniev A.	499
Khudaverdova A.	812	Kokodii M.	672	.....	509
Khudov H.	197	Kolbasin M.	929	Kononova N.	912
.....	332	Kolesnik O.	351	Kononova O.	372
.....	334	Kolesnik Y.	152	Konoshi O.	761
.....	335	Kolesnikova A.	405	Konstantinov A.	132
.....	563	Kolesnyk O.	212	.....	134
Khyzhniak A.	237	.....	213	Konstantinov B.	412

Konstantinov R.	392	Kotsiuruba A.	177	Krasnorutskyi A.	194
Konstantinova O.	464	Koval A.	879	.....	195
Kontsevov M.	939	Koval I.	287	Krasnoshapka I.	348
Koplik O.	16	.....	288	.....	350
Kopylov O.	654	Koval K.	402	Krasnozhon A.	364
.....	663	Koval O.	741	.....	365
Korchma P.	751	.....	742	Krasnozhon D.	744
Korepanov V.	198	.....	748	.....	745
Kornieiev K.	319	.....	751	Kravchenko O.	513
Kornienko A.	198	Kovalchuk A.	348	Kravchenko O.	789
Kornienko L.	657	.....	350	Kravchuk O.	569
.....	669	.....	657	.....	570
Korobetskyi O.	70	Kovalchuk I.	291	Kravchuk O.	881
.....	93	Kovalchuk M.	580	Kravchuk Y.	96
.....	105	Kovalenko O.	109	Kravchyk R.	282
Korobko S.	711	.....	86	.....	306
Korobkov Y.	293	Kovalchuk Z.	660	.....	308
.....	310	Kovalenko S.	501	Kravets V.	566
Korol R.	603	Kovalenko Y.	303	Kravtsov O.	513
Korol V.	213	Kovalenko I.	740	Krepko Ye.	172
Koroliuk N.	440	.....	746	.....	199
.....	441	Kovalevska N.	337	Kriuchkov D.	300
.....	442	Kovalevskyi S.	367	Krivtsov D.	956
.....	468	Kovtoniuk I.	130	Krivtsova O.	952
Korolkov K.	297	Kovtunov A.	284	Krotiuk V.	807
Korolova O.	725	.....	285	Kruk B.	90
Korolyuk N.	51	.....	286	.....	291
Korotka M.	758	.....	340	Krupskyi D.	238
Korotkov M.	454	Kovzalo I.	434	Kruts A.	145
Korotyn S.	177	Kozak V.	73	Kruts O.	80
Korshenko O.	229	.....	74	.....	172
Korsunov S.	506	.....	94	Kryhin O.	501
Korzhov A.	656	.....	96	Krykhtin Yu.	744
Koshel A.	559	.....	98	.....	747
Koshkin M.	457	.....	107	Krykun V.	346
.....	459	Kozhushko M.	794	Kryuchkov D.	295
Kostandi V.	939	Kozlov D.	602	Kryuchkov V.	415
Kostenko I.	393	Kozlova A.	234	Kryva T.	234
.....	396	Kozyr V.	307	Kryvchun V.	286
Kostenko P.	384	Kozyrev R.	955	.....	503
.....	385	Kramar O.	401	Kryvenko Y.	402
Kostianets O.	352	.....	411	Kryvonos V.	242
Kostiuk L.	858	.....	412	Kryvtsov A.	579
Kostyria O.	337	Krasinskyi M.	296	Kubrak V.	396
.....	377	Krasnokutskyi V.	564	Kucher M.	369
Kotelnyskyi Y.	581	Krasnopyorov P.	924	Kucheriavyi O.	77
.....	822	Krasnorutskyi A.	193	Kuchmenko V.	907
Kotsiuba V.	16	Krasnorutsky A.	80	Kudriashov V.	506

Kudriashov V.	516	Kushka I.	578	Lemberskyi O.	872
.....	580	Kushneruk Y.	913	Lemesheva N.	894
Kudriashova V.	135	.....	914	Lenets V.	77
.....	581	Kushnir O.	753	.....	438
.....	822	Kushnir V.	398	Lenets V.	444
Kudriavtsev A.	89	Kushpeta R.	543	Leonenko O.	567
.....	90	Kuts V.	360	.....	569
Kudriavtseva N.	796	Kuzmenko I.	146	.....	570
Kudriavtseva A.	244	Kuzmenko S.	884	Leonov I.	655
Kudryashova V.	234	Kuzmychov I.	681	.....	656
.....	683	Kuznetsov S.	50	.....	668
Kudryavtsev A.	711	Kuznietsov O.	670	Leontiev O.	70
.....	720	Kvitkin K.	287	.....	132
Kudrynskyi O.	57	Kvitkin P.	786	.....	195
Kudriashov H.	819	.....	786	Lernatovych A.	523
Kuibyda Y.	334	Kyrpenko V.	602	Leshchenko R.	953
Kukobko S.	318	Kyrychenko B.	102	Leshchenko S.	48
Kulabukhov O.	456	.....	130	.....	49
.....	462	Kyrychenko D.	451	.....	50
.....	468	.....	457	Letucha M.	709
Kulahin K.	287	Kyrychenko A.	293	.....	722
.....	290	Kyrylenko S.	398	Letuchiy B.	709
Kuleshova V.	849	Kyslenko M.	385	Leushin S.	656
Kulieshov O.	522	Kyz P.	158	.....	674
Kulieshova T.	55	Kyslenko M.	410	Leushyn S.	655
.....	522	L		Levagin G.	495
Kulikov A.	577	Lahutin H.	705	Lezik O.	500
Kulyk O.	391	.....	706	Liakh I.	460
.....	393	.....	708	Liamtsev M.	332
.....	394	.....	709	Liamtseva A.	350
.....	396	.....	711	Liashenko V.	97
.....	398	.....	713	.....	100
Kuravska N.	709	Landar B.	507	Liebiediev V.	387
.....	711	Landishevskyi V.	950	.....	398
.....	712	Lapin D.	504	.....	400
.....	713	Lapta S.	921	.....	401
.....	714	.....	922	Lihus H.	159
.....	715	Laptiev I.	954	Lipkevych V.	153
Kuravsky M.	719	Larin V.	540	Lisevych S.	923
.....	720	Lavrenchuk D.	137	Lishchenko V.	362
Kurenko O.	792	Lavrentieva S.	754	.....	363
Kurinnyi O.	851	Lavrinenko V.	603	Lisohorskyi B.	665
Kurylo Ya.	166	Lavrov A.	53	Litvina Z.	894
.....	170	Lavrov O.	51	Litvinenko Yu.	503
.....	171	Lekakh A.	563	Litvyak A.	143
Kushch P.	304	.....	572	Liubchenko O.	58
.....	307	.....	574	Liubinets N.	412
.....	310	Lemberskyi O.	872	Liutov V.	443

Logachov S.	601	Lysechko V.	420	Martynyuk V.	953
Lopatin A.	386	.....	421	Martynenko A.	211
.....	400	.....	423	.....	223
Loshik K.	716	.....	809	.....	581
.....	720	Lysenko E.	454	Martynenko P.	216
Lotoshnikova S.	881	Lysenko Y.	429	.....	349
Lototskii O.	139	.....	431	Martynenko S.	83
Lova O.	239	.....	432	Martynenko V.	581
Lozko O.	419	Lytovchenko D.	503	Martynov I.	890
.....	809	Lytvinenko M.	443	Mashchenko I.	423
Lugovoi M.	411	Lytvyn A.	402	.....	725
Lukashuk O.	659	.....	405	Masliy D.	406
.....	675	Lytvyn O.	80	Matiukh B.	470
Lukianchuk I.	575	Lytvynchuk D.	76	Matiukh Yu.	406
Lukianchuk V.	275	.....	104	.....	407
.....	276	Lytvynenko M.	438	Matveev E.	204
.....	279	.....	444	Matvieieva V.	193
.....	280	Lytvynova D.	749	Mazhara I.	81
.....	281	M		Mazunov M.	138
Lukianchykov A.	354	Makarov S.	392	Mazuryk N.	578
Lukianenko S.	956	Makota M.	313	.....	582
Lukianenko V.	786	Makovskiy I.	636	Mazuryk N.	582
.....	809	Maksymov M.	503	Mehelbei H.	612
Lukianiuk R.	385	.....	514	.....	614
Lukianov S.	602	Maksyuta D.	283	Mehelbei V.	290
Lupandin A.	611	.....	285	.....	491
Lupandin V.	610	Makukha Y.	362	.....	492
.....	612	Malankevych I.	403	.....	496
.....	614	.....	404	Melenti D.	283
Lupashko R.	194	Maleieva A.	219	.....	289
Lushchak S.	293	Maliarenko O.	356	.....	302
Lutsenko A.	318	Malieiev O.	818	Meleshko K.	845
Lutsenko A.	940	Malko P.	454	Melnichuk A.	210
Lutsenko E.	570	.....	455	Melnik N.	505
Lutsyshyn M.	136	.....	462	Melnikov I.	396
Lyashchenko R.	242	Malyarenko O.	344	Melnychuk O.	163
Lykhodeev O.	920	Malyshev O.	354	Melnyk K.	142
Lykhodieiev O.	211	.....	358	Melnyk V.	176
.....	937	.....	360	.....	208
Lysakivska K.	147	Mamchur D.	403	.....	497
.....	165	Mammadzada M.A.	827	Melnyk Ye.	138
Lysakivskiy B.	147	Manoilov S.	599	Melnykov O.	80
.....	165	Manzhura V.	319	Mihura O.	378
Lysechko V.	11	Marchenko A.	139	Mikhalova L.	574
.....	13	.....	169	Mikhnenko A.	710
.....	387	Marchenko O.	89	.....	716
.....	388	.....	90	Mikhno M.	238
.....	419	Marchenko Y.	225	Mikołajczyk M.	789
		Markov O.	610		

Mileiko A.	224	Mukhina T.	660	Nazarenko Y.	304
Milkovich I.	725	.....	662	Nechytailo S.	277
Miltsyn I.	114	Mukomol I.	745	.....	292
Miroshnichenko O.	74	.....	763	Nelidin D.	297
.....	75	Mukosii D.	458	Nelin D.	341
.....	109	.....	460	.....	343
Miroshnichenko P.	16	Muravska S.	886	Neliub V.	862
Miroshnikov I.	289	Murzin M.	356	Nemchenko L.	432
.....	302	.....	357	.....	465
Miroshnyk V.	98	.....	598	Nemshylov Y.	717
.....	100	Musairova Yu.	743	.....	718
Mirzazade N.B.	416	.....	470	.....	917
.....	685	.....	707	.....	918
Misailova K.	821	.....	711	Nemynushchyi S.	80
Misiuk H.	335	.....	713	Nepokrytov D.	403
Misiura O.	12	Musienko O.	601	.....	435
.....	447	.....	615	Nesmiian O.	431
Mistyukovich A.	951	Musienko Yu.	242	.....	433
Mohylnyi O.	421	Muzhylo D.	318	.....	447
.....	815	Muzichuk O.	171	.....	454
Mokryak A.	311	Muzychuk O.	166	Nesterova D.	226
Momit O.	317	Myachykov V.	251	Netiaha I.	583
Momot P.	916	Mykhailov I.	515	Neveskyi A.	952
Morgun E.	313	Mykhailova A.	762	Nevmerzhitsky I.	349
.....	315	Mykhailovskyi R.	794	Nevmerzhitsky V.	96
.....	316	.....	795	Nevoisa A.	70
Moroz V.	788	Mykhalchuk V.	308	Nevzorov R.	69
Mosharenkov V.	738	Mylnikov H.	60	Nikiforov I.	791
.....	739	Mynenko B.	519	.....	792
.....	740	Myronenko K.	131	Nikolaev D.	311
.....	741	.....	163	Nikolaev I.	279
.....	744	.....	168	.....	280
.....	745	.....	173	Nikolaiev K.	151
.....	746	Myroniuk Y.	219	Nikonchuk A.	422
.....	793	.....	220	Nikora I.	459
Mosharenkova T.	738	.....	226	.....	460
.....	741	Myropolskyi R.	209	Nikul S.	674
.....	793	Myshkin R.	163	Nos A.	660
.....	810	Mytchuk O.	207	.....	662
.....	819	Mytsak O.	577	Nos O.	455
Moshkivskyi O.	143	.....	582	Nosko S.	66
.....	144	N		Nosyk S.	165
.....	151	Naida T.	215	Novak V.	469
Moskal P.	797	Nakonechnyi O.	497	Novichenko S.	284
Mostovyi A.	173	Natarov D.	672	Novichkov V.	458
Motornyi M.	717	Natarova A.	672	.....	459
Motuzov O.	113	Naumenko M.	195	Novichonok S.	567
Movchan P.	579	Naumenko N.	757	.....	568

Novichonok S.	569	Openko P.	320	Papushak S.	75
Novoselov Y.	725	.....	321	Parashchenko T.	245
O		Opiatiuk D.	172	Parkhomenko D.	449
Oboronov M.	506	Oriekhov S.	499	.....	467
Obrezkov S.	301	Orlenko V.	921	Parkhomenko M.	448
Ochkurenko O.	339	Orlov I.	375	.....	449
.....	348	Orlovskiy M.	939	Pashaev A.B.	517
Odosii O.	70	Osadchuk Y.	466	Pasichnyk V.	810
Okhotenko O.	80	Osadchyi V.	563	Pastushenko V.	419
Oleksenko O.	12	Osiievskiy S.	429	Pavlenko B.	112
.....	542	.....	431	Pavlenko I.	610
.....	654	.....	432	Pavlichenko O.	391
Oleksiyeva L.	133	.....	433	.....	393
Oleshchuk M.	620	Osovytskyi M.	96	.....	396
Oleshchuk I.	442	.....	99	Pavlii L.	59
Oliinyk E.	711	.....	100	Pavlii V.	59
Oliinyk I.	75	Ostafiichuk T.	747	Pavlov Y.	155
.....	93	.....	790	Pchelnikov S.	71
.....	97	Otrashevskiy V.	564	.....	79
.....	100	Otreshko N.	136	Pedorich A.	238
.....	101	.....	153	Pekariuk M.	854
.....	102	.....	164	Perederii I.	787
.....	103	.....	166	.....	788
.....	105	Otyisko V.	816	Perehoden O.	860
.....	106	Ovcharenko O.	300	Perehuda O.	483
Oliinyk O.	82	Ovcharenko Y.	567	.....	675
.....	148	.....	569	Perepelytsia O.	54
.....	944	P		Pereshyvailo A.	454
Oliinyk R.	506	Pakhomova A.	468	Permiakov O.	468
Oliynyk Y.	352	Palahuta V.	275	Pershyn O.	445
.....	378	.....	276	.....	457
Oliinyk Yu.	20	.....	277	.....	466
.....	298	Palii S.	538	Pershyna E.	52
Olkhovikov D.	751	Palyukh O.	716	.....	53
Olkhovikova A.	751	Panchenko A.	707	.....	55
Olshansky M.	960	.....	709	Petrakova Y.	424
Olshanskyi M.	485	.....	710	Petrenko O.	296
Omelchenko V.	238	.....	714	Petrenko O.	408
Onipko Y.	311	.....	715	.....	580
Onishchenko V.	130	.....	716	Petrov I.	666
Onushko O.	519	Panchenko S.	48	Petrov O.	434
Onypchenko P.	76	Panchenko V.	59	Petrov V.	89
.....	78	Panchuk A.	950	.....	90
Onyshchenko V.	136	Panimatka V.	288	Petrova L.	821
Onyshchuk O.	390	.....	302	Petrova N.	816
Opara V.	170	.....	388	Petrushenko I.	674
Openko P.	175	Pankul O.	129	Piatenko V.	143
.....	176	Papushak S.	107	.....	150

Piatenko V	151	Popov M.....	616	Rebrii I.....	849
Pichuhin I.	574	Popova N.....	618	Reshetnik V.....	515
Pidkaliuk A.	739	Popova V.....	929	Revin O.....	439
Pidkaliuk Y.	158	Porokhonchuk O.	616	Revko B.	237
Pidleliuk R.	239	.....	615	Revko H.	220
Pidlisny O.	95	.....	618	Reznichenko O.	302
Pidlisnyi A.	218	Porynos Ye.	519	Reznikov S.	149
Piontkivskiyi P.	634	Potiahach T.....	70	.....	159
Piskun S.	424	Potseluiev O.	235	.....	168
Piskunov N.	496	Pozdniak V.	394	Reznikova O.....	470
.....	513	Pozdnyak V	391	Riabko I.	82
Piskunov O.	515	.....	396	Riabkov V.	942
Piskunov S.	495	Pozovna T.....	559	Riabokonov T.....	938
Plakysuk A.....	709	Prokofiev V.	20	Riabokonova D.....	933
Pleshkunov S.	140	Prokopliuk A.	414	Riabota D.	294
.....	141	Prosiannyk V.	357	.....	317
Pochuieva V.....	961	Protsenko O.	953	Riazantsev S.	499
Podrygalo M.	567	Pryimachenko K.	579	.....	511
Pohasii M.....	523	Pryimak A.	916	Rieznik D.	60
Pohodina M.....	298	Prysiashniuk V.	361	Riznychenko R.	304
.....	852	Prysiashnyi A.	657	Rodiuk E.	223
Polishchuk O.....	198	.....	668	Rodiukov A.....	574
.....	240	Prysiashnyi V.	668	.....	575
Polishchuk Y.....	384	Prysiashnyi A.....	660	Rohozhynskiyi O.	77
Politov I.	955	Puchkov Ye.	48	Rohozin I.....	570
Politova A.....	158	.....	429	Rohulia D.....	844
Polonskiy A.	220	Pugach V.	545	Rohulia M.	844
Polotov O.....	936	Pustovarov V.	59	Rohulia O.....	278
Polshyna L.	50	Puzhai-Chereda S.....	70	.....	792
Poltavets A.....	816	.....	93	Rohulia O.....	792
Polynko D.....	404	Pylypenko T.	763	Romanenko I.	364
Pomazuiev V.....	113	Pylypovych O.	364	.....	365
Pomerantsev A.....	953	.....	369	Romaniuk O.	512
Pomohaibo V.	452	Pyshchalka N.....	719	.....	515
.....	453	Pyskun S.....	422	Romaniuk A.	52
.....	954	Pyyo M.....	375	Romaniuk M.....	298
Pomohaiev I.	294			Romaniv V.	308
.....	317	R		.....	309
Ponomar A.....	337	Radko O.	177	Romanov Y.	377
.....	619	Radzhabov A.	757	Romanyuk A.	440
Ponomarev A.	281	Raikov R.	366	.....	441
Popadiuk R.	509	.....	367	Ronzhyn Y.	194
Popenko V.	206	Rakytianskyi S.....	846	Roshchupkin Y.....	318
Poplavets S.	423	Ralko V.	84	Royenko O.	681
.....	541	Ratnakar I.....	934	Rublov V.....	136
.....	546	Ratych O.	399	Rublova R.	796
.....	725	.....	400	Rublyov V.....	167
Popov V.....	238	.....	411	Ruchka O.	718
		.....	414		

Ruchka O.....	918	Samokish A.	456	Serpukhov O.....	329
Rud A.	662	Samoylenko M.....	94	Seryozhenko I.....	332
Rud B.	440	Samsonov V.	460	Shabaieva R.....	167
.....	441	Samsonov Yu.....	612	Shamrai A.	673
.....	442	Sapelnikov O.	91	Shapovalov O.	299
.....	461	Sapicheva A.....	765	Shatska M.	747
.....	468	Sapov O.....	950	Shchaslyva D.....	510
Rud R.	106	Sapozhnikov D.	941	Shcherba A.....	251
Rudakov I.	59	Sarik Y.	298	Shcherbak O.....	398
Rudenko V.....	445	Savchenko O.....	848	.....	400
Rudenko Y.....	338	Savchuk O.	810	Shcherbak V.....	809
Rusinov P.	139	Savchuk V.	451	Shcherban A.....	388
Ryabokon E.	285	Savchuk Ya.	893	.....	409
Ryapolov Y.....	301	.....	894	Shcherbinin S.	385
Rybachuk O.	538	Saveliev A.	284	.....	393
Rybalchenko V.....	405	Savieliev Y.	237	.....	394
Rybalka G.....	349	Savranska I.	407	Shchetyna P.....	103
.....	356	Savrun B.....	546	Shchuruk V.	106
Rybalko D.....	493	Savytska A.....	877	Sheigas O.	86
Rybalko V.....	507	Savytska V.....	884	Sheliakin O.....	193
Rybiak A.....	206	Sazanova L.	870	Sheremet M.	195
.....	600	Scherban A.	410	Sheremet O.....	241
Rybitskyi I.	737	.....	414	Shestakov D.	564
Rybnikov M.....	294	Sebko I.	203	Shevchenko A.	491
Rykun V.	717	Seleznev S.	55	Shevchenko O.	423
.....	719	Semeniuk A.	235	Shevchenko O.	820
.....	917	Semeniuk V.	925	Shevchenko S.....	152
.....	924	Semenov M.	228	.....	166
Ryzhchenko O.....	866	Semenov S.....	56	Shevchenko Y.	368
S		.....	57	Shevchenko Yu.....	48
Sabat M.	149	Semerenco Y.	919	Shevchuk D.....	705
Sabziev E.....	248	.....	930	.....	707
.....	517	.....	931	Shevchuk S.....	491
Sadovyi K.	348	.....	932	Sheviakov Y.....	911
.....	350	.....	935	.....	912
Safarova G.	599	.....	936	.....	913
Salna N.	15	.....	938	.....	914
.....	563	.....	940	Sheygas O.	86
Salnik O.....	706	Semko I.	580	Shishina I.	351
.....	707	Semko M.	232	Shkabura A.....	208
.....	710	.....	233	Shkardybarda O.....	96
.....	713	Serbinnenko M.	491	Shkurman M.....	72
Salohor V.....	516	Serdiuk O.	371	.....	73
Samarchuk V.....	352	.....	372	.....	74
Samarets O.....	369	.....	338	Shkurman M.....	75
Samokish A.....	450	Serdyuk O.....	369	Shlapak O.....	877
.....	451	Serediuk O.....	211	Shmakov V.....	76
.....	452	Serediuk A.....	83	Shmyhlenko O.....	92

Shmyhlenko O.	216	Sivov A.	227	Soloviov M.	20
Shovkopliias V.	720	Sizon D.	15	Soloviova O.	929
Shovkoplyas V.	716	Skliar I.	232	.....	930
Shtanko V.	79	.....	233	.....	931
Shubina G.	387	Skliarenko D.	157	.....	932
Shulezhko A.	618	Skoboviat Y.	568	.....	933
Shulezhko V.	297	.....	570	Sorochkin O.	236
Shulha A.	741	Skorbach Y.	738	Sorochuk V.	241
.....	886	Skoropadsky R.	231	Sosulin M.	238
Shulha O.	84	Skoryk A.	300	Sotnikov O.	196
.....	86	.....	298	.....	611
Shulha R.	149	.....	319	.....	612
Shulha V.	459	Skoryi Yu.	137	Sovhar H.	865
.....	466	.....	242	Sovhar O.	865
Shutenko I.	853	Slavinsky M.	130	Spirkin Ye.	131
Shutko K.	379	Slesarev S.	861	Spirkina M.	855
Shutov R.	710	Slobodyanuk V.	597	Stadnichenko O.	375
Shutska L.	939	Slusarenko M.	351	Stadnichenko V.	508
Shvets A.	113	Smazhenko M.	707	Stanenko V.	282
Shvets P.	208	Smelyakov S.	467	Startsev V.	574
Shyhimaha N.	355	Smetana Y.	353	Stasiev Yu.	434
.....	539	Smetankin R.	211	.....	435
Shyhin V.	311	Smyk S.	92	Stavytskyi O.	497
Shylo S.	445	.....	216	.....	521
.....	446	Snisarenko A.	356	Stebliuk I.	219
.....	468	.....	357	.....	220
Shymuk D.	717	Snitsarenko O.	447	.....	227
.....	919	.....	665	Stepanov Ye.	951
Shynkarenko V.	766	Snitsarenko V.	17	Stepchenko B.	367
Shyrobokov Yu.	599	.....	384	Stępień E.	797
Shyroka S.	932	Snizhko D.	145	Storchaieva A.	445
Sidchenko S.	48	.....	147	Storozhenko O.	521
.....	49	.....	149	Stovba R.	374
.....	50	.....	165	Streliani B.	423
.....	439	Snovydyvych R.	299	Strutsinskyi O.	660
Sidorov V.	358	Sobolieva S.	807	.....	673
Sievierinov O.	395	Sokol O.	162	Stulhynskyi A.	307
.....	397	.....	568	Suchko A.	71
.....	919	Sokolova D.	234	Sukhanov I.	939
Sigaylo G.	915	.....	683	.....	941
.....	920	Soldatenko A.	229	Sukhanov M.	939
Siianko O.	820	Soldatov R.	711	.....	941
Simonov S.	61	Solnyshkova S.	661	Sukhanov O.	206
Sinenko D.	77	Solomakha O.	107	.....	207
Sirenko A.	941	Solomko S.	950	Sukhoteplyi V.	395
Sirotkin Y.	352	Solomonenko Y.	352	.....	397
Sitkov O.	109	Solovey R.	295	Sukhovyi D.	168
Sivik O.	130	Solovey V.	484	Sukhyi V.	231

Sukmaniuk O.	917	Taran I.	563	Torchylov O.	112
Sula V.	575	Taran O.	313	Tretiak I.	861
Suleymanov I.I.	416	Taranenko Yu.	848	Tretyak V.	283
.....	418	Tarasiuk M.	55	Trifonenko K.	55
.....	683	Tarasov I.	450	Trofimenko Y.	288
.....	685	Taratun A.	431	Trofymov I.	353
Suprunov V.	235	Tarshyn V.	430	Trofymova M.	864
Surgai V.	317	Tashtymyrova V.	444	Trubchaninova K.	421
.....	361	Telehin V.	457	Trubina P.	886
Surhai M.	298	.....	459	Trushin S.	316
.....	319	Teliatnyk B.	111	Tryhub I.	161
.....	815	Telyatnik B.	86	Tryhub Y.	132
Sushchuk K.	293	Telyukov S.	15	Tsarova L.	886
Sushko A.	70	Terentieva I.	567	Tsenin V.	317
.....	77	Terentieva I.	569	Tsiupka P.	48
.....	103	Tereshchenko O.	155	.....	49
Svystunov D.	354	.....	159	.....	50
.....	355	.....	160	Tsukanov R.	942
Sych A.	434	Terletsnyi B.	508	Tsybulskyi O.	571
Sychov O.	454	Terpelyuk M.	403	.....	574
Sydorenko M.	172	Tiahii I.	375	.....	575
Sydorenko R.	196	Timoshenko P.	142	Tsykh V.	773
.....	611	Tishkin V.	538	Tulenko I.	420
Sydorov K.	786	.....	540	Tulenko M.	408
.....	806	.....	565	.....	409
Sydorov V.	519	.....	613	.....	415
Sylenko S.	296	Tiurina V.	611	Tulenko V.	412
Symonenko S.	310	Tiutiunnyk O.	411	Tulub A.	43
Synytska A.	310	Tiutiunnyk V.	341	Tupitsya I.	217
Synytskyi R.	314	.....	342	Turinskyi Y.	429
Sypok A.	463	.....	343	.....	431
Sypok H.	465	.....	358	.....	432
Syrotenko V.	708	Tkach T.	148	Turinskyi O.	11
Syvvi V.	767	Tkach Y.	787	Tykhovod A.	305
T		Tkachenko A.	62	Tymchuk H.	242
Tabunenko V.	706	Tkachenko V.	17	Tymofieiev S.	519
.....	709	.....	436	Tymtsiv M.	160
.....	712	.....	465	Tyshevsky V.	96
.....	723	Tkachik V.	279	Tytarenko R.	318
Tahirov R.	21	Tkachuk B.	715	U	
Tahyan K.	343	Tkachuk K.	364	Uchanin V.	736
.....	344	.....	365	Udodova O.	893
.....	341	Tkachuk O.	657	Udoenko A.	318
Talibov A.M.	471	Tkachuk V.	466	Ukrainets Ye.	131
.....	517	Tkalych A.	367	Ursakii Y.	301
Tambovtsev A.	232	Tokar O.	500	Ursol I.	463
Taran I.	197	Tolkachenko Y.	469	Ursol O.	132
.....	540	.....	470	.....	134

Ushan V.....	618	Viedienieva R.	95	Vyhivskyi O.	304
Ustinov D.	663	Vinnichuk A.	754	.....	305
Uvarov V.	706	Vintonyak S.....	349	Vykhovanets D.....	317
V		Vitchenko A.	922	Vylivok D.	707
Vakhnuk S.	567	Vitruk M.....	202	.....	715
.....	576	.....	217	.....	722
Vakulko Y.	145	Vlasiuk D.	214	Vyntu A.	639
Varvarov V.	139	Vnukov V.....	135	Vyshevskyi D.	429
Vasekin D.	211	.....	788	Vyshnivskyi Y.....	195
Vashchilina K.	376	Voinov V.....	497	Vysochkin S.	144
Vashchuk B.....	338	Voitenko K.	284	.....	150
Vasiuta K.	12	Voitenko S.....	735	.....	151
.....	193	.....	737	Vysotskyi O.....	370
.....	332	Voitovych O.	681	Vysotskyi O.....	373
.....	384	Volkov A.....	509	.....	390
.....	429	Volkova M.....	874	.....	391
.....	597	Volodko S.....	499	.....	392
Vaskiv A.....	238	Volovodiuk A.	722	Vedmid O.....	292
Vasko A.....	243	Voloshan R.....	293	Y	
Vasylenko L.....	452	Volyuvach S.	290	Yachna I.....	519
.....	663	.....	291	.....	521
Vasylenko R.....	221	Vorobiov O.....	767	Yahodka N.	744
.....	222	Vorobiov Y.....	457	Yakimechko I.	367
.....	223	.....	601	Yakovets O.....	706
.....	224	Vorobyov O.....	711	Yakovlev O.	455
.....	245	.....	713	Yakymchuk K.	229
Vasylyshyn V.....	385	.....	719	Yakymovskiy D.....	447
.....	386	.....	720	Yandola K.	818
.....	387	Voronin A.....	235	Yarmolchuk M.	604
Vasytskyi K.	245	.....	452	Yarosh S.....	72
Vazhnyi D.....	243	.....	453	.....	278
Vdovonkov V.....	663	.....	954	.....	282
.....	664	Voronin V.....	283	.....	283
.....	665	.....	292	Yaroshchuk V.....	510
Vdovonkov V.....	926	Voronina K.....	849	Yaroshenko O.....	168
.....	927	Voronov D.....	393	Yaroshyk N.	768
Vdovonkov V.....	654	.....	400	Yaroviy M.	816
.....	672	Vorotintsev V.	396	Yarovyi S.	336
Vedernikova A.	156	Vovchuk S.....	894	Yashchenok V.	130
.....	231	.....	896	.....	146
Vedmid O.	287	Vovk O.....	70	Yashchuk A.....	790
.....	290	.....	77	Yashchuk M.	422
Velychko O.....	17	Vovnenko D.	367	.....	424
.....	465	Vozny O.	53	Yasiuk N.	857
.....	565	Voznyi O.	17	Yaslyk S.....	952
Velychko S.	245	.....	287	Yasynskiy O.....	495
Velychko V.....	878	.....	931	.....	513
Verbovska V.	706	Vyhivskyi O.	303	.....	521

Yatsenko K.	571	Zapeka V.	750	Zvieriev O.	309
Yatskiv D.	230	Zarichniak D.	191	.....	317
Yatskiv R.	227	Zarytskyi D.	306	Zvonkova O.	391
Yatsko R.	603	Zasimovych O.	79	Zynchenko V.	205
Yatsun D.	446	Zbartskei S.	352	.....	600
Yavdoschuk D.	316	Zbezhkhovska U.	193	A	
Yavorsky D.	133	.....	244	Авраменко О.В.	586
Yavtushenko V.	15	Zbroi A.	773	Аврамчук О.Є.	675
.....	16	Zderko Y.	220	.....	676
Yepifanov S.	942	Zelenska O.	875	.....	677
Yerastova-Mykhalus I.	876	Zemlianska A.	600	.....	678
Yerema D.	814	Zemlianskyi D.	431	.....	679
Yeremenko O.	199	.....	433	.....	680
Yerilkin A.	91	Zhuikov D.	359	.....	681
.....	92	.....	925	.....	682
.....	93	Zhuk I.	879	Акимов О.О.	187
Yeroshenko S.	405	Zhuk V.	156	Акімова О.В.	187
Yevstafieva K.	919	.....	231	.....	533
Yevtushenko O.	951	Zhuravel M.	759	.....	607
Yonka O.	237	Zhuravlov S.	954	Алексєєв С.В.	641
Yudenko V.	748	Zhuravlova N.	880	Андерсон Г.Г.	629
Yukhno V.	575	Zhuykov V.	440	Андрєєва Л.М.	480
Yurchenko V.	953	Zhydko Ye.	664	.....	481
Yurko I.	755	.....	665	Андрущенко І.С.	698
Yuzva V.	764	.....	672	.....	699
Z		.....	926	Андрущенко Ю.А.	547
Zaichenko A.	740	.....	927	Антонов Г.А.	36
Zakharchenko V.	400	.....	928	Аргунов С.В.	187
Zakharchenko I.	442	Zhylenkov O.	411	Аркушенко П.Л.	263
Zakharchuk O.	103	Zhylin Ye.	600	.....	266
.....	164	.....	603	Артюхова В.В.	815
.....	166	.....	604	Атамась Р.О.	628
Zakirov Z.	52	Zhyrun V.	140	B	
.....	57	.....	141	Бабарик А.А.	557
.....	291	Zienovych O.	212	Бабенко В.І.	41
.....	447	.....	213	Бабич А.А.	18
.....	456	.....	214	Багач Р.В.	700
Zakladnyi V.	237	.....	215	.....	701
Zakutin K.	288	Zilnyk V.	408	.....	702
Zalevsky G.	339	Zlyvka H.	15	Бадьор Т.О.	534
.....	340	Zmozhenko K.	373	Байцурак С.І.	534
.....	341	Zolochevskyi V.	814	Баландін М.В.	626
.....	378	Zorkin R.	846	.....	627
Zalkin S.	439	Zotova D.	334	.....	770
.....	440	Zots F.	339	Баличев С.В.	24
Zaloga W.	329	.....	348	Балта Є.О.	40
Zapara D.	51	Zubelevych D.	485	.....	550
.....	440	Zuiev Y.	506	.....	592

Барабаш О.В.	25	Бойко Р.В.	553	Варавін А.В.	692
Баранов А.В.	899	Бойко Р.С.	676	Варакута В.П.	42
Баранов В.Г.	537	.....	678	.....	800
Баранов С.В.	43	Бокачов С.В.	36	Варакута М.В.	42
Барвінок Р.Д.	427	.....	38	.....	800
.....	621	Бологін А.С.	125	Варванець Ю.В.	34
Барзак О.О.	478	Бондар В.В.	586	.....	36
.....	479	Бондаренко Ю.Л.	121	.....	38
.....	697	Бондаренко Ю.Ю.	263	Василів С.С.	536
Барінгольц Т.В.	489	.....	962	Васильєв В.А.	327
Барченко С.В.	554	Бондарук А.Б.	478	Васильєв О.С.	689
Баталов М.А.	125	.....	479	.....	692
Бачурін С.М.	270	.....	697	Васильчук О.С.	181
Башинський Д.В.	188	.....	697	Вахнін О.В.	627
Бензионович М.О.	730	Боримський О.І.	181	Величко Л.Д.	177
Бердичівський П.П.	26	Борисенко М.В.	802	.....	475
Береза П.В.	628	Борисов П.С.	635	.....	833
Березовський А.І.	556	Борисюк К.Г.	607	Веремейчук В.І.	270
Биков В.М.	622	Бортник Ю.М.	869	Веровок М.В.	380
Бисов А.С.	559	Борщ В.В.	774	Вигівська О.В.	801
Бичков В.В.	534	.....	775	Виговський М.В.	273
Білаш О.В.	177	.....	777	Вишневська Н.О.	838
.....	475	.....	778	Вишняков В.Ю.	547
.....	476	Бояров В.Т.	188	Вінніков Д.В.	644
.....	477	.....	643	Власенко Є.В.	26
.....	832	.....	804	Вода Ю.Л.	647
.....	833	Брага Д.М.	547	Вознюк В.В.	627
.....	836	Братко В.В.	623	.....	770
.....	904	Бриксін О.М.	43	Вознюк О.А.	28
Білобородов О.О.	909	Брянкін С.С.	554	Войтович М.І.	177
Білобородова Л.В.	642	Бубенщиков Р.В.	625	.....	178
Білокопитов Б.В.	475	.....	628	.....	476
.....	528	Бугайов М.В.	529	.....	902
.....	626	.....	632	Волинєць І.М.	186
Білоус О.В.	427	Букін О.В.	271	Волков В.П.	270
Білявський Б.А.	425	.....	690	Волобуєв О.С.	702
Бісик С.П.	181	.....	693	Володько С.В.	263
Біховський О.В.	635	.....	694	Волотівський П.Б.	260
.....	636	Бурсала О.Л.	729	Ворон В.В.	638
Блискун О.Є.	28	Бурсала О.О.	729	Воронін А.В.	960
Бобошко А.М.	533	Бурцева В.В.	768	Врубльовський Д.С.	524
Богдан М.М.	681	Буряковський С.Г.	474	Г	
Богославець С.О.	260	.....	733	Гаврилюк О.Д.	536
Богущкий С.М.	479	Буханевич С.В.	46	Гайденко С.В.	702
Божко А.В.	944	.....	638	Гайовчик М.М.	28
Бойко Є.М.	329	В		Галкин С.О.	643
.....	699	Варава В.В.	646	Гапоненко Г.М.	486
Бойко Р.В.	536	Варавін А.В.	689	.....	608

Гейко В.В.....	607	Грічанюк О.М.....	486	Дробна О.В.	694
Гелета С.М.....	33	.....	622	Дроздов С.Г.....	782
Герасименко В.В. ..	116	Гродзь Н.М.....	527	Дружинін О.П.	885
Герасимов С.В.	330	.....	900	Друмя О.М.	768
Геращенко М.М.....	267	Громовий І.Б.	325	Дубок О.С.	268
.....	962	Грубель М.Г.	834	Дуболазов Ю.О.	784
Герман А.О.....	677	.....	897	Дудка О.О.	39
Германенко Л.М. ...	643	.....	899	.....	65
.....	644	Грунович В.О.	254	.....	594
Гладич Р.І.	484	Гузик Н.М.	837	Дудник Т.Г.....	123
Глова Т.Я.....	832	.....	897	Дуленко Д.І.	583
Гнатов А.В.....	730	.....	898	Дурач В.М.....	119
.....	731	.....	900	Дьомін Д.В.....	489
Гнатов І.Г.....	328	.....	901	Дяченко В.О.....	252
Гнатюк О.І.	841	.....	904	Е	
Годібський В.П.	625	.....	906	Ейсмонт А.Ю.	489
Голова М.А.....	118	Гузій Є.О.	266	Є	
Головін О.О.	327	Гула В.В.	329	Євсєєв О.С.	482
Головняк Д.В.	531	Гуменюк М.О.	257	Єгоров А.Д.....	250
Голубовська О.М....	587	Гурман Х.М.....	593	.....	251
Гончаренко О.О.....	123	Гусак М.Ю.	427	Єгоров В.А.....	250
.....	185	.....	623	.....	251
.....	186	Гутнік В.Г.....	692	.....	688
Горбач М.П.....	626	.....	695	Єгоров В.О.....	698
Горбач Н.Л.....	869	Д		Єгоров С.А.....	250
Горбачов К.М.	27	Д'яков О.Г.....	264	.....	251
.....	523	Давидов Д.О.	560	.....	688
Горбачова Я.С.	523	Давіденко С.В.....	33	Єлізаров Б.К.....	585
Горбенко В.М.	24	.....	477	Єлін В.М.	425
.....	25	Дацько Д.В.	677	.....	960
.....	26	Дегтярьов Ю.М.	646	Ємельянов О.В.....	605
.....	28	Делятинчук А.І.....	906	Єрмак Г.П.	689
.....	115	Демідчик Ф.А.	537	.....	692
Горяков І.Д.	529	Демченко Б.В.	606	Єршов Р.М.	24
Горобець В.М.	692	.....	839	Ж	
.....	695	Демченко Д.В.	703	Жевтюк О.А.	261
Горобець В.Ю.....	323	Денисюк Ю.Р.	550	Жежерун Ю.В.	264
Горобець Ю.О.	26	.....	551	Желтов В.М.....	692
.....	323	Дзюбенко Ю.А.	24	Живець Ю.М.....	643
Горохов Г.Т.	125	.....	26	Живчук В.Л.....	33
Горяча І.О.....	782	.....	829	Жикол П.О.	183
.....	784	Диптан В.П.....	584	Жук І.С.....	784
Гразіон Д.І.	769	.....	585	Жук О.В.	120
Григорчук Р.В.....	768	Діденко Є.Ю.....	126	Жук С.М.....	38
Григорян Б.С.	608	Добрянський О.О. .	533	.....	482
Гринько Є.О.	326	Дорохов О.М.	770	Жуков М.М.	115
Грищенко О.Л.....	268	Дранник П.В.....	322	Журавльов Є.І.....	732
Грідіна В.В.	265	Древенчук Р.В.	623		

Журавський С.В.	635	Казакова В.В.	257	Ковальчук Р.А.	527
З		Казимир В.В.	272	.....	900
Зройчиков Д.В.	729	Казмірчук Р.В.	605	Ковель П.П.	124
Завадський Д.С.	382	.....	606	Коворотний О.Л.	695
.....	909	Калетник С.А.	185	Кожушко Я.М.	268
Задерієнко С.І.	588	.....	186	.....	622
Задорожний І.С.	804	Калиновський Ю.Ю.	808	Козел В.В.	735
Засць Н.Л.	845	Калмиков О.С.	622	Козир Н.М.	489
Засць Я.Г.	33	Кальний С.Є.	679	Козлюк С.П.	948
.....	477	Кальченко Т.М.	868	Колесник В.О.	266
Зайко В.В.	845	Камак Д.О.	272	.....	697
Зайцев Д.В.	630	Камак М.Д.	272	Колесник О.О.	178
Заїка В.М.	528	Каменецький В.В.	803	Колесник С.М.	531
Залевський В.Й.	255	Канцедаль В.М.	645	Коломієць В.В.	246
.....	480	Канчуга М.К.	867	Коломієць Л.Ф.	533
Запорожець С.В.	265	Карашук Н.М.	257	Колпаков Д.Г.	265
.....	266	Карпенко В.І.	694	Копишов Н.О.	120
Засядько А.А.	173	Карпенко О.В.	553	.....	180
.....	621	.....	676	Корехов А.О.	838
Зачепа Ю.В.	474	Карпенко О.О.	802	Коржов А.М.	681
.....	733	Карпінос Б.С.	124	Корнієнко І.В.	547
Заяць М.Й.	269	Карпукін В.Т.	255	Королько С.В.	326
Звонко А.А.	178	Катран В.Я.	482	.....	696
Зелений П.В.	268	Кацуба Р.М.	267	.....	726
Зеленський А.С.	64	Кислий В.Д.	824	Коротій О.О.	781
Зірка А.Л.	909	Кібіткін С.О.	253	.....	782
Зозуля В.М.	185	Кібіткіна Н.С.	260	.....	784
.....	186	Кільдеров Д.Е.	824	Корошенко А.Ю.	733
Зозуля Л.А.	186	Кірдей Л.М.	185	Косташук М.М.	803
Зотов М.В.	36	.....	186	Костерев Д.С.	45
Зотов С.М.	695	Кіреєнко В.В.	25	.....	637
Зуйков В.А.	271	Кірій С.М.	625	Костріков О.Л.	774
І		Кішлалі К.В.	830	.....	777
Іваненко В.О.	646	Клабан Ю.М.	22	.....	778
Іваничко В.В.	561	.....	23	Кот В.В.	330
.....	596	.....	424	Котова М.А.	781
.....	608	Климок Ю.П.	121	Коханівський Р.Р.	641
Іванов В.І.	583	Климченко С.В.	778	Коцюр О.М.	587
Іванов Д.А.	643	.....	783	Кочеулов А.О.	593
Івахів О.С.	32	Клочун І.А.	558	Кошель А.А.	191
Іващенко С.В.	584	Кметь С.А.	699	Кошка В.О.	829
Івченко А.І.	903	Кмін В.Ф.	899	Кошовий Г.І.	690
Ікаєв Д.Р.	25	Ков'ях І.В.	322	.....	693
Ісакова Н.М.	119	Коваленко А.В.	122	.....	694
Іщенко І.А.	121	Коваль В.В.	487	Кравченко В.Л.	428
Іщенко О.М.	488	Коваль С.І.	30	Кравченко С.О.	524
К		Ковальчук А.О.	678	Кравчук О.Д.	573
Каднай М.С.	703	Ковальчук Д.В.	844	Кравчук Р.П.	561

Кравчук Р.П.	596	Лазуріна Н.П.	842	М	
.....	608	Лайське Є.В.	184	М'ячиков В.С.	628
Крайсвітний О.Б.	561	Ланко А.В.	771	Мавренков О.Є.	182
Красильников Є.В.	945	Ларін В.В.	556	Мавренкова А.О.	262
Красник Я.В.	625	Ларіонов В.В.	549	Магу О.М.	533
Красота І.В.	802	Латвинський В.Д. ..	703	Мазій В.Р.	178
Кресан С.В.	380	Лемешко О.В.	472	Майборода Ю.М.	649
Кривов'яз А.Т.	274	Ленівий О.Ю.	529	Майстренко А.Л.	181
Крикуненко О.Ю.	428	Леоненко О.М.	573	Майстренко О.В.	650
Крумкач І.В.	268	Лисенко О.І.	426	Майстров О.О.	116
Кручковський О.І.	270	Литвин В.В.	902	Макаренко Р.Г.	528
Кубарь С.В.	182	.....	903	Малого В.Г.	18
Кудимов С.М.	32	Литовченко В.В.	623	.....	265
Кудринський О.В.	174	Лібрук-Ліпкевич С.Я.	35	.....	534
Кузавков В.В.	728	Лівінська Ю.Г.	800	Мамренко В.В.	188
.....	771	Ліщинська О.Є.	677	Манжара О.В.	269
Кузнецов В.О.	173	Ліщинська Х.І.	178	Мануйленко О.В.	644
.....	263	.....	179	Манулін Ю.О.	124
Кузнецов О.Л.	677	.....	834	Мартиненко С.А.	628
Кузьменко М.Д.	825	.....	837	Мартинюк І.М.	530
Кузьменко Р.В.	587	.....	897	.....	548
Кулаков О.В.	728	.....	900	Мартинюк О.Р.	28
Кулич В.Г.	181	.....	901	Марченков С.М.	843
Кулініч Ю.М.	45	.....	902	Матала І.В.	120
.....	638	.....	905	Матвєєв Г.А.	605
Кульба П.П.	486	.....	906	.....	606
Кулюкін В.О.	274	Лобазов С.М.	691	Матрьонін Д.А.	381
Куренко В.О.	472	Логвиненко М.М.	67	Махнюк О.В.	556
Курекін О.С.	692	Логвіненко С.В.	648	Медведєв В.К.	424
Курочкін В.В.	263	Логвінов Ю.Ф.	250	Межєвікін Є.М.	769
Куртов А.І.	594	.....	251	Мельник А.П.	272
Кустовський Д.С.	181	.....	271	Мельник Б.І.	680
Кухарець Т.І.	46	.....	690	Мельник Н.Г.	700
Кухарчук І.В.	258	.....	693	Мельник Р.М.	835
Куценко В.В.	526	.....	694	Мельник С.І.	691
Кучер В.М.	727	Лук'яненко В.В.	808	Мельник С.С.	691
Кучер Л.Р.	833	Луковський І.А.	949	Мельник Я.І.	630
Кучер М.В.	727	Лунькова Г.В.	475	Меркулов О.А.	779
Кучерук Л.І.	826	Луценко В.І.	687	.....	780
Кушніренко О.В.	68	.....	688	Метельська Т.С.	39
.....	804	.....	689	Миненко Б.Б.	845
.....	908	Луценко І.В.	687	Миргород О.В.	254
Л		.....	688	Мироненко О.В.	779
Лабазов С.М.	693	.....	689	.....	780
Лабушняк В.В.	781	Любішин Б.В.	778	Миронович Ю.В.	119
Лаврик С.В.	648	Ляхов М.В.	842	Мирончук Ю.А.	256
Лада Н.В.	531	Лящук О.І.	547	Миронюк М.Ю.	829
.....	643			Михайлюк Ю.О.	482

Миценко І.М.	691	Нікорчук А.І.	590	Островська-Бугайчук	
.....	695	.....	591	І.М.	844
Мільшин С.І.	640	Новак Д.А.	650	Отіопіч Д.А.	473
Мірзоев В.С.	265	Новикова О.О.	524	П	
Місайлов В.Л.	267	Новіков О.В.	325	П'явчук О.О.	584
Місценко Р.В.	264	Новічонок С.М.	573	П'янтківський А.П.	651
.....	265	Новосад Л.Ю.	270	Павленко А.Г.	908
Міхін А.Ю.	32	Новосолов Ю.К. ..	606	Павліна Т.В.	868
Міщенко Ю.В.	127	.....	839	Павлюк І.С.	46
Могила А.А.	645	Нос А.І.	670	Павлюк Н.А.	46
Мокоївець В.І.	37	.....	671	.....	47
Мокринський О.В.	528	.....	677	Палій В.Л.	327
Мордвінов М.О.	772	.....	680	Панасенко С.В.	532
Мосійчук Р.В.	117	Нос І.А.	173	Пантелєєва Н.М.	121
Москвітін А.С.	594	.....	621	.....	122
Мостовий А.І.	255	О		Пантелєєва Н.М.	123
Мострянський А.П.	781	Оверчук С.П.	257	.....	184
Мурашов І.Ю.	328	Огородник І.В.	557	.....	555
Н		.....	558	Панько В.М.	802
Нагапетян Ю.О.	847	.....	559	Панюков В.М.	269
Нагорний Л.В.	124	Озеран Г.П.	554	Паращенко Т.В.	246
Нагорний М.С.	897	Олексенко О.О.	346	Паращук Д.Л.	587
.....	899	Олійник Н.О.	644	Пасько І.В.	488
.....	904	Омельчук І.А.	632	Паталаха В.Г.	320
Нагорнюк А.В.	633	Онищук О.Р.	557	Пашенко Е.А.	181
Нагорнюк О.А.	633	.....	558	Пашетник О.Д.	33
.....	635	.....	559	.....	477
Наконечний М.М.	252	Оніщенко І.М.	644	Педенко Ю.О.	271
.....	28	Оніщенко О.І.	698	.....	690
Натарова А.О.	675	Онушко О.В.	845	.....	695
Наумчак Л.М.	551	Опенько П.В.	24	Перегида О.О.	474
Наумчак О.М.	550	.....	584	Перемибіда Д.О.	120
.....	551	.....	829	Перемибіда І.В.	838
Наусенко Б.Ю.	261	Оріховський П.В.	22	Перескоков В.О.	67
Невзгляденко Ю.О.	552	.....	23	Першин М.Ю.	798
Нечаус А.О.	592	.....	252	Петлюк І.В.	33
.....	732	Орлов С.В.	173	Петренко В.І.	671
.....	733	.....	486	Петрук С.М.	327
.....	734	Оровецький Р.А.	116	Печенко О.М.	28
.....	944	Осадчук О.В.	670	.....	115
.....	945	.....	671	Пирогов О.В.	254
Нікітченко І.М.	592	Осадчук Я.О.	670	Писаренко Ю.Ю.	675
Нікіфоров Г.С.	534	.....	671	Піддубна А.Д.	865
Ніколаєв С.Т.	625	Остапчук О.М.	699	Підласий Д.А.	556
Ніколайчук Л.Г.	836	Островська-Бугайчук		Пількевич І.А.	632
Ніколенко В.В.	779	І.М.	801	Пінчук А.М.	641
.....	780	Островська-Бугайчук		Пісклов Є.В.	186
.....	782	І.М.	842	Плакущий Д.О.	192

Плахотнюк П.А.	584	Резніченко М.Г.	694	Сеник А.П.	837
Побережний Л.Л.	346	Рєпін І.В.	529	.....	900
Погребняк Т.Д.	530	Рибчинський Д.А.	259	.....	901
.....	605	Рижков О.В.	174	.....	902
Подлесний О.В.	627	Римаришина А.О.	255	.....	905
Подригало М.А.	590	.....	873	Сеник Ю.А.	179
Подчерніна В.О.	776	Рогаль Р.В.	257	.....	906
Поздняков В.В.	529	Росенко О.М.	691	Сербінов І.А.	734
Пойда Р.В.	268	.....	695	Серветник Д.О.	258
Поливаний С.В.	640	Ролін І.Ф.	41	Сергієв С.В.	189
Поливанюк В.В.	830	Романчев А.М.	47	Сергієнко А.О.	65
Поліщук А.М.	178	Романчук М.П.	550	Сергієнко М.С.	887
Поліщук В.В.	586	.....	551	Середюк Б.О.	627
Поліщук С.В.	380	Романюк О.А.	830	.....	727
Полоз О.А.	628	Ротарь А.Г.	779	Сиворакша Д.В.	68
Поляков А.Ю.	261	Рудаков С.В.	254	.....	123
Помогайбо В.В.	425	.....	770	Сидорчук О.Л.	255
.....	960	Рудковський О.М.	35	.....	480
Пономаренко О.А.	594	.....	800	Силенко Я.Ю.	781
Пономарьов І.Г.	35	Рудницький В.М.	184	Симітко С.О.	379
Пономарьов Ю.Д.	700	.....	556	Симотюк М.М.	904
Попов А.Є.	38	Рудницький С.В.	174	.....	905
Попов С.Є.	586	Рябчук М.О.	889	Синицький Л.М.	608
Поринос Є.О.	246	С		Сироїжка І.О.	64
Потапов О.І.	266	Савенко О.В.	701	Сисоєнко С.В.	263
Потрап О.А.	65	Савченко О.С.	586	.....	266
Походенко О.М.	264	Савчук Д.В.	127	Сичевський Ю.О.	592
.....	265	Сай В.М.	128	.....	873
Присяжний А.Є.	682	Салій А.Г.	585	Сідаш А.В.	22
Приходько Д.П.	824	Салій І.Ю.	831	.....	23
Прогонюк С.В.	573	Салогор В.В.	428	Сіденко О.В.	184
Процюк Р.І.	835	.....	646	Сікан Ю.В.	699
Прядко Н.С.	536	.....	803	Сікірда Ю.В.	64
Пугач А.В.	43	Самойленко О.В.	552	Сімченко С.А.	259
Пуховий О.В.	379	Сап'яненко М.О.	595	Скиба О.В.	776
Пшенична О.О.	39	Сап'ічев М.М.	323	Скляр О.В.	29
Пятова Ю.О.	428	Сарапін Ю.О.	584	Скляр О.І.	183
Р		Саутін О.О.	962	Скосирев А.Ю.	122
Радзіковський С.А.	479	Сацок Д.В.	536	Слюсар А.О.	187
.....	697	Сащук І.М.	903	.....	381
Раєвський О.В.	679	Світенко М.І.	774	Сметанін К.В.	633
Ракушев М.Ю.	547	.....	775	Смиченко Є.О.	586
Рарог Р.М.	779	Святченко В.	946	Смолінський Ю.І.	840
Ратушний С.В.	263	Селєзньов С.В.	531	.....	841
Рачкінда В.А.	638	Семироз А.О.	774	Смолянець Ю.О.	636
Рашевський С.Ю.	121	.....	775	Соболяк О.В.	687
.....	123	Семон Б.Й.	583	.....	688
Редька В.В.	557	Сеник А.П.	178	.....	689

Совік В.В.	38	Тимчук В.Ю.	903	Фтемов Ю.О.	837
Сокульська Н.Б.	834	.....	906	.....	898
.....	897	Титаренко О.Б.	26	.....	901
.....	898	Тихоцька Н.Р.	833	Фургес О.О.	35
.....	899	Тичков Д.В.	962	Х	
.....	906	Тишко С.О.	532	Хажанець Ю.А.	427
Сорокатиий М.І.	177	Тітов І.В.	267	Халахур В.П.	681
.....	477	Ткач Л.О.	190	Хом'як К.М.	589
.....	836	Ткаченко К.М.	524	Хомчук В.Я.	638
Сохань С.В.	181	Ткачов В.В.	24	Худоба В.В.	906
Сохін П.А.	730	.....	425	Хуторна М.Е.	121
Спірін Д.А.	622	Ткачук П.В.	588	.....	122
Ставісюк Р.Л.	473	Тлустий А.О.	728	.....	123
Стаднічук О.М.	835	Токайчук І.С.	682	.....	184
Степаненко О.В.	651	Токар А.М.	258	Ц	
Степанов Г.С.	24	Токар І.А.	125	Целіщев Ю.П.	583
.....	29	Толмач Г.А.	778	Циганков П.М.	37
Степанов О.В.	553	.....	783	Цицик М.В.	800
Степанюк О.І.	178	Тракалюк О.Л.	802	Цісарж В.В.	489
Стеценко С.М.	770	Трегуб Н.С.	636	Цура Е.І.	174
Стешенко П.М.	260	Триснюк Т. В.	906	.....	380
.....	262	Тріфанов В.О.	687	Ч	
Столяренко М.П. ...	190	.....	688	Чаган Ю.А.	34
Стояновський Д.А.	587	.....	689	.....	36
Стреляний Б.О.	606	Трофименко С.І.	532	Чалий М.Г.	802
.....	839	Трофіменко Д.О. ...	592	Чалий С.В.	526
Стригун В.В.	621	Труш А.В.	888	Чаплигін К.Є.	730
Ступка Б.А.	265	Тулуб А.Ю.	41	.....	731
.....	266	Тюренков А.А.	826	Чемерис Є.І.	188
Супрун В.О.	272	Тюрін В.В.	585	Червотока О.В.	486
Сусол Н.Ю.	628	У		Череватенко К.А. ...	731
Сухар В.В.	556	Удніков О.М.	778	Чередніков О.М.	486
Сухомлинова О.	907	.....	783	.....	643
Сушин І.О.	426	Удовенко А.О.	29	.....	908
Т		Ульянець О.А.	730	Чернега В.А.	382
Табан Т.С.	856	.....	731	Чернозубкін І.О.	65
Табурець І.І.	555	Усенко С.М.	652	Чиж О.В.	840
Тарасенко Я.В.	486	Ф		Чистов В.І.	246
Тварковська А.А.	798	Фатєєв О.В.	689	Чіпера В.В.	640
Тварковська О.В. ...	798	Феденько В.М.	804	Чорний В.С.	621
Терещенко О.М.	772	Федик А.О.	39	Чорний О.П.	474
Терещук М.М.	190	Федоров О.Ю.	34	.....	733
Тимченко О.С.	324	.....	37	Чорня І.І.	33
Тимчук В.Ю.	31	Філіпський А.Ю. ...	831	Чумаченко А.В.	679
.....	474	Філюнкін Є.В.	27	Чумаченко С.М.	67
.....	479	Фомін А.В.	533	.....	552
.....	769	Франжі О.В.	550	Ш	
.....	902	Фриз С.П.	45	Шабанов Д.М.	803

Шабанова О.В.....	775	Шинкаренко О.М. .	534	Я	
.....	776	Шкурат Б.Ж.....	322	Яблонський П.М. ...	584
.....	777	Шматов Є.М.	548	Якименко Т.П.	625
Шабатура Ю.В.....	528	Шмельова Т.Ф.....	259	Якимович О.О.....	775
Шадура Д.В.	47	Шостак Р.Г.	830	.....	777
Шапран О.І.	586	Шульгін А.А.....	553	.....	778
Шарапа В.В.	769	Щ		Якобінчук О.В.....	424
Швай В.Т.	35	Щенякін Д.О.....	535	Яловець А.Л.	44
Шевченко Д.Т.....	68	Щигло В.О.....	653	Яременко С.В.....	26
.....	776	Щипанський П.В.	22	Яровенко В.В.	273
Шевченко Д.Т.....	908	.....	23	Яровий В.С.....	772
Шевчук В.М.....	840	.....	379	Ярошенко А.С.....	116
Шевчук П.С.	675	Ю		Ярошенко Я.В.	28
Шельвестер В.Я.	45	Юла О.В.	380	.....	115
Шеремет І.А.....	646	.....	621	.....	116
Шикуча Р.Р.	606	Юнда Д.В.	625	Ясенко Л.С.	641
.....	839	Юрченко А.Д.....	909	Ясинецький В.П.	424
Шикун К.В.....	670	Юрченко Р.В.	35	Ячна І.Г.	487
Шинкар Є.В.	589	Юфа Є.А.....	586	Ящук С.В.	525
		Ющенко Ю.М.....	772		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ – ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

XXII МІЖНАРОДНА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ПОВІТРЯНИХ СИЛ ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

Відповідальний за випуск *К.С. Васюта*

Комп'ютерна верстка *О.В. Беспалько*

Комп'ютерний дизайн обкладинки *П.В. Беляєв*

Техн. редактор *О.В. Беспалько*

Коректор *С.В. Климченко*

Формат 60 × 84/16

Ум.-друк. арк. – 54

Підписано до друку 24.03.2026

Ціна договірна

Тираж 300 пр.

Зам. 19-14

Видавництво Харківського національного університету

Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5370 від 30.06.2017 р.

Адреса видавництва: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ТОВ “Майдан”

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців і розповсюджувачів видавничої продукції ДК №1002 від 31.07.2002 р.

61002, Харків, вул. Чернишевська, 59

тел. (057) 700-37-30 e-mail: maydan.stozhuk@gmail.com
