

О.М. Гусяков

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Київ

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ РОЗМІНУВАННЯ

На підґрунті аналізу виконання заходів з розмінування та існуючих методів щодо висування вимог до озброєння та військової техніки запропоновано підхід до обґрунтування: тактико-технічних вимог і технічного обриса робототехнічного комплексу розмінування, оптимальної комбінації пристроїв спеціального обладнання виявлення та знешкодження вибухонебезпечних пристроїв, а також раціональних характеристик пристроїв дистанційного виявлення та знешкодження вибухонебезпечних пристроїв. Викладено зміст основних етапів методики комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування.

Ключові слова: обґрунтування вимог, робототехнічний комплекс розмінування, вибухонебезпечні пристрої, тактико-технічні вимоги, математична модель.

Вступ

Аналіз сучасних збройних конфліктів виявив низку питань, пов'язаних з інженерним забезпеченням бойових дій, а саме: необхідність збільшення темпів пересування й маневру військ, забезпечення їх мобільності та мінної безпеки. Різноманіття типів вибухонебезпечних пристроїв (ВНП) з використанням сучасних вибухових речовин і підривачів, зміна тактики їх застосування в умовах ведення терористами “мінної війни” спонукає до пошуку нових методів та ефективних засобів розмінування шляхів руху, місцевості та об'єктів. Особливо актуальним це питання є в при забезпеченні адекватної протидії мінно-вибуховим загородженням (МВЗ) противника, необхідності підвищення ефективності виконання бойових і спеціальних завдань [1–2].

Постановка проблеми. Як показав аналіз виконання заходів з бойового та гуманітарного розмінування, виконання антитерористичних і спеціальних операцій, існуючі засоби є технічно та морально застарілими, малоефективними під час виконання бойових завдань у сучасних умовах. Тому на цей час у світі особливу увагу приділяють розробці рухомих робототехнічних комплексів розмінування (РТКР) для дистанційного безпечного виявлення та знешкодження ВНП, які дозволяють суттєво підвищити можливості інженерних підрозділів.

З метою створення вітчизняних зразків РТКР перед розробниками виникла гостра необхідність у наукових дослідженнях за відповідним напрямом, тобто розв'язання науково-технічної задачі з комплексного обґрунтування вимог до спеціального обладнання РТКР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз попередніх досліджень щодо мінування, розмінування та обґрунтування вимог показав, що в

них [3–11] досліджувались питання ефективності окремих засобів розмінування, способи подолання МВЗ, особливості протимінного захисту озброєння та військової техніки (ОВТ). Ці дослідження носили вузьконаправлений характер і давали задовільні результати лише для окремих етапів розмінування [3–5], забезпечення протимінного захисту ОВТ [8], обґрунтування вимог і параметрів до окремих зразків і систем ОВТ [9–11]. Але дослідження щодо формування вимог до засобів дистанційного виявлення й знешкодження ВНП, вимог до структури (технічного вигляду) перспективного РТКР у цілому не проводились, а, отже, і відповідний науково-методичний апарат обґрунтування відсутній.

Мета статті. Враховуючи вищезазначене, а також те, що в плані обґрунтування вимог до основних функціональних показників РТКР вирішено лише часткові задачі, **метою статті** є висвітлення підходу щодо формування технічного обриса перспективного зразка та розроблення методики комплексного обґрунтування вимог до спеціального обладнання РТКР.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для ефективного виконання складних і різноманітних завдань з розмінування РТКР мають відповідати певним вимогам, що враховують особливості їх бойового використання при існуючому рівні розвитку засобів мінної зброї. Обґрунтування вимог до РТКР необхідно здійснювати, виходячи з оцінок ефективності окремого засобу, у складі інженерної системи підрозділу в цілому. Ефективність РТКР у залежності від виконання завдань може оцінюватися за різними критеріями і показниками: завданій або відвернений збиток, імовірність успішного вико-

нання бойового завдання, втрата техніки або особового складу.

Через те, що розмінування та подолання МВЗ наділено багатьма процесами, факторами та умовами виконання, у роботі приймемо обмеження щодо дослідження способів пошуку, виявлення та знищення (знешкодження) ВВП тільки засобами, які можливо встановлювати на ОВТ, а також щодо ви-

конання завдань РТКР під час супроводження військових колон.

Для досягнення поставленої мети необхідно врахувати особливості взаємодії РТКР з ВВП та навколишнім середовищем шляхом проведення декомпозиції функціонування РТКР (рис. 1). При формалізації розмінування виділено базові процеси, мета функціонування та підсистеми РТКР, в яких вони реалізуються.

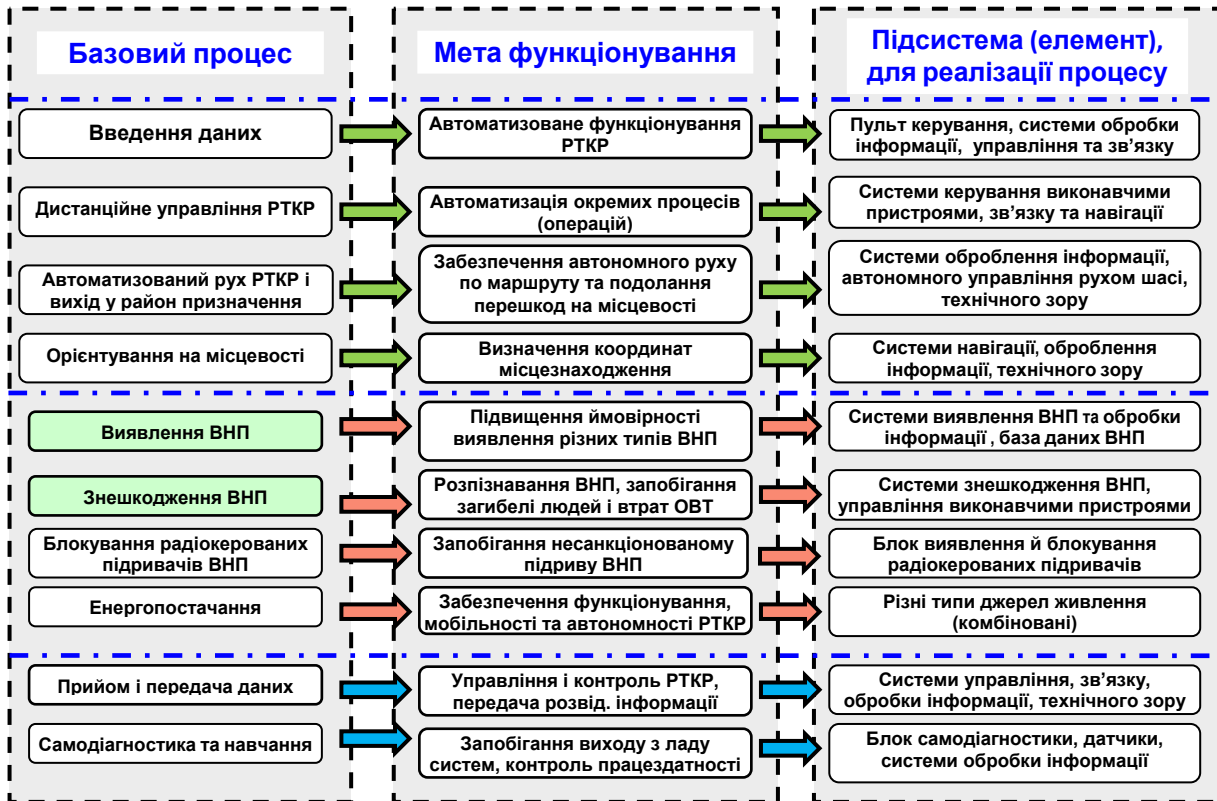


Рис. 1. Структура декомпозиції процесів розмінування за допомогою робототехнічного комплексу розмінування

Наявні умови застосування засобів розмінування характеризуються низькими темпами виконання завдань через організаційно-технічні витрати часу, зростаючими обсягами завдань з розмінування переважно ручними засобами, неможливістю забезпечення високопродуктивними, уніфікованими засобами розмінування через велику потребу та вартість.

Разом з тим у залежності від складності обстановки необхідними умовами застосування РТКР є: значне зменшення витрати часу реагування на виникаючі загрози з боку ВВП; зменшення кількості засобів пошуку, виявлення, знищення (знешкодження) ВВП; використання високопродуктивних засобів модульного типу; врахування різної складності обсягів виконуваних завдань розмінування наявним ресурсом.

Відповідно до сформульованої мети дослідження представлена структурна схема алгоритму

комплексного обґрунтування вимог до РТКР (рис. 2).

Запропонована методика передбачає чотири етапи.

На першому етапі проводиться: формалізація умов бойового застосування мінної зброї у сучасних збройних конфліктах; аналіз розвитку засобів і комплексів розмінування, принципів їх побудови та перспективних напрямів розвитку; аналіз попередніх досліджень щодо мінування та розмінування, нормативних документів, які регламентують вимоги до показників якості розмінування; визначення факторів, що впливають на функціонування РТКР.

За результатом аналізу обґрунтовується доцільність розроблення визначених типів РТКР, визначаються особливості тактики застосування ВВП, здійснюється вибір часткових і узагальнених функціональних показників РТКР на підставі декомпозиції процесу функціонування РТКР.

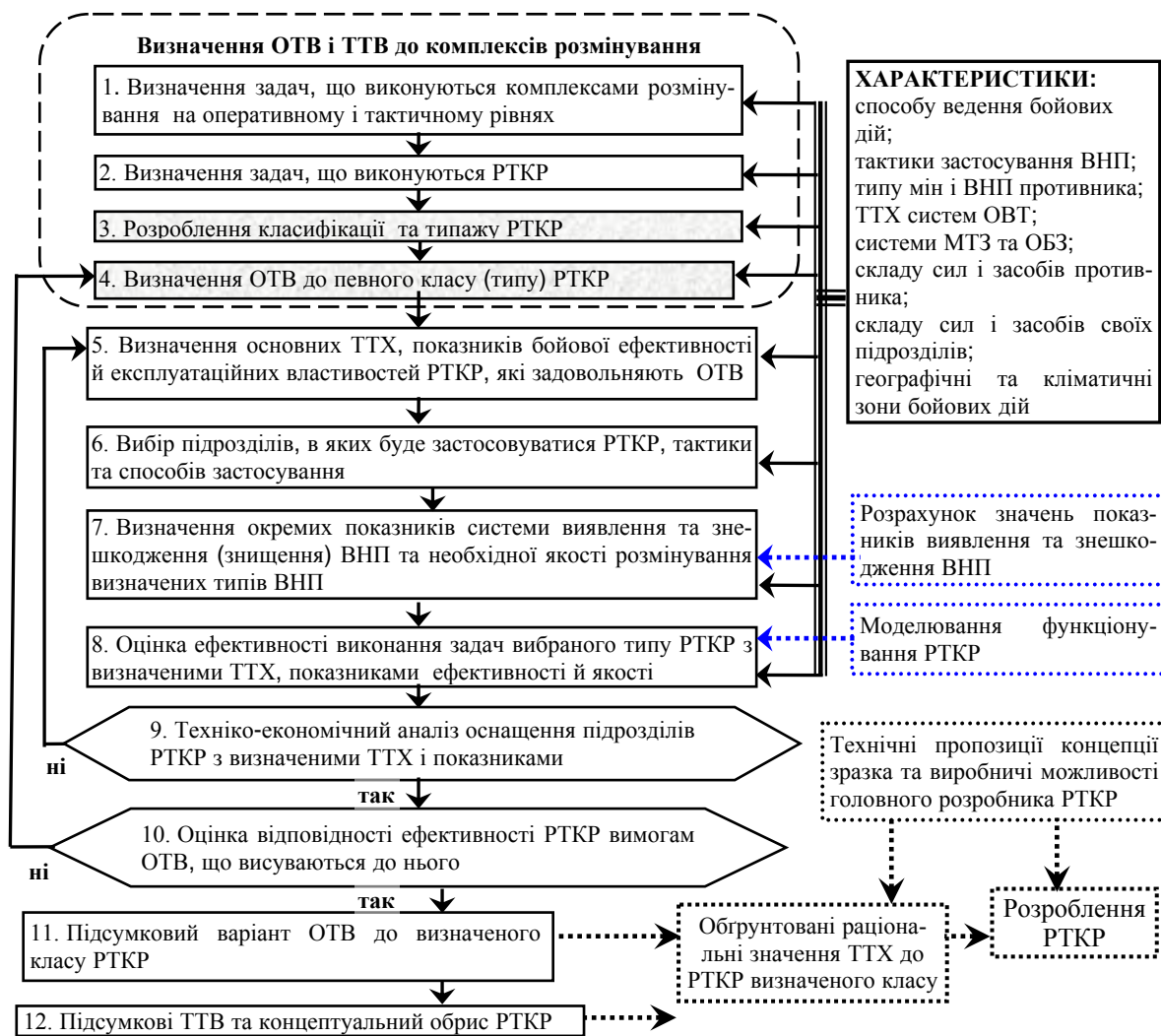


Рис. 2. Структурна схема алгоритму комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування

Як часткові показники ефективності засобів виявлення обрано: імовірність попадання ВВП в зону дії пошукового пристрою, імовірність виявлення одиночного ВВП різними методами; імовірність знешкодження ВВП маніпулятором, імовірність влучення уражаючого елемента в корпус ВВП; імовірність знищення ВВП уражаючим елементом, кількість пристроїв виявлення та знешкодження ВВП, якими обладнаний РТКР. Як узагальнений показник обрано показник у вигляді математичного сподівання числа виявлених і знешкоджених типових ВВП на певній ділянці маршруту руху. Це дозволяє на основі описання основних етапів розмінування РТКР з урахуванням умов його застосування визначити сукупність часткових показників. Зазначений системний підхід дозволяє встановити залежності часткових показників ефективності від характеристик підсистем РТКР, а також отримати необхідний обсяг даних відносно ступеню досягнення заданої мети функціонування.

На другому етапі: розроблюються структурна модель та алгоритм функціонування РТКР, математичні моделі (ММ) виявлення та знешкодження ВВП різними способами і методами; здійснюється формалізація етапів розмінування РТКР шляхом теоретичного дослідження розроблених ММ; проводиться вибір показників і критеріїв ефективності функціонування РТКР. Основні показники системи виявлення ВВП визначені в рамках досліджень: імовірність виявлення ВВП індукційним, радіохвильовим і оптико-електронним (ОЕ) способом.

Як приклад наведено удосконалення ММ виявлення ВВП ОЕ способом [5; 12], що враховує: динаміку зміни яскравості та контрасту фону, можливість виявлення об'єктів на фоні "шуму", можливість виявлення та ідентифікації (розпізнавання, селекції) ВВП шляхом автоматичної обробки сигналів системою технічного зору (СТЗ) РТКР. Схема виявлення ВВП ОЕ способом, що використовується в ході досліджень, зображена на рис. 3.

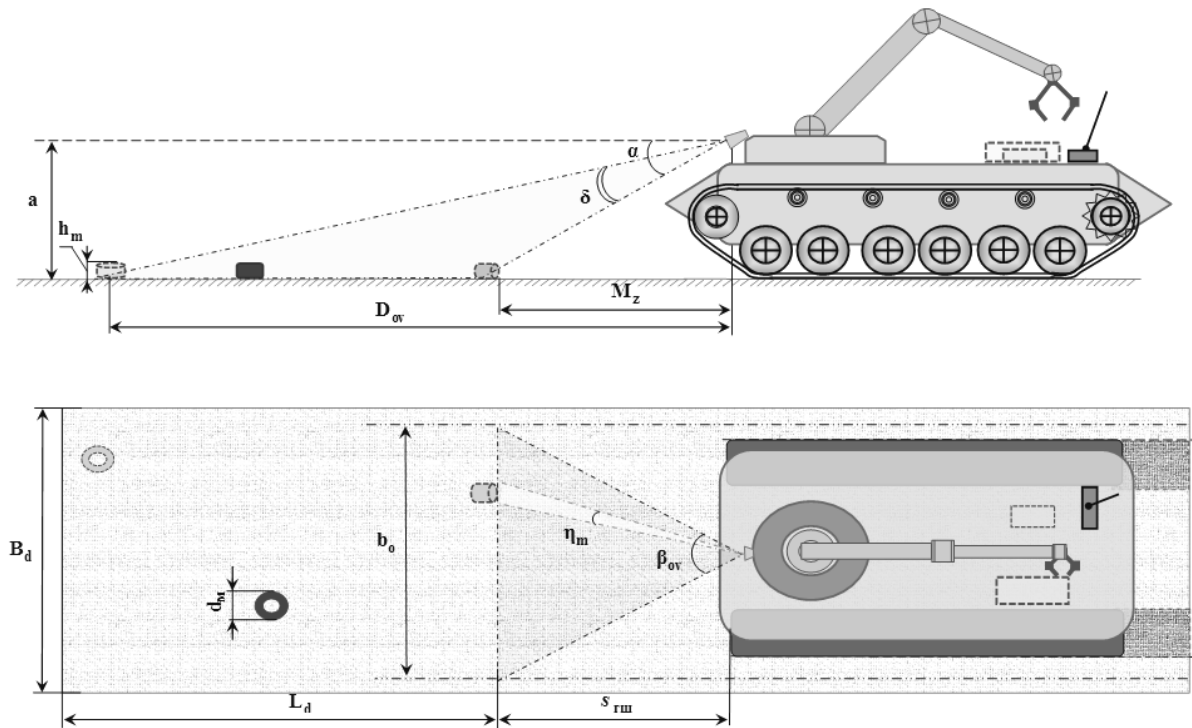


Рис. 3. Схема виявлення вибухонебезпечних пристроїв оптико-електронним способом

Згідно зі схемою (рис. 3) імовірність виявлення ВВП при умові їх потрапляння в зону дії пошукової ОЕ СТЗ обчислюється за формулою [5]:

$$P_{OE} = 1 - \exp(-\lambda_{iv} t_{zn}), \quad (1)$$

де λ_{iv} – інтенсивність виявлення ВВП, c^{-1} ;

t_{zn} – час знаходження ВВП в зоні дії пошукової СТЗ, с.

За умови, якщо пошук ВВП здійснюється на одному фоні навколишнього середовища з яскравістю L_ϕ , згідно з [12] розрахунок імовірності виявлення ВВП оптико-електронним методом пропонується здійснювати за формулою

$$P = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де t – час виявлення ВВП оптико-електронним способом;

λ – інтенсивність виявлення ВВП, яка дорівнює

$$\lambda = \frac{CK^2 \gamma^3 L_\phi^{0,3}}{(2\beta)^2}, \quad (3)$$

де C – коефіцієнт, бінокулярного зору оператора РТКР;

K – коефіцієнт контрасту ВВП з фоном місцевості;

γ – кутовий розмір ВВП;

L_ϕ – яскравість фону;

β – розмір поля зору через оптичний прилад.

Запропоновані в ММ удосконалення та послідовності проведення розрахунків дозволяють під-

вищити точність результатів моделювання процесу пошуку та виявлення ВВП, розрахувати ймовірність виявлення і розпізнавання ВВП, обґрунтувати вимоги до ОЕ пошукових пристроїв (ширина зони дії, зони гарантованого виявлення ВВП, час виявлення ВВП, швидкість руху під час виявлення ВВП).

Основними показниками системи знешкодження в ході досліджень визначено: імовірність знищення ВВП ударним способом та ймовірність знешкодження ВВП маніпулятором РТКР.

Згідно із запропонованим вище підходом у ході досліджень здійснено удосконалення та розроблення ММ виявлення ВВП різними способами. Це дозволило отримати нові розрахункові залежності, визначити діапазон їх допустимих значень і дозволить у подальшому з більшою ймовірністю виявити та ідентифікувати різні типи ВВП як у ґрунті, так і на поверхні.

На третьому етапі: обґрунтовуються вимоги до функціональних показників засобів виявлення та знищення (знешкодження) ВВП на основі ММ та експериментальних досліджень; визначається номенклатура основних вимог до спеціального обладнання РТКР.

На заключному етапі проводиться: моделювання функціонування РТКР з використанням програмного середовища; оцінка бойової ефективності РТКР; розроблення рекомендацій щодо технічного обрису, раціональних параметрів та основних вимог до РТКР; техніко-економічна оцінка впровадження запропонованих рекомендацій.

Висновки

Запропонований підхід дозволить реалізувати розв'язання низки різнопланових дослідницьких задач щодо розроблення способів дистанційного виявлення та знешкодження ВВП, обґрунтування раціональних характеристик пристроїв дистанційно-

го виявлення та знешкодження ВВП, обґрунтування тактико-технічних вимог до комплексів розмінування, вибору оптимального проектно-технічного рішення та технічного обрисів вітчизняного робототехнічного комплексу розмінування.

Список літератури

1. Інформаційний бюлетень з протимінної діяльності у ході проведення АТО у Донецькій та Луганській областях. – К.: ГУОЗ, 2014. – 16 с.
2. Маланчук А.М. Обґрунтування напрямів удосконалення протидії застосуванню саморобних вибухових пристроїв / А.М. Маланчук, О.О. Білобородов, Д.С. Завадський, Г.В. Рибалка, О.О. Скопінцев // *Озброєння та військова техніка: щокв. наук.-техн. журн.* – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2016. – № 1(45). – С. 41-46.
3. Коцюруба В.І. Комплексне моделювання процесу розмінування із використанням засобів інженерного озброєння / В.І. Коцюруба, М.О. Шишанов, О.М. Гусяков // *Озброєння та військова техніка: щокв. наук.-техн. журн.* – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2014. – № 4. – С. 42-44.
4. Щербаков Г.Н. Новые методы обнаружения скрытых объектов: монография / Г.Н. Щербаков, М.А. Анцелевич. – М.: ООО Эльф ИПР, 2011. – 503 с.
5. Денисенко О.М. Математична модель виявлення мін та фугасів екіпажем легких броньованих машин оптичним методом при візуальному пошуку / О.М. Денисенко // *Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвід. наук.-техн. збірн.* – К., 2005. – Вип. №75. – С. 216-221.
6. Денисенко А.М. Методика оценки защищающей способности системы активной противоминной защиты легких бронированных машин / А.М. Денисенко // *Артиллерийское и стрелковое вооружение.* – К., 2007. – № 2. – С. 3-8.
7. Бісик С.П. Теоретична оцінка протимінної стійкості багатозадачного тактичного автомобіля «Козак-2» / С.П. Бісик, І.Б. Чепков, М.І. Васківський, Л.С. Давидовський, В.Г. Корбач, О.М. Висоцький, Д.М. Захаревич // *Озброєння та військова техніка: щокв. наук.-техн. журн.* – К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ. – 2016. – №1 (9). – С. 26-31.
8. Бісик С.П. Мінна війна. Напрями вдосконалення протимінного захисту бойових броньованих машин / С.П. Бісик, Л.С. Давидовський // *Defense express.* – К., 2016. – Вип. №7-8. – С. 36-39.
9. Гриб Д.А. Системно-концептуальні основи і елементи методології формування оперативного-тактичних і тактико-технічних вимог, що пред'являються до перспективних зразків озброєння і військової техніки та зразків, що модернізуються / Д.А. Гриб, Б.О. Демідов, М.В. Науменко // *Системи озброєння і військова техніка.* – 2009. – № 2 (18). – С. 65-73.
10. Купріненко О.М. Обґрунтування тактико-технічних вимог до перспективних зразків озброєння та військової техніки з використанням нечітких множин / О.М. Купріненко, В.А. Голуб // *Військово-технічний збірник.* – 2009. – № 1. – С. 43-46.
11. Ланецкий Б.Н. Порядок обоснования оперативно-тактических требований к системе зенитного ракетного вооружения и ее структурным компонентам / Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, И.Г. Кириллов, И.М. Николаев // *Системи озброєння і військова техніка.* – 2014. – №1 (37). – С. 51-55.
12. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска / Н.П. Травникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.

References

1. Gholovne upravlinnja operatyvnogho zabezpechennja (2014), “*Informacijnyj bjuletenj z protyminnoji dijajlnosti u khodi provedennja ATO u Doneckijj ta Lughanskijj oblastjakh*” [Newsletter of mine action in the course of ATO in Donetsk and Luhansk regions], Kyiv, 16 p.
2. Malanchuk, A.M., Biloborodov, O.O., Zavadsjkyj, D.S., Rybalka, Gh.V. and Skopincev, O.O. (2016), “Obgruntuvannja naprjamiv udoskonalennja protydiji zastosuvannju samorobnykh vybukhovyykh prystrojiv” [Substantiation of directions for improving the counteraction to the use of improvised explosive devices], *Weapons and Military Equipment: quarterl scientific journal*, No. 1 (45), pp. 41-46.
3. Kocjuruba, V.I., Shyshanov, M.O. and Ghusljakov, O.M. (2014), “Kompleksne modeljuvannja procesu rozminuvannja iz vykorystannjam zasobiv inzhenernogho ozbrojennja” [Complex modeling of mine neutralization using engineering weapons], *Weapons and Military Equipment: quarterl scientific journal*, No. 4, pp. 42-44.
4. Scherbakov, G.N. and Antselevich, M.A. (2011), “*Novyye metody obnaruzheniya skryityih ob'ektov: monografiya*” [New methods of detecting hidden objects: monograph], ООО Elf IPR, Moscow, 503 p.
5. Denisenko, O.M. (2005), “*Matematychna modelj vyjavlennja min ta fughasiv ekipazhem leghkykh bronjovanykh mashyn optychnym metodom pry vizualjnomu poshuku*” [Mathematical model of detection of mines and bombs by the drivers of light armored vehicles by an optical method during a visual search], *Prikladna geomtrriya ta inzhenerna grafika*, No.75, pp. 216-221.
6. Denisenko, A.M. (2007), “*Metodika otsenki zaschischayushey sposobnosti sistemy aktivnoy protivominnoy zaschityi legkih bronirovannykh mashin*” [Method of evaluation of the protective capacity of the active anti-mine protection system for light armored vehicles], *Artillery and Rifle Armaments*, No. 2, pp. 3-8.
7. Bisyk, S.P., Chepkov, I.B., Vasjkivskyj, M.I., Davydovs'kyj, L.S., Korbach, V.Gh., Vysoc'kyj, O.M. and Zakharevych, D.M. (2016), “*Teoretychna ocinka protyminnoji stjivosti baghatociljovogho taktychnogho avtomobilja “Kozak-2”*” [Theoretical assessment of the anti-mine protection of the multi-purpose tactical vehicle “Kozak-2”], *Weapons and Military Equipment: quarterl scientific journal*, No. 1 (9), pp. 26-31.

8. Bisyk, S.P. and Davydovskiy, L.S. (2016), "Minna vjna. Naprjamy vdoskonalennja protyminnogho zakhystu bojovykh bronjovanykh mashyn" [Mine War. Directions of improvement of anti-mine defense of combat armored vehicles], *Defense Express*, No. 7-8, pp. 36-39.

9. Ghryb, D.A., Demidov, B.O. and Naumenko, M.V. (2009), "Systemno-konceptualjni osnovy i elementy metodologhiji formuvannja operativno-taktychnykh i taktyko-tekhnichnykh vymogh, shho pred'javljajutsja do perspektyvnykh zrazkiv ozbrojennja i vijsjkovoji tekhniki ta zrazkiv, shho modernizujutsja" [System-conceptual bases and elements of methodology of forming of the operatively-tactical and tactically-technical tactical requirements produced to the perspective and modernized standards armt], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2 (18), pp. 65-73.

10. Kuprynenko, O.M. and Gholub, V.A. (2009), "Obghruntuvannja taktyko-tekhnichnykh vymogh do perspektyvnykh zrazkiv ozbrojennja ta vijsjkovoji tekhniki z vykorystannjam nechitkykh mnozhyn" [Ground of requirements to the perspective standards of armament and military technique with the use of fuzzy sets], *Military Technical Collection. National Academy of Ground Forces*, No. 1, pp. 43-46.

11. Laneckiy, B.N., Lukjjanichuk, V.V., Kyrillov, Y.Gh. and Nykolaev, Y.M. (2014), "Poryadok obosnovaniya operativno-takticheskikh trebovaniy k sisteme zenitnogo raketnogo vooruzheniya i ee strukturnym komponentam" [Order of grounding the operational & tactical requirements to the system of surface-to-air missile armaments and its structural components is proposed], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1 (37), pp. 51-55.

12. Travnikova, N.P. (1985), "Effektivnost vizualnogo poiska" [Efficiency of visual searching], *Mashinostroenie*, Moscow, 128 p.

Надійшла до редколегії 26.04.2018

Схвалена до друку 19.06.2018

Відомості про автора:

Гусяков Олег Михайлович
старший науковий співробітник
Центрального науково-дослідного інституту озброєння
та військової техніки Збройних Сил України,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>

Information about the author:

Oleg Gusliakov
Senior Research Associate
of Central Research Institute of Armament
and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3893-9465>

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ОБОСНОВАННЯ ТРЕБОВАНИЙ К РОБОТОТЕХНИЧЕСКОМУ КОМПЛЕКСУ РАЗМИНИРОВАНИЯ

О.М. Гусяков

На основе анализа выполнения мероприятий по разминированию и существующих методов относительно выдвижения требований к вооружению и военной технике, предложен подход к обоснованию: тактико-технических требований и технического облика робототехнического комплекса разминирования, оптимальной комбинации специального оборудования обнаружения и обезвреживания взрывоопасных устройств, а также рациональных характеристик устройств дистанционного обнаружения и обезвреживания взрывоопасных устройств. Изложено содержание основных этапов методики комплексного обоснования требований к робототехническому комплексу разминирования.

Ключевые слова: обоснование требований; робототехнический комплекс разминирования; взрывоопасные устройства, тактико-технические требования, математическая модель.

METHOD OF JUSTIFICATIONS OF REQUIREMENTS FOR THE ROBOTIC DEMINING COMPLEX

O. Gusliakov

Based on the analysis of the implementation of demining and existing methods for demanding requirements for weapons and military equipment, the approach to justification is proposed: the tactical and technical requirements and technical outline of the robotic demining complex, the optimal combination of devices for special equipment for the detection and disposal of explosive objects, as well as rational characteristics of devices for remote detection and disposal of explosive devices. The content of the main stages of the methodology of the complex justification of requirements for the robotic complex of demining is described.

Depending on the particular qualities of the environment and the complexity of the combat situation, the necessary conditions for the use of robotic demining complexes are: a significant reduction in the response time for threats from explosive devices, a reduction in the number of search and destruction of explosive devices, the use of multisensory and high-performance modular facilities. Taking into account the particular qualities of the interaction of the robotic demining complex with explosive devices and the environment, the decomposition and formalization of the demining stages have been made to identify the basic processes, the purpose of the operation and the subsystem of the robotic complex in which they are implemented. The dependence of performance indicators on functional indicators and key characteristics have also been determined. As a generalized indicator of the efficiency of the robotic demining complex, the indicator in the form of a mathematical expectation of the number of detected and the number of neutralized typical explosive devices in a certain section of the route is selected. The scheme of detection of explosive devices is presented, which is used during the improvement of the mathematical model of detection of explosive devices by the optoelectronic method.

The proposed methodological approach will allow domestic researchers and developers to systematically solve a complex of engineering tasks of justifications of requirements and developing of various types of highly effective robotic complexes for combat and humanitarian demining.

Keywords: justifications of requirements; robotic demining complex; explosive devices, tactical and technical requirements, mathematical model.