

## СЕКЦІЯ 8

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ З УРАХУВАННЯМ ДОСВІДУ ПРОВЕДЕННЯ ООС

Керівники секції: полковник С.А. Юхновський;  
д.т.н. проф. полковник В.І. Васишин  
Секретар секції: майор В.В. Захарченко

#### СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

*С.А. Юхновський<sup>1</sup>; К.С. Васюта<sup>2</sup>, д.т.н., проф.;*  
*О.Л. Кацшин<sup>2</sup>; В.О. Шумейко<sup>3</sup>, к.т.н.*

<sup>1</sup>*Командування Повітряних Сил Збройних Сил України;*

<sup>2</sup>*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба;*

<sup>3</sup>*Головне управління розвідки Збройних Сил України*

Одним з специфічних видів оперативного (бойового) забезпечення бойових дій авіації є радіотехнічне забезпечення, яке являє собою комплекс заходів, спрямованих на своєчасне формування інформації про повітряну обстановку та видачі її на пункти управління і екіпажам повітряних суден та забезпечення їх навігації, зльоту та посадки. До складу радіотехнічного забезпечення входять радіолокаційне та радіо світлотехнічне забезпечення.

Аналіз авіаційних інцидентів, які відбулися під час виконання планових польотів, за останні декілька місяців в Повітряних Силах Збройних Сил України, визначив необхідність забезпечення високого рівня безпеки польотів, на етапі посадки польоту та впроваджувати більш жорстокі вимоги до точності літаководіння, та встановлювати на аеродромах більш сучасні радіотехнічні засоби посадки.

Після проведеного аналізу авіаційних катастроф, які сталися під час виконання планових навчальних та навчально-бойових польотів, за останні декілька місяців в Повітряних Силах Збройних Сил України, в тому числі, під час проведення міжнародних навчань "ЧИСТЕ НЕБО – 2018", з залученням іноземних повітряних суден та пілотів, стає зрозуміло, що для забезпечення високого рівня безпеки польотів на етапі посадки польоту необхідно впроваджувати більш жорстокі вимоги до точності літаководіння та встановлення на аеродромах більш сучасних радіотехнічних засобів посадки.

У доповіді представлено результати аналізу існуючих радіолокаційних систем посадки та досвід іноземних систем, що забезпечують безпеку повітряного руху в районі аеродрому, та наступні завдання що потрібно вирішувати для забезпечення високого рівня безпеки польотів:

– під час зльоту та посадки ПвС потрібно забезпечити контроль повітряного простору, щодо неможливості використання, як санкціонованих так і несанкціонованих БПЛА в районі аеродрому, що забезпечить підвищення рівня безпеки польотів на етапі посадки ПвС;

– розробка радіолокаційних засобів виявлення та оцінки параметрів

радіолокаційних цілей з малою ефективною площею розсіювання в районі аеродрому.

Визначені напрямки та сформовані завдання для подальших досліджень розвитку існуючих радіолокаційних систем посадки, за рахунок підвищення роздільної здатності в умовах дії поодиноких БПЛА або їх згущення в районі аеродрому, що погіршують сигнально-завадову обстановку.

### **ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ В OFDM СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ З ВИКОРИСТАННЯМ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

*В.І. Василюшин, д.т.н., доц.; В.В. Лютов; В.В. Чекунов; І.В. Дзюба  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

На сьогоднішній день покращення характеристик засобів радіозв'язку може досягатися шляхом використання таких телекомунікаційних технологій як MIMO (multiple input- multiple output), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), їх модифікацій та комбінацій, підходів, що використовуються в адаптивних антенних решітках.

Ефективність систем радіозв'язку з OFDM найвища у випадку наявності інформації про стан каналу зв'язку. Така інформація, зазвичай, отримується шляхом оцінювання стану каналу зв'язку, яке виконується перед демодуляцією сигналів. В технічній літературі відомими є підходи по оцінці стану каналу зв'язку, основані на використанні дискретного перетворення Фурє (ДПФ), ДПФ та SVD (singular value decomposition).

В роботі запропоновано використання модифікованого методу сингулярного спектрального аналізу (SSA-singular spectrum analysis) для зниження шуму в ході попередньої обробки отриманої часової послідовності та оцінювання стану каналу зв'язку.

Результати проведеного імітаційного моделювання підтверджують зменшення імовірності бітових помилок (BER) при використанні методу SSA у порівнянні з методами LS (least squares) та MMSE (minimum mean square error). Викликає інтерес узагальнення отриманого результату на випадок MIMO-OFDM систем радіозв'язку.

### **НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ РАДІОЛОКАТОРІВ**

*О.В. Висоцький, к.т.н., доц.; Д.О. Ворона, Р.С. Костенко, В.Р. Штанов  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

На підставі аналізу завдань, характеристик, принципів будови та функціонування диспетчерських радіолокаторів (ДРЛ) вітчизняних та закордонних радіолокаційних систем посадки літаків РСР та вимог до них, а також рівня безпеки польотів державної авіації з урахуванням досвіду ведення бойових дій Повітряними Силами Збройних Сил України запропоновано напрямки удосконалення ДРЛ РСР:

– застосування когерентних методів виявлення сигналів та цифрової обробки радіолокаційної інформації; використання двох гілок технології широкосмугових зондувальних сигналів – технології ультракоротких імпульсів та технології широкосмугових модульованих сигналів типу ЛЧМ

(ФКМ) для покращення характеристик виявлення та оцінки параметрів повітряних об'єктів;

- реалізація адаптивної цифрової системи селекції рухомих цілей та створення карди завод для захисту від пасивних завод;

- розширення динамічного діапазону та реалізація миттєвої електронної перебудови частоти для захисту від активних шумових завод;

- автоматичне супроводження траєкторій руху повітряних об'єктів; обмін радіолокаційною інформацією за будь-якими каналами обміну даних в узгодженому протоколі;

- розширення інформаційних спроможностей режимів вторинної радіолокації ДРЛ (управління повітряним рухом, RBS та МкХА), а також застосуванні беззапитних методів при використанні системи автоматичного залежного спостереження.

## **ПЕРСПЕКТИВИ ПОКРАЩЕННЯ СКРИТНОСТІ КАНАЛУ НАЗЕМНОЇ ІНДИКАЦІЇ РСБН-4Н**

*В.В. Захарченко; О.О. Сокол; А.О. Власенко.*

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Під час ведення активної фази антитерористичної операції, при застосуванні авіації для виконання бойових завдань, виникла вірогідність того, що противник за допомогою засобів радіотехнічної розвідки або власних радіонавігаційних систем РСБН - 4Н може отримати координати наших літаків, а саме азимут та похилу дальність відносно радіомаяка. Саме ця інформація циркулює в каналі наземної індикації. Тому льотчики під час виконання завдань в зоні бойових дій намагались якомога менше використовувати РСБН для навігації, що ускладнювало їм виконання самої задачі. Отже виникла необхідність у підвищенні скритності каналу наземної індикації та радіомаяка в цілому.

Використання вузько спрямованих антенних систем для передачі сигналів "Ретрансляції", що містять інформацію про координати літака дозволить підвищити скритність тільки в "наземній" частині каналу, тобто в радіолінії: "радіомаяк - виносний індикатор кругового огляду". Цей метод реалізовано в РСБН Е - 329 "Окружність".

Для комплексного забезпечення скритності обміну інформацією, актуальним є використання шумоподібних сигналів замість сигналів, які застосовуються на даний час.

Застосування шумоподібних сигналів в каналі наземної індикації РСБН-4Н дозволить значно підвищити скритність самого каналу, і як наслідок, захистити інформацію про координати повітряних суден, які знаходяться в зоні дії радіомаяка від засобів радіотехнічної розвідки противника.

## **УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ (МОБІЛЬНОГО) ЗВ'ЯЗКУ ТЕХНОЛОГІЇ LTE І ЗАСОБІВ РАДІОНАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ**

*В.О. Лебедєв; О.П. Ковальчук; Я.Ю. Олещицький  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

В доповіді розглянуті напрямки удосконалення методів оцінки та прогнозування електромагнітної сумісності (ЕМС) радіоелектронних засобів (РЕЗ) рухомого (мобільного) зв'язку технології LTE і засобів радіонавігації та управління повітряним рухом (ЗН УПР).

Шляхом визначення особливостей технології LTE а саме, спектр OFDM-сигналу має множену бічних пелюсток, які повільно спадають у частотній області, що призводить до збільшення поза смугового випромінювання та призводить до часової і частотної дисперсії, що значно впливає на сигнал, що спостерігається в приймачі ЗН УПР, і ускладнює його подальшу обробку, обґрунтовано необхідність врахування впливу мережі LTE на РЕЗ ЗН УПР.

Стосовно основних напрямків удосконалення методу аналізу та прогнозування ЕМС РЕЗ рухомого (мобільного) зв'язку технології LTE і ЗН УПР розглянемо наступні:

урахування множинної взаємодії систем навігації та управління повітряним рухом і мереж рухомого (мобільного) зв'язку технології LTE шляхом побудови моделі взаємодії в міжсистемних угрупованнях РЕЗ LTE та ЗН УПР на основі особливостей їх функціонування;

удосконалення методики проведення розрахунків міжсистемної ЕМС в угрупованнях РЕЗ з використанням методів декомпозиції, суперпозиції та апроксимації спектру широкосмугового складового сигналу;

урахування впливу широкосмугового складового сигналу за основним та побічними смугами випромінювань;

експериментальне визначення допустимих рівнів заводських впливів РЕЗ LTE (захисних відношень) на засоби радіонавігації та управління повітряним рухом, які дозволяють визначити умови збереження функціональності та забезпечити прогнозування ЕМС між системами повітряної навігації та управління рухом і мережами мобільного зв'язку за технологією LTE.

## **ВЛАСТИВОСТІ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОКАНАЛУ ЗА НАЯВНОСТІ ШТУЧНИХ БЕЗОБОЛОНКОВИХ СУБСТАНТНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ**

*В.Л. Місайлов, к.т.н., с.н.с.  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

При розробці радіотехнічних систем (РТС) для оцінки впливу середовища поширення радіохвиль (ПРХ) на майбутню роботу РТС застосовують різноманітні моделі тропосфери. Вони можуть бути детермінованими або статистичними, мати різну кількість вихідних параметрів та враховувати більшу чи меншу кількість чинників, що впливають на ПРХ. Але реальні умови поширення радіохвиль можуть суттєво відрізнятись від розрахункових. Відомо, що при роботі РТС, які використовують розсіяння радіохвиль на природних неоднорідностях тропосфери, відмічаються завмирання сигналу на

вході приймача. Завмирання характеризуються різною глибиною та швидкістю. Наявність завмирань обмежує полосу пропускання РТС, а їх непередбачуваність вимагає спеціальних технічних заходів для забезпечення сталого прийому сигналів (наприклад, рознесення приймальних антен у просторі). Для покращення технічних характеристик РТС бажано мати можливість впливати на виникнення та інтенсивність неоднорідностей у тропосферному радіоканалі (ТРК). Спроби внесення у ТРК штучних неоднорідностей у вигляді суцільних перевідбивачів різної форми, не забезпечують бажаного ефекту через складність процесу їх доставки у визначену область простору та перешкоджання вільному руху повітряних суден.

Існує технічна можливість створення штучних безоболонкових неоднорідностей, що містять речовину із електричними властивостями, які відрізняються від властивостей повітря. Проведені розрахунки енергетичних співвідношень при ПРХ у ТРК за наявності таких штучних неоднорідностей.

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СВІТЛОСИГНАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ АЕРОДРОМІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

*О.О. Сокол; В.В. Захарченко; Я.О. Скрипниченко*

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Світлосигнальне обладнання аеродрому є складною та багатоеlementною системою. Правильна робота усіх її складових, є обов'язковою умовою для створення необхідного рівня безпеки польотів. Аеродромні вогні є головними елементами підсистем, які безпосередньо створюють світлосигнальну картину. При виконанні польотів вночі або у складних метеорологічних умовах на найбільш відповідальному етапі польоту – візуальному пілотуванні, світлосигнальне обладнання аеродрому є для пілота єдиним джерелом інформації про місцеположення повітряного судна відносно злітно-посадкової смуги. У зв'язку з цим до надійності світлосигнального обладнання висуваються достатньо жорсткі вимоги.

У стандартах ІКАО визначено, що найбільш перспективним напрямком підвищення надійності світлосигнальної системи аеродромів, є автоматизація контролю та управління станом усіх її елементів. Для будь-якої підсистеми світлосигнального обладнання, критерієм відмови вважаються дві ознаки: кількісна та топологічна. Тобто максимально допустима кількість вогнів, що не працюють у підсистемі та їх взаємне розташування.

Наявність засобів автоматичного контролю стану системи дозволяє вирішити проблему відсутності достовірної картини, що створюється світлосигнальним обладнанням аеродрому, мати безперервну інформацію про технічний стан окремих елементів (вогнів), своєчасно вживати необхідні заходи щодо відновлення їх працездатності або зміни режимів роботи, запобігаючи відмові всієї системи в цілому та, тим самим, забезпечити необхідний рівень безпеки польотів.

## **КОНСТРУЮВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ З НЕЛІНІЙНОЮ ЧАСТОТНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ЯКІ МАЮТЬ ПОКРАЩЕНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

*П.Ю. Костенко, д.т.н., проф.; А.А. Чирва; Б.О. Циганенко  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

На підставі аналізу засобів радіотехнічного забезпечення польотів державної авіації, задач і характеристик радіолокаційних систем посадки літаків та вимог до них, закордонних і вітчизняних оглядово-посадочних РЛС, а також рівня безпеки польотів державної авіації обґрунтовано необхідність удосконалення систем та пристроїв РЛС Повітряних Сил Збройних Сил України.

Подальший розвиток та удосконалення РЛС відбувається з використанням складних сигналів. В першу чергу це радіолокаційні сигнали з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) які дуже поширені в теперешній час. Це результат переваги таких сигналів над простими сигналами з точки зору властивостей їх функції невизначеності.

Незважаючи на важливість ЛЧМ сигналів, необхідно шукати нові типи зондувальних сигналів, даючи шанс покращити якість виявлення, оцінки місця положення літаків, їх швидкості та іншої інформації, отриманої з РЛС. Відомо, що досягти такої амбіціозної мети, можливо за рахунок покращення властивостей функції невизначеності радіолокаційних сигналів.

У докладі розглядається евристичний метод конструювання радіолокаційного сигналу у якого повна фаза має дві складові: лінійну та нелінійну у якій ступень нелінійності визначається поліномом з дробовим показником. Досліджується функція невизначеності сконструйованого сигналу, яка наближається до такої що відповідає шуму. В докладі наводяться дані про рівень бічних пелюстків функції невизначеності сконструйованого сигналу та його переваги над ЛЧМ сигналами.

## **АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЦІНКИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ НА МЕРЕЖЕВОМУ РІВНІ МОДЕЛІ OSI**

*Д.Ю. Голубничий, к.т.н., доц.; М.Ф. Пічугін, к.військ.н., проф.;  
М.В. Яворський; В.П. Докучаєв  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

В доповіді розглядаються результати вирішення задачі практичної передачі і розподілу великих об'ємів мережевого трафіку в реальному масштабі часу між множиною взаємодіючих абонентів інформаційно-телекомунікаційної мережі, розташованих на значних відстанях один від одного з великою кількістю транзитних вузлів. Тому, в доповіді визначаються критерії, що пов'язані з пропускну здатністю мережі або частини мережі, а також добре відображають якість виконання мережею її основних функцій. З цих критеріїв впливає необхідність визначення показників пропускну здатності. Виходячи з того, що пропускну здатність є максимально можливою швидкістю передачі даних, кожному виду швидкості (технічної та інформаційної) відповідає певний вид пропускну здатності. Для того, щоб визначити потенційну швидкість передачі даних, транспортний протокол, що забезпечує надійну доставку (наприклад, TCP), збільшує генерацію пакетів до тих пір, поки не

відбудеться втрата пакета. Зазвичай втрата пакета відбувається в маршрутизаторі або комутаторі. Утворюється черга з великою кількістю пакетів, і, як наслідок, відбувається переповнення буфера маршрутизатора або комутатора. Оцінка пропускну́ї здатності каналу передачі даних між відправником і отримувачем полягає в вимірі середньої пропускну́ї здатності, розрахованої на кількох інтервалах часу прийому-передачі (round-trip time, *RTT*).

## **THE METHOD OF CLASSIFICATION OF SIGNAL STRUCTURES BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR TIME SERIES**

*K. Vasuta, Dr.Tech.Sc., Prof.; S. Shcherbinin; O. Revin, O. Bepalko  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University*

Increasing requirements for a dual-use communication system has led to a contradiction associated with the need to introduce new signaling structures at the physical layer of the network model of the OSI / ISO network protocols stack and the possibility of their correct classification at the receiving side with subsequent processing at higher levels of the network model.

Since any signal construction can be represented as a discrete set of its values, it is natural that the study of time series (discrete values) is an effective method for the classification of signal structures. This classification method is based on the segmentation (period selection with different dynamics) of the entire set of received information at the input of the receiving path. The segmentation task can be divided into a priori and a posteriori segmentation. A priori segmentation refers to the problem of predicting the moment of a disorder in a time series, which may indicate changes in the value of a bit in a received message, as well as serve as feedback when conducting a posteriori segmentation. A posteriori segmentation is the task of dividing an existing time series into segments (information bits) depending on the repetition of the time series dynamics in a particular area.

To solve the segmentation problem, the most effective is the use of tools of the theory of dynamic systems. The application of the Holder index (Lipschitz) makes it possible to estimate the smoothness of the function, and the Hurst index gives a measure of randomness. Also, to analyze the spatial distribution of the singularity, the use of wavelet transforms, which serve as an effective method for evaluating the structure of fractals, is optimal.

Thus, the use of tools of the theory of dynamic systems in conjunction with the classical methods for transforming time series together makes it possible to classify signal constructs of any complexity with their subsequent processing at higher levels of the network model of the stack of OSI / ISO network protocols.

## **АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЦІНКИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ НА МЕРЕЖЕВОМУ РІВНІ МОДЕЛІ OSI**

*Д.Ю. Голубничий, к.т.н., доц.; М.Ф. Пічугін, к.військ.н., проф.;  
М.В. Яворський; В.П. Докучаєв  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

В доповіді розглядаються результати вирішення задачі практичної передачі і розподілу великих об'ємів мережевого трафіку в реальному масштабі часу між множиною взаємодіючих абонентів інформаційно-телекомунікаційної

мережі, розташованих на значних відстанях один від одного з великою кількістю транзитних вузлів. Тому, в доповіді визначаються критерії, що пов'язані з пропускною здатністю мережі або частини мережі, а також добре відображають якість виконання мережею її основних функцій. З цих критеріїв випливає необхідність визначення показників пропускної здатності. Виходячи з того, що пропускна здатність є максимально можливою швидкістю передачі даних, кожному виду швидкості (технічної та інформаційної) відповідає певний вид пропускної здатності. Для того, щоб визначити потенційну швидкість передачі даних, транспортний протокол, що забезпечує надійну доставку (наприклад, TCP), збільшує генерацію пакетів до тих пір, поки не відбудеться втрата пакета. Зазвичай втрата пакета відбувається в маршрутизаторі або комутаторі. Утворюється черга з великою кількістю пакетів, і, як наслідок, відбувається переповнення буфера маршрутизатора або комутатора. Оцінка пропускної здатності каналу передачі даних між відправником і отримувачем полягає в вимірі середньої пропускної здатності, розрахованої на кількох інтервалах часу прийому-передачі (round-trip time, RTT).

### **НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ СТАНЦІЙ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

*О.П. Кулик, к.військ.н.; І.Л. Костенко, к.військ.н., с.н.с.;*

*Н.О. Мишукова; І.В. Московченко, к.т.н.*

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Однією з важливих складових системи зв'язку Повітряних Сил Збройних Сил України є мережа тропосферного зв'язку. На даний час на озброєнні військ зв'язку та інформаційних систем Повітряних Сил Збройних Сил України в основному знаходиться друге і частково третє покоління засобів тропосферного радіозв'язку військового призначення розробки (70-80-х років минулого сторіччя) та виробництва колишнього СРСР. В них реалізовано аналоговий та аналого-цифровий спосіб передачі інформації. Тропосферні засоби зв'язку, як і раніше, продовжують виконувати важливу роль в управлінні військами, будучи транспортним середовищем для передачі мультисервісної інформації. Відповідно до цього тропосферний радіозв'язок набуває "другого дихання".

Основним напрямом військово-технічної політики при розвитку засобів тропосферного радіозв'язку є розробка і оснащення військ цифровими завадозахищеними ТРС: здатними працювати як в тропосферному, так і в радіорелейному режимі залежно від поставлених завдань; з застосуванням модульного принципу побудови з використанням SDR та твердотільних технологій; з можливістю адаптації параметрів каналів прийому-передачі, вибору робочої частоти (2,4 або 5,0 ГГц) і ширини смуги частот каналу (2/5/10/20/40 МГц) та схем модуляції (OFDM та адаптивної багатопозиційної - QPSK і m-QAM); з використанням радіомодемів, засобів мінімізації впливу багатопроміневої (OFDM з додатковим розноситься сигналів у просторі та по поляризації); що володіють більшою пропускною спроможністю.



## **ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ В ОПЕРАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ СИЛ ТА ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗА РАХУНОК КОМПЛЕКСНОГО ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ**

*С.В. Ворошилов, к.військ.н., доц.; В.О. Прокоф'єв  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Головною метою розвитку системи зв'язку Збройних сил України є створення єдиного інформаційно-телекомунікаційного середовища на основі впровадження сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологій, комплексів, систем та засобів зв'язку спеціального призначення.

Досвід організації зв'язку в ході АТО та ООС призвів до зміни ряду поглядів на способи організації зв'язку та принципи побудови системи зв'язку Збройних сил.

Система зв'язку в ООС будується на основі стаціонарного компонента, нарощеного польовими засобами. Тропосферні лінії зв'язку (ущільнені цифровими модемами) застосовуються в місцях, де організація радіорелейної та проводової прив'язки ускладнена. Радіорелейні лінії зв'язку не застосовуються внаслідок низької мобільності та демаскувальних ознак. Широкого застосування набули малогабаритні радіорелейні станції. Радіозв'язок УКХ-діапазону витісняє система транкінгового зв'язку, яка включає в себе всі ланки управління (від Генерального штабу Збройних сил України до окремих взводних опорних пунктів). Радіозв'язок КХ-діапазону не використовується внаслідок великої потужності випромінювання, але з застосуванням сучасних радіостанцій типу "HARRIS" набув широкого застосування.

Для забезпечення потреб ЗС України у сучасних засобах зв'язку пропонується налагодити виробництво іноземних засобів зв'язку військового призначення на території України, або провести закупівлю, лізинг чи отримання у закордонних виробників, розпочати роботи щодо відновлення державної програми із запуску національного супутника зв'язку.

Проблемні питання та підходи до їх вирішення при застосуванні тропосферного, радіорелейного, проводового зв'язку, інформаційних систем, засекреченого зв'язку. Забезпечення безпеки інформації та кібернетичної безпеки.

На наш погляд реалізація пропозицій дозволяє забезпечити потреби службових осіб органів управління ЗС України у наданні сучасних якісних інформаційних та телекомунікаційних послуг, забезпечити взаємне використання ресурсів систем зв'язку усіх телекомунікаційних мереж у мирний та воєнний час, здійснити повний перехід системи зв'язку Збройних сил України з аналогових на цифрові телекомунікаційні засоби, створити єдиний телекомунікаційний простір для забезпечення функціонування елементів Єдиної автоматизованої системи управління Збройних сил України.

## **НЕОБХІДНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ НА ЛІНІЇ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

*О.П. Кулик, к.військ.н.; М.Д. Рисаков, к.т.н., доц.; С.М. Блащук, к.т.н.  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

У військових системах зв'язку важлива роль відводиться опорним мережам зв'язку. Вони повинні забезпечувати можливість швидкого нарощування зв'язку в будь-якому напрямку на значні відстані. Вирішення цієї проблеми краще за усе може бути забезпечено побудовою ліній тропосферного радіозв'язку (ЛТРЗ). При будівництві реальних ЛТРЗ важливим є визначення придатності інтервалів до забезпечення зв'язку з заданою якістю та розрахунок надійності зв'язку на усій ЛТРЗ. Такі розрахунки на сьогодні поки що виконуються переважно так званим "ручним способом" і тому актуальним завданням є їх автоматизація.

Автоматизація процесу розрахунку надійності зв'язку на ЛТРЗ забезпечить відмову від креслень профілів місцевості, використання топографічних карт при виборі місць розташування тропосферних станцій, маршрутів під'їзду до них, вимірюванні їх координат і кутів закриття радіогоризонту, карт радіокліматичних районів, чисельних номограм та таблиць при обчисленні втрат сигналу при розповсюдженні, обумовлених рельєфом місцевості, швидкими і повільними завмираннями сигналу при дальньому тропосферному розповсюдженні та значень надійності зв'язку по завмиранням сигналу на інтервалах ЛТРЗ і усій лінії зв'язку. Також автоматизація процесу розрахунку надійності зв'язку на ЛТРЗ дозволить значно знизити часові витрати на виконання розрахунків, виключити креслярські роботи та фактор суб'єктивності в отриманих результатах.

## **МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ РАДІОПЕРЕГОВОРІВ**

*А.Е. Бекіров, к.т.н.; В.В. Жук; Н.М. Ковтуненко; С.В. Груба  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Ефективне функціонування та виконання бойових завдань повітряним компонентом Збройних Сил України безпосередньо залежить від оперативності, своєчасності та якості зв'язку. Забезпечення зв'язку між пунктами управління та повітряними суднами Повітряних Сил та Армійської авіації Сухопутних військ Збройних Сил України забезпечуються штатними радіостанціями, які на сучасному етапі розвитку засобів зв'язку не завжди задовольняють вимогам щодо забезпечення конфіденційності переговорів. Аналіз сучасного стану захищеності радіопереговорів та існуючих методів кодування мовних повідомлень, у тому числі в умовах бойових дій, показав що існують обмеження при використанні алгоритмів шифрування. Враховуючи недоліки, виявлені при аналізі роботи засобів забезпечення захищеного радіообміну, а також необхідність забезпечення конфіденційності радіопереговорів в умовах застосування силами НЗФ радіо та радіотехнічної розвідки, запропоновано метод забезпечення конфіденційності радіопереговорів, на основі інверсно-інкрементного кодування з використанням ключового правила. Відпрацьовано алгоритм кодування та декодування мовного повідомлення з відповідним ключем для забезпечення

умов щодо розділення абонентів при веденні радіопереговорів. Розраховано значення пікового відношення сигнал-шум модифікованого мовного повідомлення відносно вихідного сигналу для випадку неавторизованого доступу. На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що запропонований метод забезпечує закриття семантичного змісту мовного повідомлення.

### **МЕТОД МАСКУВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВЕДЕННІ РАДІОПЕРЕГОВОРІВ**

*А.Е. Бекіров, к.т.н.; В.В. Парфіло; О.О. Олексін  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Ефективність виконання бойового завдання екіпажем повітряного судна залежить від своєчасного та якісного інформаційного забезпечення. Для збройних сил розвинутих країн характерною рисою є функціонування різних елементів у єдиному інформаційному просторі. Досвід ведення бойових дій авіацією Повітряних Сил ЗС України під час проведення антитерористичної операції виявив проблемні недоліки існуючої системи інформаційної підтримки під час виконання бойових завдань підрозділами. Так, для успішного виконання бойового завдання екіпаж повітряного судна повинен бути своєчасно та достовірно забезпечений навігаційною інформацією, інформацією про ціль та засоби ППО противника, інформацією про суміжні літаки та даними метеообстановки. Обмін такою інформацією вимагає використання каналотворюючої апаратури з достатньою пропускнуою здатністю і заданим рівнем захищеності даних.

У якості можливого напрямку забезпечення обміну даними є використання маскування інформації у голосових повідомленнях при веденні радіопереговорів. В цьому випадку додаткова інформація маскується у мовному повідомленні за рахунок модифікації компонент, які не впливають на якість та семантичний зміст радіопереговорів. Запропоновано метод маскування інформації при веденні радіопереговорів на основі модифікації компонент фазового спектру низькочастотного повідомлення за умовним правилом. На основі програмної моделі проведено розрахунок пропускнуої здатності прихованого каналу передачі інформації та кількість спотворень, які вносяться у вихідне мовне повідомлення в процесі маскування інформації.

### **ОСНОВНІ ШЛЯХИ МОДЕРНІЗАЦІЇ АЗИМУТАЛЬНО-ДАЛЕКОМІРНОГО РАДІОМАЯКА РСБН-4Н**

*О.П. Кулик, к.військ.н.; М.Д. Рисаков, к.т.н., доц.;  
Д.М. Воронов, к.т.н.; О.В. Щербак  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Сучасний стан розвитку і використання радіотехнічних засобів навігації характеризується активним розвитком супутникових радіонавігаційних систем. Проте, на сучасному етапі паралельно з процесом їх поширення ефективним радіонавігаційним засобом, який дозволяє екіпажам ПвС авіації ЗС України вирішувати (як при самостійному використанні, так і сумісно з супутниковими системами) складні навігаційні задачі, залишається

радіотехнічна система ближньої навігації (РСБН), складовою частиною якої є азимутально-далекомірний радіомаяк типу РСБН-4Н.

Рік від року відбувається фізичне і моральне старіння наявних у Повітряних Силах ЗС України радіомаяків РСБН-4Н. Щороку зростає кількість радіомаяків, ресурс яких вичерпався. З огляду на це актуальним є питання їх модернізації. Проведені дослідження дозволяють в якості основних напрямків поетапної модернізації РСБН-4Н розглядати: переведення радіомаяка на роботу в міжнародному діапазоні радіочастот та сучасну елементну базу; впровадження цифрових методів формування і обробки сигналів; цифрові методи кодування сигналів випромінювання і декодування сигналів прийому для покращення експлуатаційних характеристик імпульсно-навігаційної апаратури та дешифраторів сигналів апаратури; заміна аналогових ІКО та ВІКО сучасними засобами відображення інформації на базі рідкокристалічних дисплеїв; для перетворення аналогових сигналів в цифрові, що забезпечують відображення координатної інформації ПвС на екрані рідкокристалічних дисплеїв, використовувати спеціалізований цифровий радіонавігаційний модем.

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ НА СУЧАСНИХ ПРИНЦИПАХ**

*В.Г. Кубрак; О.А. Павліченко; В.П. Поздняк; М.В. Дудко  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Досвід локальних війн і збройних конфліктів останніх десятиліть, хід ведення антитерористичної операції (АТО) та операції об'єднаних сил (ООС) на сході України свідчить про вирішальний вплив системи управління та її складової – системи зв'язку та інформаційних систем на хід і результати збройної боротьби. На жаль, не дивлячись на суттєве збільшення сучасних засобів радіозв'язку у Збройних Силах України на протязі останніх років, значна їх частина у військах представлена застарілими зразками радянських часів, незмінними залишаються і способи організації радіозв'язку. Між тим затверджений в змінах до Конституції України курс на вступ України в НАТО ставить перед військовими зв'язківцями завдання щодо переходу, у короткотерміновій перспективі, на організацію радіозв'язку за стандартами НАТО.

У виступі аналізуються сучасні напрямки розвитку мереж тактичного радіозв'язку в країнах НАТО на основі принципів самоорганізації (Mobile Ad Hoc Network – MANET). Розглядаються можливості новітніх технічних засобів та протоколів обміну даними на яких здійснюється побудова таких мереж. Обґрунтовуються пропозиції, щодо можливості спряження сучасних засобів тактичного радіозв'язку з існуючими автоматизованими системами управління (АСУ) комплексів Зенітних ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.

## **ПРОБЛЕМИ БЛИЖНЬОЇ НАВІГАЦІЇ**

*О.В. Симоненко, к.т.н.; А.В. Черкасов; А.В. Оленич; С.О. Галайба  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Одними з головних завдань систем радіотехнічного забезпечення польотів авіації всіх відомств є завдання забезпечення навігації і посадки літальних апаратів в складних метеоумовах і вночі. До появи супутникових радіонавігаційних систем ці завдання вирішували за допомогою радіомаякових систем ближньої навігації і посадки. Найбільшого поширення в світі отримали радіомаячні системи VOR / DME, ILS, TACAN та РСБН/ПРМГ.

Істотною перевагою вітчизняної системи РСБН/ПРМГ, особливо важливим для військової авіації є те, що посадка військових літальних апаратів забезпечується малогабаритними мобільними курсовими та глісадними радіомаяками, що працюють в тому ж діапазоні частот, що і азимутально-далекомірні радіомаяки РСБН. Однак ця перевага при використанні в даний час на аеродромах цивільної авіації тільки систем типу ILS стає недоліком, тому що відсутність уніфікації цивільних і військових систем посадки не дозволяє здійснювати ефективне взаємне використання аеродромів державної і цивільної авіації. З вищевикладеного очевидно, що цивільна авіація, повітряні судна якої здійснюють польоти за кордон, а аеропорти здійснюють прийом іноземних повітряних суден, змушена з точки зору техніко-економічної ефективності орієнтуватися на використання рекомендованих ІКАО систем VOR, DME, ILS і GNSS, в той час як для забезпечення польотів військової авіації з точки зору військово-економічної ефективності доцільно зберігати і удосконалювати вітчизняну систему РСБН/ПРМГ (аналогічно позиції МО США по відношенню до своєї національної системи TACAN).

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ХАРАКТЕРИСТИК КАНАЛУ КОРОТКОХВИЛЬОВОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ**

*С.В. Женжера, к.т.н.; О.В. Чечуй, к.т.н.; А.В. Литвин  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

При вимірюванні характеристик каналу короткохвильового радіозв'язку, спостерігаються завмирання радіосигналів, які зумовлені багатопроменим розповсюдженням радіохвиль. Такі завмирання не дають змоги досить вірно оцінити усі параметри радіоканалу. Для боротьби з цим явищем найчастіше на практиці використовують рознесенний прийом (з рознесенням у просторі антен приймальних пристроїв на 50...100 довжин радіохвиль), де далі сигнали складаються, чи вибирається канал прийому з найменшим завмиранням сигналу. Такі методи не є оптимальними, тому що усі промені, крім першого, вважаються завадою (при значенні затримки відмінної від нуля). Для вирішення цієї проблеми пряме застосування теорії нелінійної фільтрації неможливо, тому що вектор параметрів, який оцінюється, не є марковським.

Пропонується ввести до розгляду диференціальне рівняння у часткових похідних першого порядку, яке характеризує лінію затримки з розподіленими параметрами:

$$\frac{\partial U(t, x)}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial U(t, x)}{\partial x} \quad f \geq 0, x \in [0, \infty), \quad (1)$$

де  $U(t, x)$  – параметр, який оцінюється;

$v$  – швидкість розповсюдження збуджувальної дії уздовж лінії затримки (інакше: уздовж координати  $x$ , де  $x/v$  – час затримки сигналу).

Процес  $U(t, x)$  у рівнянні (1) задовільняє аналогу відомій теоремі

Дуба для систем з розподіленими параметрами, з цього слідує, що цей процес буде марковським у просторі функцій. Цей висновок надає змогу застосувати теорію нелінійної фільтрації для побудови алгоритму обробки сигналів. Було проведено моделювання на ЕОМ алгоритму обробки односмугово-модульованого сигналу з урахуванням прийому двох взаємозатриманих променів радіосигналу при відношенні сигнал-завада  $q=20$ , яке показало вигравш у відносній помилці фільтрації порівнянно з сучасними методами, які використовуються, у 4 дБ. Запропонований метод просторово-часової обробки сигналів, можливо застосовувати не тільки для вимірювання параметрів короткохвильових каналів радіозв'язку, но і у багатьох інших каналах та системах, де спостерігаються багатопробленеві ефекти при обробці сигналів (наприклад: при обробці сигналів у тропосферних лініях зв'язку). Одержані алгоритми будуть відрізнятися коефіцієнтами та деякими значеннями параметрів, але принципи побудови у них будуть схожі.

Практична реалізація лінії затримки з великим числом отводів, не визиває ускладнень, тому що уже тепер промисловість випускає лінії затримки з великою кількістю відводів.

## РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ДВОКАНАЛЬНОГО РАДІОКОМПАСУ

*О.В. Нікітін, к.т.н., доц.; Р.О. Качайло; О.І. Полівода; Д.С. Кісіль  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

У державній авіації України з метою літаководіння достатньо широко застосовуються автоматичні радіокомпаси (АРК). АРК являє собою бортовий автоматичний радіопеленгатор, що вимірює курсовий кут радіостанції (КУР).

Основні типи АРК дозволяють вирішувати наступні завдання:

- здійснення польоту на радіостанцію або від неї за візуальною індикацією ККР;
- визначення пеленга на радіостанцію з використанням даних про курс літака;
- виконання заходу на посадку по системі ОСП;
- використання як додатковий канал у радіомережі керування літаком.

У складі навігаційного комплексу радіокомпас зазвичай використовується в якості резервного навігаційного засобу в силу обмежених можливостей за рішенням завдання літаководіння по маршруту (визначається тільки одна кутова координата).

З метою розширення функціональних можливостей АРК запропонована двоканальна схема побудови радіокомпаса розімкнутого типу. Для її реалізації необхідна система із двох рамкових та однієї не спрямованої антен і два

симетричних тракти прийому й обробки. Тракти налагоджуються на сигнали двох рознесених наземних радіостанцій і дозволяють одержати дві кутові координати, по яких визначається поточне місце розташування літака.

Такий незалежний канал доцільно використовувати при навігації в режимі "радіомовчання", коли неможливе використання системи ближньої навігації типу РСБН.

## **УДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ PON**

*В.П. Коцюба, к.т.н. доц.; В.В. Білий; Д.М. Мартиненко; Є.В. Чирва.  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Сучасні технології зв'язку можна класифікувати на дві основні групи: проводового (дротового) і радіо- (бездротового) доступу. В доповіді аналізуються перспективи розвитку засобів проводових (оптичних) мереж зв'язку військового призначення.

Технології проводового абонентського доступу поділяються на три загальні групи: LAN, xDSL і OAN.

На даний час, групи технологій LAN (Local Area Network), xDSL (Digital Subscriber Line) та OAN (Optical Access Networks) застосовуються при побудові інформаційно-телекомунікаційних вузлів та мереж зв'язку Повітряних Сил ЗС України. В якості середовища передачі інформації використовуються структуровані кабельні системи, коаксіальний кабель, оптоволоконний кабель та кабель "звита пара". Дані технології для розподілу електричного (оптичного) сигналу використовують активні мережеві пристрої (комутатори, маршрутизатори, модеми, мультиплексори та ін.).

Подальшим розвитком OAN є технологія PON (Passive optical network) пасивна оптична мережа, яка будується по топології "точка – багато точок" на деревовидній волоконно-кабельній архітектурі з пасивними оптичними розгалужувачами на вузлах. Активне обладнання розташовується на телекомунікаційному вузлі і безпосередньо у абонента. Розподіл оптичного сигналу здійснюється за рахунок повністю пасивного елемента оптичного розгалужувача (подільника) – сплітера.

Внаслідок чого, технологія PON є перспективною в застосуванні та представляє дійовий спосіб забезпечити широкосмугову передачу інформації, володіє можливістю нарощування розгалужувачів, забезпечує необхідну пропускну здатність телекомунікаційних (абонентських) мереж зв'язку та дозволяє надавати індивідуальним користувачам канали з пропускну спроможністю понад 1 Гбіт/с на відстань 10-20 км.

## **ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ДОПЛЕРІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ВІДДЗЕРКАЛЕНЬ У ПОСАДКОВИХ РАДІОЛОКАТОРАХ**

*М.Д. Рисаков, к.т.н., доц.; О.П. Кулик к.військ.н.;*

*І.Л. Костенко, к.військ.н., с.н.с.*

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Для компенсації впливу, що заважає, на обробку сигналів віддзеркалень від земної поверхні та метеоутворень в сучасних оглядових трьох координатних РЛС реалізуються ефективні алгоритми селекції рухомих цілей – алгоритми когерентного накопичення в доплерівських фільтрах відбитих імпульсів в перебігу декількох періодів. При цьому у посадкових радіолокаторах, які виконують вимірювання координат літаків в зоні посадки стає можливим реалізувати адаптивний алгоритм накопичення імпульсів віддзеркалення в доплерівських фільтрах, який виключає накопичення імпульсів літаків у нульовому і сусідніх з ним доплерівських фільтрах.

Така можливість обумовлена тим, що в зоні посадки радіальна складова швидкості літака близька (різниця не перевищує 3–5%) до шляхової швидкості і є можливість її вимірювати. Одночасно за результатами таких періодичних вимірювань необхідно вирішувати завдання підбору необхідних значень періодів повторення, які не допускають накопичень імпульсів цього літака у названих фільтрах.

Такий алгоритм дозволяє практично виключити вплив віддзеркалень, що заважають, від пасивних об'єктів. У доповіді пропонується такі алгоритми адаптивної доплерівської фільтрації імпульсів літаків в зоні посадки та приводяться розраховані діапазони необхідних значень періодів повторення для можливих значень швидкостей посадки.

## **МОЖЛИВІСТЬ ПІДТРИМАННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ПРИ ГІПЕРЗВУКОВИХ ШВИДКОСТЯХ РУХУ**

*З.Ю. Літвіна, к.т.н., доц.*

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

На сучасному етапі розвитку військової техніки провідні країни світу переходять на застосування гіперзвукової авіації і гіперзвукових ракет зі швидкістю руху понад 5 махів. При русі літальних апаратів військового призначення навколо конструкції літального апарату утворюється плазмова оболонка, яка являється непрозорою для радіохвиль, що перериває радіозв'язок при русі на гіперзвукових швидкостях. Цю проблему намагаються розв'язати у багатьох країнах. Проблема отримала назву "просвітлення плазми". Запропоновано метод одночасного впливу на плазму електронним потоком, акустичною хвилею і радіосигналом. Доведено, що при цих умовах в плазмі утворюються "вікна прозорості" для радіохвиль, що дозволяють електромагнітній хвилі пройти через плазму. Запропоновані загальні підходи щодо розв'язання цієї проблеми, а саме:

розроблена структурна схема радіопередавального пристрою;

оцінено потужність сигналу на виході з плазми в умовах характерних параметрів реалізації метода;

доведено можливість застосування цього методу теоретичними розрахунками.



## **МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО ВРАХУВАННЯ ВИМОГ ЗНАЧЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ МЕРЕЖ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

*Д.І. Могилевич<sup>1</sup>, д.т.н., проф.; О.К. Климович<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с.;  
І.В. Кононова<sup>3</sup>, к.т.н.*

*<sup>1</sup>Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського";*

*<sup>2</sup>Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;*

*<sup>3</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут*

Методики комплексного врахування вимог значень параметрів елементів мереж військового зв'язку (МВЗ), відмінність яких від існуючих, котра визначає їх новизну, полягає в тому, що для прийняття раціонального рішення щодо організації та функціонування елементів МВЗ запропоновано врахувати функціональні та експлуатаційні параметри, які дозволяють у динаміці управління процесом інформаційного обміну визначити очікувану якість функціонування елементів МВЗ. Оцінка значень удосконалених показників дає можливість виконувати порівняння і вибір раціональної стратегії діяльності елементів МВЗ в реальних умовах функціонування. Сукупність розроблених і удосконалених методик дозволяє виконувати кількісну оцінку істотних властивостей елементів МВЗ, забезпечуючи розрахунок очікуваних значень імовірності своєчасної передачі повідомлень під час впливу різнорідних факторів.

Наступним етапом дослідження являється розробка методики оцінки раціонального варіанту функціонування компонент МВЗ, що ґрунтується на аналітичних моделях методик комплексного врахування вимог значень параметрів елементів МВЗ. Ці моделі відображають динаміку процесу функціонування елементів МВЗ та при підготовці відповідних вихідних даних дають змогу підвищити результати прогнозування прийнятих рішень щодо вибору раціонального варіанту функціонування компонент МВЗ шляхом призначення та використання резервного (надлишкового) часу.

## **ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ МІЖСИСТЕМНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ З УРАХУВАННЯМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СТАНДАРТІВ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ В УКРАЇНІ**

*С.А. Макаров, к.т.н., доц., О.М. Чекунова, к.т.н.; В.О. Лебедєв, О.П. Ковальчук  
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба*

Актуальність проведення наукових досліджень в даному напрямку обумовлена нормативно-правовою базою, а саме Указом Президента України "Про забезпечення умов для впровадження системи рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління" та постановою Кабінету Міністрів України "Про внесення зміни до розділу І Плану використання радіочастотного ресурсу України", відповідно до яких в Україні здійснюється впровадження систем рухомого зв'язку LTE (4G).

Для впровадження мереж рухомого (мобільного) зв'язку четвертого покоління стандарту LTE методи аналізу ЕМС між засобами навігації і системами управління повітряним рухом

(ЗН УПР) від засобів телекомунікацій нових стандартів відомі, але способи її забезпечення не визначені. Тому потребують додаткових досліджень.

Перспективними смугами частот для розвитку та впровадження мереж рухомого (мобільного) зв'язку технології LTE в Україні є смуги частот від 694 МГц до 790 МГц (band 28), від 790 МГц до 862 МГц (band 20), від 824 МГц до 879 МГц (band 5), від 880 МГц до 960 МГц (band 8), де працюють різні наземні та бортові ЗН УПР.

Аналіз зайнятості радіочастотного спектру України радіотехнічними системами навігації та посадки Повітряних Сил та РЕЗ систем мобільного зв'язку в смузі частот від 694 до 960 МГц дозволив авторам визначити метод оцінки міжсистемної ЕМС, за допомогою якого можливо визначити найгірший випадок електромагнітних взаємодій між радіоелектронними засобами для встановлення частотно-територіальних обмежень на розташування РЕЗ технології LTE з метою захисту безперешкодного функціонування ЗН УПР.

## **ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ РАДІОСВІЛЛОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*А.А. Давидов*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняховського*

Одним з завдань системи радіосвітлотехнічного забезпечення є формування радіонавігаційного поля, яке б максимально задовольняло потребам повітряної навігації. Цей процес ускладнюється рядом факторів які мають різні джерела, а саме:

- базування підрозділів тактичної авіації;
- відстань цілі від лінії зіткнення військ;
- конфігурація лінії зіткнення військ;
- тип цілі (цілей);
- рельєф місцевості;
- можливості системи протиповітряної оборони противника;
- можливості системи розвідки та вогневого ураження противника;
- тактико-технічні характеристики радіонавігаційних систем за допомогою яких створюється поле радіонавігації;
- рішення командира на виконання бойового завдання;
- наявність резерву наземного обладнання радіонавігаційних систем;
- вид зброї, яку планується застосовувати (керована, некерована) та інші.

При плануванні радіонавігаційного поля окрім визначених факторів слід враховувати, що часові інтервали надходження заявок на виконання бойових вильотів та час необхідний для їх виконання суттєво менші за час необхідний на дообладнання засобами радіонавігації району бойових дій. Тому, для оцінювання якості розрахункового радіонавігаційного поля, яке б максимально задовольняло потребам повітряної навігації, виникає потреба в застосуванні наукових методів, які б вирішували задачі кількісної оцінки якості радіонавігаційного поля та вибору оптимального варіанту. Для вирішення цих задач пропонується застосовувати точний метод кваліметрії, який дозволяє зменшити похибку та збільшити точність отриманих результатів. Крім того, за допомогою цього методу можна визначити показник якості з урахуванням впливу параметрів зовнішнього середовища.

## **АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ**

*В.П. Ясинецький, к.військ.н., доц.; М.В. Кас'яненко, к.військ.н., Ю.А. Хажанець  
Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського*

Аналіз розвитку воєнного мистецтва, досвіду війн та збройних конфліктів, умов підготовки і ведення сучасних бойових дій (операцій) свідчить про те, що максимальна реалізація бойових можливостей військових частин та підрозділів, багато в чому, залежить від наявності стійкого, безперервного, оперативного та скритного управління військами (силами). Таке управління може бути досягнуте лише при побудові високоефективної, багаторівневої системи управління, функціонування якої, об'єктивно, залежить від ефективності функціонування однієї з її основних підсистем – підсистеми зв'язку.

З початком збройної агресії Російської Федерації проти України у 2014 році війська зв'язку, радіотехнічного забезпечення, автоматизованих та інформаційних систем не в повній мірі відповідали вимогам управління. Принципи побудови системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління були застарілими та передбачали використання переважно аналогових засобів. Тому для забезпечення ефективного управління була необхідна її термінова модернізація.

На сьогоднішній день на зміну аналоговим засобам зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління поступово приходять цифрові, оптоволоконні кабельні лінії витісняють мідні і у перспективі ми отримаємо повністю цифрову систему зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, що матиме нові параметри, свої сильні та слабкі сторони. З метою виявлення слабких сторін та зниження їх впливу на ефективність її функціонування виникає необхідність у проведенні наукових досліджень.

Слід зауважити, що цифровим телекомунікаційним мережам (ТКМ) притаманні такі нові показники, як: доступність, адаптивність, сумарна затримка в інформаційно-телекомунікаційній системі, максимально можливе число активних абонентів, коефіцієнт затримки обслуговування абонентів, швидкість передачі пакетів, інтегральна пропускна здатність ланки мережі, динамічна пропускна здатність ланки мережі тощо. А показники, що враховувалися при оцінюванні ефективності аналогових систем зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління втратили свою вагомість та актуальність. В свою чергу, існуючі моделі та методики не враховують більшість з нових показників і тому не можуть бути використані для оцінювання перспективної ТКМ і потребують удосконалення.

## **МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ OFDM-СИГНАЛІВ З ТАЙМЕРНИМИ СИГНАЛЬНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ**

*В.В. Гордійчук<sup>1</sup>; А.В. Шишацький<sup>2</sup>, к.т.н.*

*<sup>1</sup>Інститут Військово-Морських Сил Національного університету "Одеська морська академія";*

*<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України*

В зазначеній доповіді авторами наведені результати наукового дослідження, що спрямоване на підвищення структурної скритності систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням з використанням таймерних сигнальних конструкцій, шляхом розробки відповідної методики формування сигналів.

Відмінністю запропонованої методики від відомих, що визначає її новизну полягає:

використання таймерних сигнальних конструкцій на відміну від традиційних позиційних сигнальних конструкцій дозволяє підвищити структурну скритність сигналів з ортогональним частотним мультиплексуванням;

використання розширювальних послідовностей різного типу і з різними автокореляційними властивостями дозволяє проводити оперативну адаптацію параметрів систем і засобів радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням до впливу дестабілізуючих чинників, спрямованих на розкриття властивостей систем і засобів радіозв'язку засобами радіоелектронної розвідки;

застосування механізмів частотної адаптації до впливу навмисних завад дозволяє визначити ділянки частотного діапазону, вражені ними і провести інтелектуальне планування використання радіочастотного ресурсу системами і засобами радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням.

## **ДЕЯКІ ПИТАННЯ РЕФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ НА ПЕРІОД ДО 2020 РОКУ**

*О.О. Лаврут<sup>1</sup>, к.т.н., доц.; О.В. Федін<sup>1</sup>, к.т.н.;*

*Ю.М. Здоренко<sup>2</sup>, к.т.н.; В.Б. Опалінський<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного;*

*<sup>2</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації*

Функціонування силового блоку України в умовах проведення операції Об'єднаних сил на Сході країни показало, що ефективність застосування військ (сил) сучасних ЗС України, підрозділів Національної гвардії України, Державної прикордонної служби, Служби безпеки України значною мірою залежить від рівня розвитку системи управління. Це питання є одним з ключових в Державній програмі розвитку ЗС України на період до 2020 року.

В доповіді увага приділяється розгляду проблемних питань впровадження системи С4ISR на оперативному та тактичному рівнях до командира відділення (та їм рівних) у складі таких базових можливостей як: захищений цифровий голосовий зв'язок, обмін текстовими повідомленнями, обмін графічними документами, геопросторова інформація, взаємна ідентифікація,

інтеграція сенсорів (датчиків), інтеграція БпЛА, сумісність з стандартами НАТО (STANAG). Забезпечення інтеграції системи С4ISR з системою управління оборонними ресурсами сил оборони відповідно до стандартних угод НАТО (STANAG).

Окремо виділяється новий напрям, який полягає в удосконаленні системи кібербезпеки та захисту інформації, а саме: створення в Міністерстві оборони України, інших складових сектору оборони підрозділів з кіберзахисту, протидії технічним розвідкам, впровадження заходів із захисту інформації відповідно до вимог нормативно-правових актів України та з урахуванням стандартів НАТО і ISO/IEC.

Високий рівень інформаційного забезпечення бойових дій військ стає визначальним чинником досягнення стратегічної і оперативно-тактичної переваги над противником. У ЗС України приділяється значна увага реформуванню та розвитку системи зв'язку як у законодавчій, так і у практичній площині. Це сприяє впровадженню в дію системи С4ISR в найкоротші терміни.

## **МОДЕЛЮВАННЯ ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖ З МОЖЛИВІСТЮ ДО САМООРГАНІЗАЦІЇ**

*О.Л. Налапко; А.В. Шишацький, к.т.н.*

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

В доповіді розглянуто теоретичний і практичний підхід до вирішення задач з оптимізації топології елементів мережі зв'язку з метою підвищення точності визначення розташування центрального елемента мережі.

Детально розглядаються випадки попарного перетину кілець та їх накладання, що дозволяє зробити висновок про оптимальне розташування активних елементів мережі зв'язку.

Така схема є логічною з точки зору самого визначення “центрального вузла – активні елементи”, проте вона дозволяє визначити центр мережі на основі певних розрахунків: по-перше, можуть стати відомими положення активних елементів, а по-друге - завчасно відомі характеристики радіо каналів, які регламентовані в нормативному плані, що визначає мінімальні та максимальні віддалення активних елементів від центру мережі.

Кожному активному елементу радіус його дії можна представити в відповідність кільце (простір між двома концентричними окружностями) та з центром в точці розміщення активного елемента, як множину точок, де гіпотетично може знаходитися центр елемента мережі. Перетини таких кілець для всіх активних елементів і визначає область, де може знаходитися центр елемента мережі зв'язку. Чим менша площа таких перетинів, тим більш ймовірним стає визначення знаходження самого центру. Представлений варіант моделювання топології елементів мережі зв'язку дозволяє визначити з більшою точністю місця розміщення активних елементів мережі зв'язку.

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГІБРИДНОЇ РАДІОМЕРЕЖІ

О.Я. Сова<sup>1</sup>, д.т.н., с.н.с.; А.В. Шишацький<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут;

<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України.

В умовах дефіциту частотно-часового ресурсу для організації радіомережі велике значення має раціональний розподіл наявних каналів зв'язку між вузлами мережі і розподіл інформаційних потоків між ними.

З огляду на комплексний характер мети функціонування системи радіозв'язку, що полягає в забезпеченні абонентів телекомунікаційними послугами з необхідною якістю, то в цілому ступінь досягнення мети функціонування можна охарактеризувати сумарним показником якості який складається з наступних часткових показників:

наявний обсяг каналного ресурсу мережі;

інтенсивність інформаційного обміну між абонентами за кожний з видів телекомунікаційних сервісів;

вимоги до якості інформаційного обміну;

технічні засоби радіозв'язку, що визначають алгоритм інформаційного обміну.

Таким чином, запропонований підхід до аналізу ефективності функціонування гібридної радіомережі дозволить адекватно оцінювати доцільність застосування тієї чи іншої її конфігурації, а також дозволяє формувати методичний апарат її синтезу за критерієм максимуму імовірності відповідності показника її ефективності.

### ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ УЗГОДЖЕНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

В.Й. Залевський

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова

З початку виникнення бойових дій на Сході, саме БпЛА довели свою перевагу в оперативності та достовірності з отримання розвідувальної інформації при оцінюванні обстановки в зоні Операції Об'єднаних сил (ООС).

Оператори БпЛА, у ході виконання завдань, з метою виявлення об'єктів військового призначення, проводять планування польоту БпЛА в зоні відповідальності угруповання військ ООС та надають їм відповідні координати.

Основним джерелом отримання координат є карти Генерального штабу та показники систем відеоспостереження дешифрувальника знімків з БпЛА.

У наявних зразках БпЛА Збройних Сил (ЗС) України ("Фурія", "Лелека") місцезнаходження БпЛА визначається бортовими інерційними навігаційними системами за допомогою вимірювань псевдодальностей у відомих супутникових системах (GPS, ГЛОНАСС). Такі системи здатні надати точність у декілька десятків метрів для рухомих цілей.

З метою підвищення точності таких даних потрібно застосовувати додаткові вимірювання до відомих базових об'єктів. Ними можуть буди

радіовипромінюючі антенні системи вишок стільникового зв'язку або радіолокаційних станцій, що розташовані на підконтрольній території.

Автором пропонується вирішувати такі навігаційні задачі уточнення супутникових даних за допомогою диференціальних систем і RTK (real-time kinematics) технологій, які на даний час реалізовано у компактних приймачах за оптимальною собівартістю. При комплектуванні БпЛА новими приймачами з'являється можливість у вимірюваннях, які можуть надати більш точні показники координат при розв'язання навігаційної задачі.

Диференціальні навігаційні системи покращують точність визначення місцезнаходження та швидкості БпЛА за рахунок оптимального оцінювання даних вимірів або урахування корекційної інформації від однієї або декількох базових станцій. Координати кожної такої станції є відомими з високою точністю. Таким чином їх можна використовувати для калібрування даних, отриманих приймачами GPS сигналів, які знаходяться на БпЛА.

Приймач може розрахувати теоретичну відстань і час розповсюдження сигналу між собою і кожним супутником. Коли ці теоретичні значення порівнюються з даними вимірювань, то їх відмінності являють собою похибки у прийнятих сигналах. Корекційна інформація (дані RTCM) отримується з цих різниць з урахуванням статистичних методів оцінювання або їх варіантів:

Під час виконання завдань в зоні ООС оператори БпЛА керують польотом в автоматичному або напівавтоматичному режимах і їх рух відбувається за даними GPS. Якщо точність оцінювання даних буде достатньою, то і виконання завдання буде більш якісним.

## **МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ШУМОЗАХИЩЕНОСТІ КУБІТОВИХ СИГНАЛІВ**

*І.А. Пількевич, д.т.н., проф.*

*Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова*

Кінець XX та початок XXI століть ознаменувався значною активізацією досліджень і розробок у галузі квантових досліджень. Область знань про квантові обчислення знаходиться на стику квантової механіки, сучасної математичної фізики, класичної теорії інформації та комп'ютерних наук. Ідея квантових розрахунків належить математику Ю.Маніну (1980), однак її активне обговорення та спроби реалізації виникли після публікації статті відомого американського фізика Р.Фейнмана (1982), де він висловив можливість використання квантової системи для розв'язання складних обчислювальних задач. Застосування положень квантової механіки відкривають нові горизонти в області криптографії.

В реальності квантова система завжди контактує із зовнішнім середовищем, оскільки повністю ізолювати її неможливо. Відповідно, квантова інформація, що передається в системі може бути не тільки пошкодженою, а й повністю знищеною. Квантовий канал зв'язку можна зруйнувати, але неможливо розкрити (Д. Дойч, П. Шор). Тому виникає проблема збереження достовірності переносимої інформації в квантових системах, а для її вирішення необхідно вивчити механізм зовнішнього впливу або впливу "шумів", враховуючи їх закони розподілу та фізичну природу.

Метою досліджень є розробка методики оцінювання стану  $\Psi$ -функції кубітів з урахуванням впливу "шуму" розподіленого за експоненціальним

законом, основою якої є модель впливу "шуму" на кубітові сигнали з використанням ергодичних ланцюгів Маркова.

Загальну методологію оцінювання шумозахищеності кубітових сигналів можна викласти низкою етапів:

1. Формування графу переходів ланцюга Маркова для заданого кубітового сигналу.

2. Розрахунок або довільне введення значень інтенсивностей переходу системи з одного стану кубітового сигналу в інший. В роботі вважалось, що марковський процес неоднорідний, тому інтенсивності переходів залежали від  $t$ .

3. Визначення часу, протягом якого система переходить від одного стану в інший.

4. Розрахунок елементів матриці ймовірностей переходу кубітового сигналу з одного стану в інший за  $n$  кроків.

В роботі приводиться приклад використання запропонованої методики при моделюванні впливу "шумів" на кубітові сигнали. Зроблено висновок, що імітація зовнішніх "шумів" на роботу квантової системи наочно демонструє нестабільність такої системи при зростанні кількості кубітів  $N$ . Тому для практичної реалізації шумозахищених квантових систем з сотнями-тисячами бінарними станами ( $N = 8-10$ ) потрібна спільна робота фізиків, математиків, схемотехніків і технологів.

## **МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ ТОПОЛОГІЄЮ МЕРЕЖІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ АЕРОПЛАТФОРМ**

*Є.О. Степаненко*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ім. Героїв Крут*

Розглядається мережа телекомунікаційних аероплатформ (ТА) типу FANET (Flying Ad-Hoc Networks), яка призначена для забезпечення зв'язності між незв'язними сегментами наземної мережі, швидкої організації резервної мережі (напрямів, маршрутів, каналів) радіозв'язку з наземними вузлами, збільшення зони покриття, покращення показників якості інформаційного обміну між наземними вузлами.

Запропонована нова методика управління топологією мережі ТА, яка призначена для визначення положення (переміщення) телекомунікаційних аероплатформ у просторі для забезпечення заданої якості обслуговування вузлів наземних мереж. Основними її кроками є:

1. Збір інформації про параметри функціонування наземних мереж.

2. Аналіз параметрів функціонування наземних мереж – перевірка на відповідність параметрів функціонування мережі вимогам зв'язності, покриття та якості інформаційного обміну, тощо.

Якщо параметри мережі не задовольняють вимогам, то пошук нової топології мережі ТА: розрахунок необхідної кількості ТА, пошук рішення по розміщенню (переміщенню, запуску нових) ТА, визначення їх положення в просторі для досягнення певної цільової функції управління.

3. Аналіз рішення по топології.

Якщо показники мережі при  $(n+1)$ -рішенні кращі ніж показники  $n$ -го рішення, то рішення залишається, якщо ні – воно відкидається та розглядаються наступні варіанти.

4. Якщо всі варіанти перебрані, тоді КІНЕЦЬ, інакше – перехід на крок 2.



Цілями системи управління мережею ТА можуть бути екстремум або підтримка заданих критеріїв ефективності функціонування всієї мобільної компоненти, її зони, напряму, маршруту між окремими парами вузлів „відправник-адресат” – забезпечення зв’язності, оптимуму продуктивності, покриття, якості маршрутів передачі, ресурсів на реалізацію завдання, часу виконання завдання, тощо.

Завдання управління зведено до задачі ситуаційного управління. Задача пошуку оптимального рішення відноситься до NP-повних. Тому, запропоновано множину правил продукційного типу ЯКЦЮ <ситуація> ТО <рішення> для вироблення управляючого впливу (зміна положення ТА, потужності та/або діаграми спрямованості антени, введення нових ТА, тощо) та реалізації різних цільових функцій управління мережею. Для визначення порядку застосування правил визначені мета-правила.

Програмна реалізація методики дозволяє отримувати рішення в реальному масштабі часу, близькі до оптимальних і використовувати її для оперативного управління мережею телекомунікаційних аероплатформ.

### **МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОРСЬКОЇ НАВІГАЦІЇ НА ОСНОВІ ІНЕРЦІАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

*Д.М. Обідін, д.т.н., проф.; Д.В. Макарчук*

*Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету*

Аналіз факторів, що впливають на ефективність функціонування навігаційних систем дозволив визначити актуальні напрямки підвищення ефективності функціонування інерціальних навігаційних систем в умовах невизначеності. Одним з основних напрямків є зменшення похибки у визначенні вимірювання прискорень акселерометром і помилки їх кутової орієнтації та дрейф гіроскопу інерціальної системи відносно осі світу. Підвищення точності навігації рухомих об’єктів пов’язано з вдосконаленням як вимірювальної апаратури, так і математичного забезпечення розв’язання задач обробки інформації.

Для підвищення ефективності функціонування навігаційних систем розроблено методи та моделі оптимальної обробки навігаційної інформації в умовах невизначеності. Визначені основні показники похибок інерціальних навігаційних систем. Удосконалені моделі оцінки мультиструктурного сигналу помилок інерціальних навігаційних систем та моделі адаптивної обробки навігаційної інформації в умовах невизначеності.