

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ С. П. КОРОЛЬОВА

**ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ,
ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

23

Житомир
2022

Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : збірник наукових праць. Вип. 23 / Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова. – Житомир : ЖВІ, 2022. – 104 с. – ISSN 2076-1546. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2022.23>

Наказами Міністерства освіти і науки України від 09.02.2021 № 157 та від 15.04.2021 № 420 збірник наукових праць включений у категорію «Б» Переліку наукових фахових видань України.

Науковий профіль видання:

122 – Комп'ютерні науки

125 – Кібербезпека

255 – озброєння та військова техніка

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова, протокол № 5 від 28.12.2022.

Головний редактор – ФРИЗ С. П., заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

Відповідальний секретар – КАНЕВСЬКИЙ Л. Б., кандидат технічних наук, доцент (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

Члени редакційної колегії:

ВАСЮТА К. С., заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна);

ГРИЩУК Р. В., заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

ЖУРАВСЬКИЙ Ю. В., доктор технічних наук, старший науковий співробітник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

КОВБАСЮК С. В., лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, старший науковий співробітник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

МЕРЧИК Зигмунт, доктор технічних наук, професор (Військова технічна академія, Республіка Польща);

ПІЛЬКЕВИЧ І. А., заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

САЩУК І. М., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна);

СТАВІСЮК Р. Л., кандидат технічних наук, старший дослідник (Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Україна).

ISSN 2076-1546

Наукові статті, включені до збірника наукових праць, пройшли рецензування.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21859-11759 ПР від 21.12.2015.

ЗМІСТ

Фриз С. П., Кальватинський О. В., Соболенко С. О., Авсієвич Р. О. Аналіз космічних систем ідентифікації рухомих надводних об'єктів.....	4
Пількевич І. А., Токар А. М., Лобода Р. І., Лобода В. В. Алгоритми оцінювання часу сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів.....	25
Нетребко Р. В. Тестування програмного забезпечення визначення рівня захищеності у військових автоматизованих системах від несанкціонованого доступу ворога.....	43
Пулеко І. В., Андрєєв О. В., Дубина О. Ф., Чумакевич В. О., Паламарчук А. С. Модель руху безпілотних літальних апаратів на основі алгебри дуальних кватерніонів.....	52
Іщенко Д. А., Федорчук Д. Л., Іщенко С. Д., Марищук Л. М. Оцінювання ефективності застосування засобів радіоелектронної боротьби для протидії високоточній зброї як складової операції в електромагнітному спектрі.....	62
Ковбасюк С. В., Осадчук Р. М., Романчук М. П., Наумчак Л. М. Алгоритм формування набору апіорних даних нейронної мережі для обробки цифрових аерознімків.....	77
Бондаренко Ю. Л., Гусаківський А. В., Мовчан В. В., Уваров Ю. Г. Методика перевірки та приведення 5,45-мм автомата АК-74 до нормального бою на скороченій дистанції.....	89
Автори випуску	101

С. П. Фриз, О. В. Кальватинський, С. О. Соболенко, Р. О. Авсієвич

АНАЛІЗ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РУХОМИХ НАДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Керівні документи передбачають створення в Україні до 2025 року державної інтегрованої системи висвітлення надводної та підводної обстановки в акваторіях Чорного й Азовського морів, басейнів річок Дніпро і Дунай, а також Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України. Обидві системи функціонуватимуть в інтересах Військово-Морських Сил Збройних Сил України та дозволятимуть отримувати оперативні дані про надводну обстановку з метою захисту суверенітету та територіальної цілісності нашої держави, а також протидії протиправній діяльності в межах виключної (морської) економічної зони України.

У статті розглянуто можливість застосування в складі наведених систем космічних систем ідентифікації рухомих надводних об'єктів. На даний час подібні космічні системи вже використовуються в складі систем висвітлення надводної обстановки ЄС, США, а також іншими морськими державами, оскільки вони дозволяють виконувати одночасно всі три завдання систем висвітлення надводної обстановки: виявлення, ідентифікацію та спостереження за рухомими надводними об'єктами. Крім того, описані системи надають можливість моніторити надводну обстановку на значних відстанях від берегової лінії за будь-яких погодних умов та в різний час доби. При цьому відсутні ризики для особового складу та технічних засобів спостереження.

Під рухомими надводними об'єктами у статті слід розуміти пілотовані або безпілотні морські й річкові поодинокі та групові об'єкти, здатні переміщуватися на водній поверхні. У публікації описано зазначені космічні системи, а також здійснено огляд космічних апаратів, які використовують для ретрансляції бортової навігаційної інформації. Подібні космічні системи також застосовують для виявлення, ідентифікації та супроводження повітряних та наземних рухомих об'єктів.

Ключові слова: надводна обстановка; виключна (морська) економічна зона; космічна система; радіолінія; навігаційна інформація; AIS; LRIT; COSPAS-SARSAT; SSAS; VMS.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Стратегічні керівні документи в сфері безпеки й оборони України передбачають створення до 2035 року державної інтегрованої системи висвітлення надводної та підводної обстановки в акваторії Чорного й Азовського морів, басейнів річок Дніпро і Дунай, а також Єдиної автоматизованої системи управління (ЄАСУ) Збройних Сил України. Відповідні рішення закріплені в: Стратегії воєнної безпеки України, Стратегічному оборонному бюлетені, Стратегії Військово-Морських Сил Збройних Сил України 2035, Морській доктрині України на період до 2035 року, Стратегії розвитку Державної прикордонної служби України, Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського

© С. П. Фриз, О. В. Кальватинський, С. О. Соболенко, Р. О. Авсієвич, 2022

та внутрішнього водного транспорту («дорожньої карти»), рішеннях Ради національної безпеки та оборони України, а також постановах та розпорядженнях Кабінету Міністрів України [1–13].

Державна інтегрована система висвітлення надводної та підводної обстановки в акваторіях Чорного й Азовського морів, басейнів річок Дніпро і Дунай може становити основу для підсистеми забезпечення інформацією про обстановку автоматизованої системи управління захистом морського узбережжя ЄАСУ Збройних Сил України [14]. Ця система функціонуватиме в інтересах Військово-Морських Сил Збройних Сил України, Державної прикордонної служби України, Міністерства інфраструктури України, Міністерства аграрної політики та продовольства України, а також інших зацікавлених державних органів влади.

Джерела даних системи висвітлення надводної обстановки можна класифікувати таким чином (див. рис. 1).

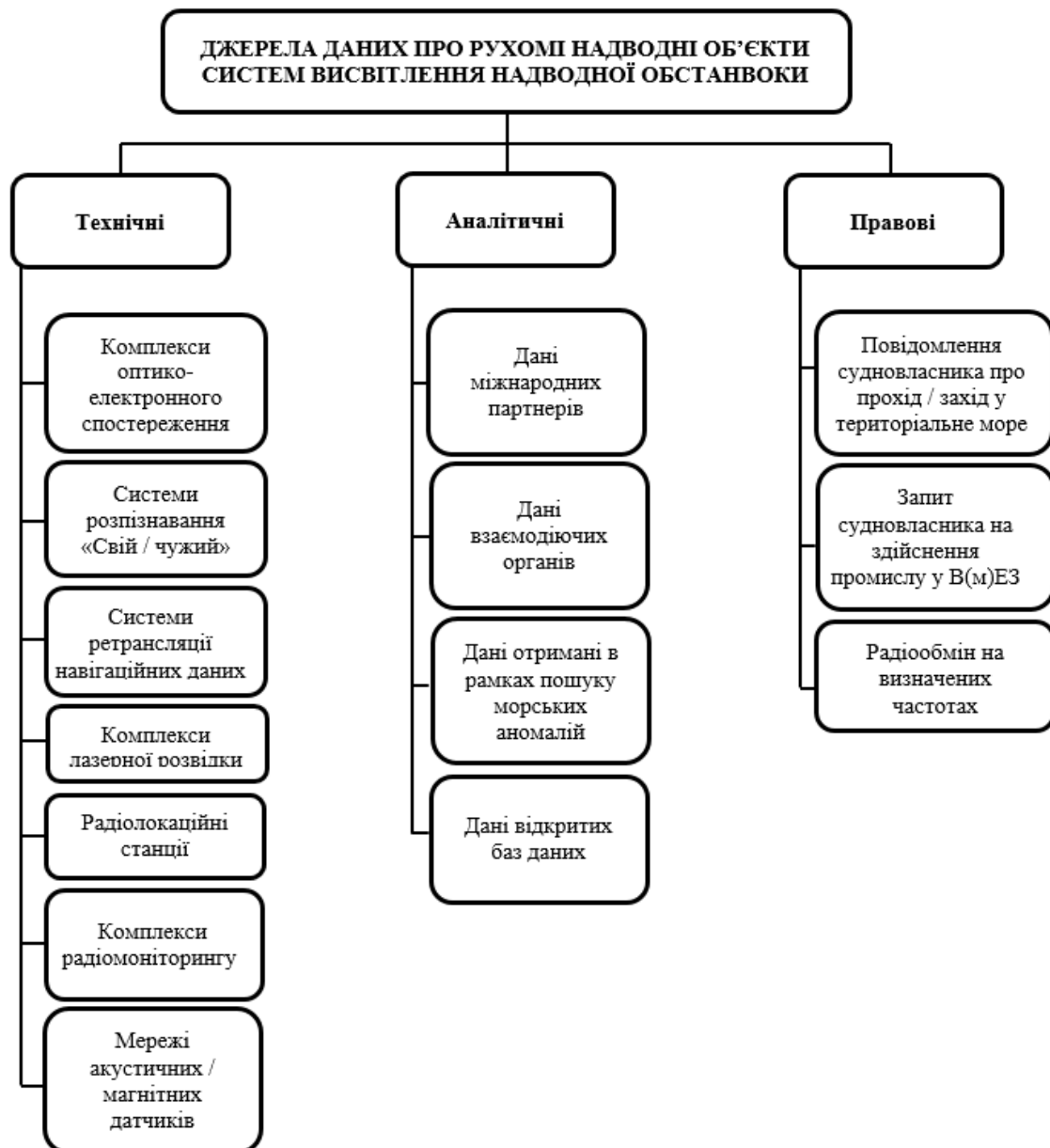


Рис. 1. Опис джерел даних систем висвітлення надводної обстановки

На рис. 1 під технічними джерелами отримання інформації слід розуміти стаціонарні та мобільні технічні засоби наземного, морського, повітряного та космічного базування, що використовуються для отримання інформації про рухомі надводні об'єкти. Перевагою технічних джерел є те, що вони дозволяють автоматизувати процес моніторингу та зменшити людський фактор під час висвітлення надводної обстановки.

Під аналітичними джерелами інформації слід розуміти дані, які акумулюються в результаті міжнародного, міжвідомчого та внутрішньовідомчого обміну інформацією, а також містяться у відкритих базах даних, засобах масової інформації, соціальних мережах, що піддаються аналітичній обробці для встановлення оперативної обстановки в межах визначеної території.

Під правовими джерелами отримання інформації слід розуміти дані, що надходять у результаті передачі судовласником відомостей про судно в рамках виконання національних та міжнародних процедур, передбачених на законодавчому рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У результаті аналізу відкритих джерел інформації [15–19] встановлено, що провідні морські держави під час створення систем висвітлення надводної обстановки зазвичай використовують усі з перерахованих джерел. Такий підхід сприяє покращенню оперативності та достовірності отримуваних даних. У статті пропонуємо розглянути космічні системи ідентифікації надводних рухомих об'єктів. Їх перевагою є те, що вони дозволяють виявляти, ідентифікувати та вести спостереження за рухомими надводними об'єктами у будь-якій точці Світового океану за різних погодних умов без загрози особовому складу й технічним засобам в умовах збройної агресії та без обмежень за часом використання. Космічні системи ідентифікації надводних рухомих об'єктів використовуються в складі багатьох систем висвітлення надводної обстановки: GICOMS (Південна Корея), MarNIS, SafeSeaNet, CleanSeaNet, (відомствами ЄС), «Стратегія» (рф), NASTOP (відомствами США та Канади).

У даному контексті слід зазначити, що подібні космічні системи також використовуються для моніторингу рухомих повітряних об'єктів – система ADS-B [20], наземних об'єктів – російська система «Гонец» [21], а також в інших системах відстеження вантажів, пасажиропотоків та транспортних засобів тощо. Враховуючи вказане, результати дослідження можуть використовуватися і в інших сферах, де є потреба відстеження координат рухомих об'єктів.

Формулювання завдання дослідження. Мета статті – проведення аналізу діючих космічних систем ідентифікації надводних рухомих об'єктів для встановлення доцільності їх використання в складі системи висвітлення надводної обстановки в інтересах сектору безпеки й оборони України. Для цього слід проаналізувати керівні документи, що регламентують використання космічних систем ідентифікації надводних рухомих об'єктів, а також ознайомитися з порядком функціонування та технічними характеристиками цих систем. Отримані в рамках дослідження результати можуть бути використані під час створення державної інтегрованої системи висвітлення надводної та підводної обстановки в акваторіях Чорного й Азовського морів, басейнів річок Дніпро і Дунай, а також Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України.

Виклад основного матеріалу. Станом на 2022 рік для моніторингу рухомих надводних об'єктів використовували космічні системи ідентифікації, наведені на рис. 2.

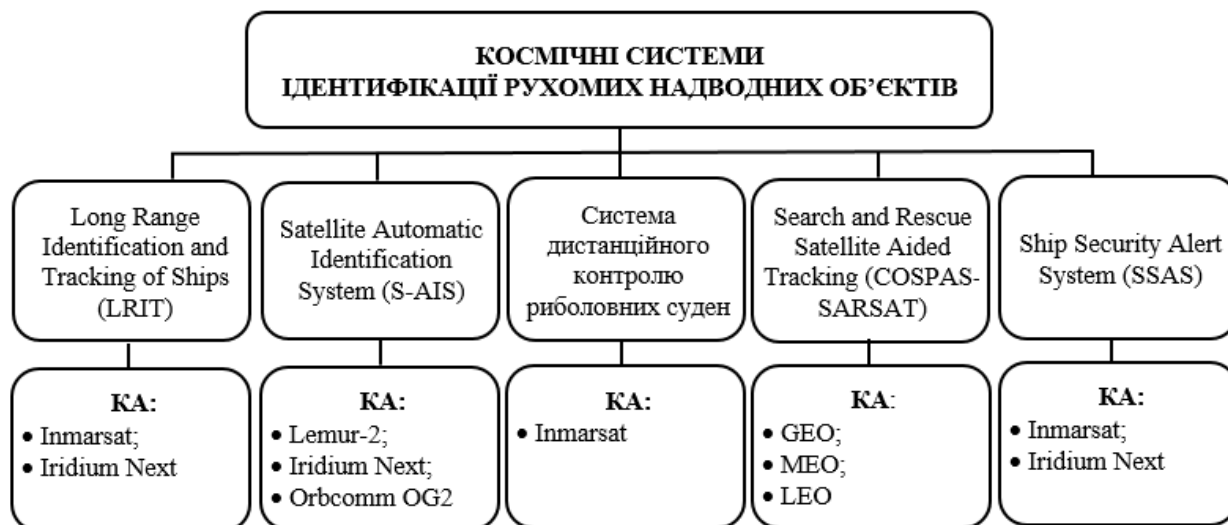


Рис. 2. Класифікація космічних систем ідентифікації рухомих надводних об'єктів

В Україні операторами космічних систем (рис. 2) є Казенне підприємство «Морська пошуково-рятувальна служба» Міністерства інфраструктури України [22] та Державне підприємство «Центр моніторингу та безпеки риболовних суден» Міністерства аграрної політики та продовольства України [23, 24]. Космічні системи ідентифікації рухомих надводних об'єктів передають таку навігаційну інформацію: ідентифікаційні дані, технічні параметри та географічні координати рухомого надводного об'єкта.

Система LRIT експлуатується з 31.12.2008 на всіх пасажирських та вантажних судах водотоннажністю 300 т та більше, що здійснюють міжнародні рейси, а також на плавучих бурових установках [25]. Відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 22.09.2015 № 379 [22] в Україні оператором системи є Національний центр дальньої ідентифікації та контролю місцезнаходження суден Казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба» Міністерства інфраструктури України.

Система LRIT дозволяє отримувати державним органам країн-підписантів Міжнародної конвенції SOLAS-74/88 [26] інформацію про: ідентифікатор, країну походження та координати судна незалежно від його належності та місця розташування. Зазначена інформація передається бортовою апаратурою судна в автоматичному режимі з визначеною періодичністю (від 15 хв до одного разу за добу) або за дистанційним запитом із центру збору даних з унеможливленням втручання екіпажу судна у структуру відомостей. Термін отримання відповідної інформації кінцевим користувачем має становити 15 хвилин після її передачі судном, а за запитом – протягом 30 хвилин після його надсилання. Зазвичай період оновлення даних становить 6 годин. Система LRIT може бути відключена на судні за таких умов: міжнародні договори, правила або стандарти передбачають захист навігаційних даних або якщо робота системи несе загрозу судну чи екіпажу.

Інформацію системи LRIT мають право використовувати уповноважені органи: держави прапора судна, держави порту призначення судна, прибережні держави (відносно суден, що знаходяться на відстані до 1000 морських миль від їх берега), а також пошуково-рятувальні служби.

До складу системи LRIT входять: бортова апаратура судна, космічний сегмент (навігаційні й телекомунікаційні КА), а також національний, регіональний і глобальний центри збору та обробки інформації.

Для обміну інформацією в системі LRIT використовують 17 типів повідомлень. 3-поміж них координати судна передають у трьох типах: періодичний звіт про місцезнаходження, звіт про місцезнаходження на запит, звіт про місцезнаходження за запитом пошуково-рятувальних служб.

Корабельне обладнання системи LRIT передає дані про свої координати у форматі, наведеному в табл. 1.

Таблиця 1

Формат пакету даних системи LRIT із географічними координатами судна

Обладнання	Параметр	Значення	Опис	Формат
Корабельне обладнання	Широта	Широта	Географічне значення координат широти у форматі WGS84: градуси, хвилини та частки хвилин із додаванням літери N або S	nn.nn.nn.c
	Довгота	Довгота	Географічне значення координат довготи у форматі WGS84: градуси, хвилини та частки хвилин із додаванням літери E або W	nnn.nn.nn.c
	Часова мітка	Дата та час	Дата та час отримання географічних координат через ГНСС у форматі UTC	xs:dateTime
	Ідентифікатор обладнання	Унікальний номер	Унікальний ідентифікатор суднового обладнання	C1...Cn

Примітка. У табл. 1 символи мають такі значення:

n – одна цифра від 0 до 9 у форматі ASCII;

C – одна літера у форматі ASCII;

C1...Cn – набір літер у форматі ASCII;

xs:dateTime – часовий штамп у форматі UTC: «_»? уууу (рік) «_» mm (місяць) «_» dd (день) «T» (початок відображення часу) hh (години у форматі 24, але значення не може бути більшим за 23) «:» mm (хвилини) «:» ss (секунди) Z (часова зона). Приклад: 2009-10-10T12:00:00Z.

Технічною документацією на систему LRIT не передбачено обмежень щодо використання каналів передачі даних [25]. Єдиною вимогою є те, що інформаційні запити мають опрацьовуватися у визначені інтервали часу.

Однак «Правила обладнання морських суден» [27] передбачають обов'язкове використання на борту суден, що виходять у райони плавання АЗ, супутникових станцій із підтримкою сервісів передачі даних Inmarsat C або Inmarsat mini C. Зазначені сервіси

використовують для передачі інформації Глобальної системи зв'язку в разі лиха (SafetyNet). Ця система для ретрансляції даних у райони плавання АЗ використовує супутникові канали зв'язку, організовані через КА Inmarsat. Здебільшого дані системи LRIT також передаються через КА Inmarsat із використанням сервісів Inmarsat C та Inmarsat mini C шляхом відправлення коротких текстових повідомлень із зазначенням координат судна, часової мітки та ідентифікатора судна (data reporting).

Зазначене також підтверджується даними Міжнародної морської організації (ncsr 8/9/1 15.01.2021), зокрема: станом на вересень 2020 року у світі активно експлуатувалося більше 155000 терміналів, що були підключені до сервісів Inmarsat C та mini C [28]. При цьому дані ООН вказують на те, що станом на 2021 рік у світі зареєстровано близько 54000 цивільних суден із валовою тоннажністю понад 1000 т (середні та великі судна). У зв'язку із цим функціонування системи LRIT пропонуємо детально розглянути на прикладі орбітального угруповання КА Inmarsat.

Космічний сегмент оператора Inmarsat станом на 2021 рік складався з 11 активних геостационарних КА Inmarsat [29] (табл. 2).

Таблиця 2

Перелік КА оператора Inmarsat

№ з/п	Назва КА	Точка на орбіті	Дата пуску	Період експлуатації, років
1	Inmarsat-4 F1	143,5E	01.03.2005	15
2	Inmarsat-4 F2	63,9E	08.11.2005	15
3	Inmarsat-4 F3	98,9W	19.08.2008	15
4	Inmarsat-4 AF4 (Alphasat)	24,8E	25.07.2013	15
5	Inmarsat-5 F1	62,6E	08.12.2013	15
6	Inmarsat-5 F2	55W	01.02.2015	15
7	Inmarsat-5 F3	178,6E	28.08.2015	15
8	Inmarsat-5 F4	56,5E	15.05.2017	15
9	Inmarsat-5F5	11E	29.11.2019	15
10	Inmarsat-6 F1	28W	21.12.2021	15
11	Hellassat-3	39E	28.06.2017	15

Так, у табл. 2 наведено чотири різні покоління КА: Inmarsat-4, Inmarsat-4A, Inmarsat-5, Inmarsat-6 та Hellassat. Сервіси Inmarsat C та Inmarsat mini C станом на 2021 рік функціонували через КА серії Inmarsat-4. Зону дії відповідних КА наведено на рис. 3.

За результатами аналізу зони дії та технічних характеристик КА [30] (табл. 2) встановлено, що для ретрансляції даних системи LRIT з використанням сервісів Inmarsat C та Inmarsat mini C в акваторії Чорного та Азовського морів використовують геостационарні КА Inmarsat-4 AF4 (24,8E), а також частково Inmarsat-4 F2 (63,9E).

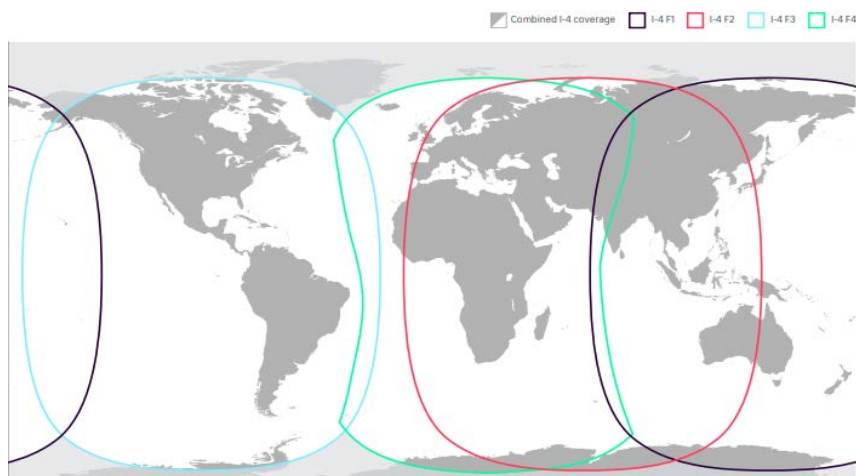


Рис. 3. Зона дії КА серії Inmarsat-4

КА Inmarsat-4 AF4 (Alphasat I-XL) є експериментальним апаратом, створеним спільно з Європейським космічним агентством [31]. Окрім радіообладнання, необхідного для організації морського мобільного зв'язку, встановленого на всіх КА серії Inmarsat-4, на його борту також встановлено:

- експериментальний ретранслятор радіосигналів Q/V радіодіапазонів;
- модуль лазерного зв'язку з низькоорбітальними КА;
- ретранслятор Ка-діапазону;
- розширений ретранслятор радіосигналів L-діапазону радіочастот.

Порівняльну характеристику КА Inmarsat-4 AF4 (24,8E) та Inmarsat-4 F2 (63,9E) наведено в табл. 3 [32].

Таблиця 3

Зведені характеристики радіоліній КА Inmarsat

Назва параметра	Inmarsat-4	Inmarsat-4A	
Діапазон радіочастот L-діапазону (МГц)	Вверх	1626,5–1660,5	1626,5–1660,5 1668,0–1675,0
	Вниз	1525,0–1559,0	1518,0–1525,0 1525,0–1559,0
Діапазон радіочастот С-діапазону (МГц)	Вверх	6424,0–6575,0	6425,0–6575,0
	Вниз	3550,0–3700,0	3550,0–3700,0
EIRP, dB W (global/wide/narrow)	L	41/56/67	48/60/70
	C	31	35
Добротність (G/T), dB/K (global/wide/narrow)	L	-10/0/10	-8/1/13
	C	-10	-10
Кількість частотних каналів	46	750	

У L-діапазоні радіочастот є можливість комутації абонентських каналів на борту КА без використання шлюзових наземних станцій. У разі необхідності підключення до шлюзових станцій трафік передається в С-діапазоні радіочастот.

Сервіси на КА серії Inmarsat-5 надаються незалежно від реалізованих через КА серії Inmarsat-4. КА серії Inmarsat-5 [30] застосовують для організації високошвидкісних каналів передачі даних у Ка-діапазоні радіочастот. Ці КА підтримують можливість ретрансляції інформації за стандартом DVB-S2, що передбачає адаптовані режими передачі даних та використання значного різноманіття видів модуляцій і символічних швидкостей. У зв'язку із впровадженням у світі технології 5G оператор Inmarsat у перспективі може відмовитися від використання С-діапазону радіочастот через скасування ліцензій на використання цього діапазону радіочастот супутниковим операторам на території країн, де вони здійснюють комерційну діяльність.

Бортові станції супутникового зв'язку, що використовуються для передачі даних через сервіси Inmarsat-C та Inmarsat mini-C, функціонують лише в L-діапазоні радіочастот (1525–1650 МГц). Символьна швидкість передачі даних становить 1200 Бод. Застосовується модуляція BPSK. Швидкість передачі даних – 600 біт/с або 1200 біт/с. Термінали не передбачають наявності шифрування даних. Однак підключення до мережі жорстко регламентується технічною документацією та передбачає проходження відповідних процедур.

В Україні підключення суден до системи Inmarsat здійснюється через приватне підприємство «Бейнлеумі Україна» (код ЄДРПОУ 32281304).

У разі експлуатації суден у крайніх широтах для передачі даних системи LRIT можуть додатково використовуватися термінали системи супутникового зв'язку Iridium, що також функціонують в L-діапазоні радіочастот (1616–1625 МГц).

Недоліком застосування системи LRIT є наявність затримки в передачі навігаційної інформації. Так, система LRIT в автоматичному режимі відправляє звіт у середньому лише один раз за шість годин, а в разі відправлення запиту береговою службою затримка відповіді становить до 30 хвилин.

Система AIS з 01.07.2008 є обов'язковою для встановлення на всіх пасажирських та вантажних суднах водотоннажністю більше 300 тонн, що здійснюють міжнародні рейси, а також більше 500 тонн, якщо не здійснюють їх [34]. Також обладнання системи AIS мають право встановлювати всі зацікавлені особи, задіяні до морських або річкових рейсів. Система призначена для: підвищення рівня безпеки мореплавства; покращення ефективності судноводіння; забезпечення функціонування центру управління рухом суден; захисту навколишнього середовища; розпізнавання суден; контролю дотримання режиму плавання.

Передача навігаційних даних системою здійснюється автоматично з визначеною періодичністю (від 2 с до 3 хв) або за запитом. Зазначений інтервал оновлення інформації є значно коротшим порівняно із системою LRIT.

Система AIS функціонує в напрямках судно – судно, судно – берег та судно – засіб загородження. Вона є відкритою на відміну від системи LRIT. Остання забезпечує виключно адресну доставку інформації, натомість AIS доступна усім користувачам з відповідним обладнанням.

Обладнання системи AIS має два класи: А та Б. Перший встановлюють на всіх судах, визначених керівними документами. Обладнання класу Б призначене для встановлення на яхтах за бажанням судновласника.

Зараз на постах технічного спостереження Військово-Морських Сил та Державної прикордонної служби України використовують дані системи AIS, що передаються за протоколом SOTDMA (Self Organising Time Division Multiple Access) у радіоканалах: AIS1 – 161,975 МГц, AIS2 – 162,025 МГц, AIS3 – 156,775 МГц та AIS4 – 156,825 МГц. Однак частоти передачі можуть змінюватися в межах діапазону 156,025–162,025 МГц з кроком 25 кГц або 12,5 кГц. У радіоканалах використовують частотну модуляцію GMSK. Ширина спектра становить 12,5 кГц або 25 кГц. Швидкість передачі інформації – 9600 біт/с. Робота кожної станції AIS жорстко синхронізована за часом UTC з можливою похибкою не гірше 10 мкс. Для передачі інформації використовують періодичні кадри тривалістю одна хвилина. Кожен кадр розбивається на 2250 таймслотів тривалістю 26,67 мс, що містять навігаційну інформацію окремого судна. Пропускна здатність одного частотного каналу – 2000 повідомлень за одну хвилину. Система AIS не передбачає використання завадозахисного кодування, скремблювання та переміщення біт. Виявлення помилок здійснюється шляхом підрахунку контрольної суми в пакеті даних.

У результаті проведених експериментальних досліджень [35] встановлено, що прийом радіосигналів системи AIS від рухомих надводних об'єктів у разі використання стандартного обладнання можливий на відстані до 60 км (див. рис. 4).

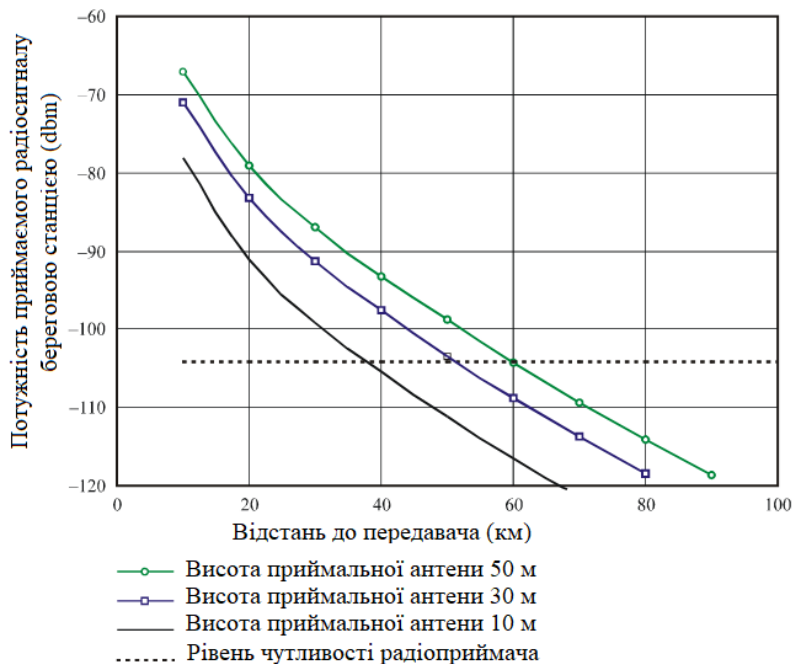


Рис. 4. Дальність прийому радіосигналу AIS залежно від висоти антени та чутливості радіоприймального пристрою

Водночас, у разі використання спеціалізованого обладнання за ідеальних умов, з урахуванням явища атмосферного заломлення радіосигналу, виявлення факту наявності радіосигналу системи AIS без його декодування можливе на відстані до 230 км від берегової лінії. Однак у цьому разі не буде виконано ідентифікацію рухомого надводного об'єкта, а лише його виявлення.

З метою збільшення зазначеної відстані різними авторами розглядалася можливість використання ретрансляторів повітряного та морського базування. Запропоновані заходи дозволяли збільшити відстань ретрансляції даних, однак такий підхід вимагав значних зусиль для підтримання стабільності з'єднання. З появою нових технологій у космічній сфері можливою стала ретрансляція даних системи AIS через низькоорбітальні сузір'я КА типу CubeSat. Ця технологія отримала назву Satellite-AIS [36].

У разі ретрансляції даних через КА виникає затримка в розповсюдженні радіосигналу, що вимагає використання специфічної структури пакета даних, яка відрізняється від стандартної [35]. Слід зауважити, що за таких умов передача даних здійснюється на частотних каналах AIS3 та AIS4. При цьому періодичність оновлення даних становить 3 хв. Структуру пакета даних системи AIS для ретрансляції через КА з висотою орбіти до 1000 км наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Структура пакета даних повідомлень AIS для космічних систем

Поля пакета даних	Кількість біт у полі	Значення
Лінійне прискорення	8	Заповнюється бітами поки формується фронт слота
Навчальна послідовність	24	Послідовність, що складається з 0 та 1 (010101...). Може починатися з 0 або 1. Кодується кодом NRZI
Прапор старту	8	Прапор протоколу HDLC у вигляді «01111110». Не піддається вставці біт (0 після п'яти 1)
Поле даних	96	Для звичайних повідомлень розмір даного поля становить 168 біт. У цьому разі поле скорочене на 72 біти для забезпечення роботи буфера приймальної системи великого радіуса дії. Кодується кодом NRZI. Зміна стану відбувається за передачі 0
CRC	16	Контрольна сума з 16 біт, що розраховується відповідно до ISO/IEC 13239:2002. Контрольна сума розраховується виключно для поля даних
Прапор закінчення	8	Прапор протоколу HDLC у вигляді «01111110». Не піддається вставці біт (0 після п'яти 1)
Буфер приймальної системи AIS	96	Використовується для компенсації затримки під час розповсюдження радіосигналу. Заповнюється бітами = 4 біти. Синхронізація (рухома станція) = 3 біти. Синхронізація (рухома станція / КА) = 1 біт. Різниця в затримці часу розповсюдження = 87 біт. Запас = 1 біт
Усього	256	У разі, якщо тривалість слота становить 26 мс. У скороченому повідомленні тривалістю 17 мс у слоті передається 160 біт. Скорочені повідомлення не використовуються в системі AIS великого радіуса дії

З таблиці випливає, що поле даних та сам пакет не містять міток часу. Даний параметр присвоюється пакету безпосередньо апаратурою ретрансляції КА.

Структура поля даних пакета більш детально наведено в табл. 5.

Структура поля даних у пакеті даних системи AIS для космічних систем

Параметр	Кількість біт	Опис
ID повідомлення	6	Завжди 27
Індикатор повтору	2	Завжди 3
ID користувача	30	Номер MMSI судна
Точність місцевизначення	1	1 – менше 10 м 0 – більше 10 м
Прапор RAIM	1	Автономний контроль цілісності даних радіоприймального пристрою. 1 – використовується (якщо радіоприймальний пристрій підключений до глобальної навігаційної супутникової системи); 0 – не використовується
Навігаційний статус	4	0 – на ходу з використанням двигуна; 1 – на якірній стоянці; 2 – в очікуванні команди; 3 – обмежена маневреність; 4 – обмежений осадкою; 5 – пришвартований; 6 – на міліні; 7 – зайнятий рибальством; 8 – на ходу під вітрилом; 9, 10, 13, 15 – зарезервовано; 11 – судно з механічним приводом з буксуванням за кормою; 12 – судно з механічним приводом з буксуванням штовханням або бортовим штовханням; 14 – AIS-SART, MOB-AIS, EPIRB-AIS
Довгота	18	Значення довготи з точністю до 1/10 хв (+/- 180°. Значення «+» – східна; «-» – західна)
Широта	17	Значення широти з точністю до 1/10 хв (+/- 90°. Значення «+» – північна; «-» – південна)
SOG	6	Швидкість руху у вузлах (0–62). Значення 63 відповідає неможливості визначення швидкості руху
COG	9	Напрямок руху в градусах (0–359); значення 511 відповідає неможливості визначення напрямку руху
Затримка визначення місцеположення	1	0 – затримка визначення місцеположення менше 5 с; 1 – затримка визначення місцеположення більше 5 с
Запасний	1	Завжди 0

У зв'язку з тим, що КА має широку зону приймання даних AIS, яка є значно ширшою за 60 км (залежно від висоти орбіти та конструкції приймальних бортових антен діаметр зони приймання може становити від 2000 км до 3500 км), сигнали одночасно приймаються від великої кількості суден. Якщо в зону дії потрапляє більше 2000 суден, може відбутися накладка їх часових слотів. Зазначене призводить до некоректної обробки даних. Деякі оператори космічних систем реалізували часткову обробку на борту КА даних системи S-AIS для усунення цього недоліку. Ретрансляція даних з низькоорбітальних КА на наземні станції здійснюється в УКХ та НВЧ діапазонах радіочастот (VHF, S, L, X, C, Ku, Ka), що обумовлено використанням різноманітних технологій комерційними операторами та наявністю в них ліцензій на різні радіочастотні діапазони.

Станом на грудень 2022 року на низькій навколосемній орбіті перебувало більше 200 КА, призначених для ретрансляції даних системи S-AIS [29]. Найбільші їх угруповання експлуатуються такими операторами: Spire Global Inc. (117), exactEarth (66) та OrbComm (12). Параметри КА цих трьох операторів наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Параметри радіоліній КА, що здійснюють ретрансляцію даних AIS

№ з/п	Назва оператора	Назва КА	Кількість КА	Висота орбіти, км	Нахил орбіти, град.	Назва обладнання	Діапазон частот лінії КА – Земля, МГц	Вид модуляції
1	Spire Global	Lemur-2	117	400–700	-	Sense	2020–2025	Дані відсутні
2	ExactEarth	Iridium NEXT	66	780	86	ExactView RT (Harris AppStar)	19400–19600	QPSK
3	OrbComm	Orbcomm OG2	12	750	47	AIS	137–150	OQPSK

Інформаційна цінність системи S-AIS є вищою порівняно з LRIT за рахунок меншого періоду оновлення даних.

Система дистанційного контролю риболовних суден. Використання в межах виключної (морської) економічної зони України Системи дистанційного контролю риболовних суден регламентовано постановами Кабінету Міністрів України від 25.12.2003 № 466 [23] та від 28.07.2004 № 963 [24]. Відповідно до цих нормативно-правових документів судновласник зобов'язаний облаштувати судно технічними засобами контролю його місцезнаходження. Якщо риболовне судно здійснює промисел на відстані, що не перевищує 2 морські милі від узбережжя (близько 3,71 км), то воно обладнується GPS трекером, що передає дані про його місцезнаходження через канали стільникових операторів зв'язку (*стандартом GSM передбачено, що максимальна відстань між базовою станцією і мобільним абонентом не повинна перевищувати 32 км для забезпечення часової синхронізації таймслотів*). Якщо рибний промисел здійснюється на відстані більше 2 морських миль, то судно обладнується технічним засобом контролю, що має можливість підключення до міжнародної космічної системи Inmarsat. Оператором Системи дистанційного контролю риболовних суден є Державне підприємство «Центр моніторингу та безпеки риболовних суден» Міністерства аграрної політики та продовольства України. Дані передаються через сервіси Inmarsat C та Inmarsat mini C. Принцип функціонування цієї системи аналогічний LRIT.

Система AIS також передбачає передачу інформації про те, що судно здійснює рибний промисел. Зокрема, її повідомлення містять поле «навігаційний статус», яке в разі проведення відповідної конфігурації передає дану інформацію в радіоефір.

Також функціонують й інші подібні системи моніторингу риболовних суден. Найбільшою міжнародною космічною системою такого плану є система Argos [37], яка для ретрансляції даних використовує 7 КА: NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, METOP-B, METOP-C, SARAL, Angels. Відомі також космічні системи моніторингу суден, організовані через КА комерційних операторів (Iridium, Orbcomm, GlobalStar) та інші.

В окремих випадках можуть використовуватися національні космічні системи. Для прикладу на території російської федерації функціонує космічна система моніторингу «Вікторія» [38], яка для передачі даних використовує канали зв'язку, організовані через КА Inmarsat. У перспективі можливе використання також національних КА. Зокрема, у межах Північного морського шляху планується використовувати КА «Арктика-М».

Система COSPAS-SARSAT функціонує з 1985 року [39]. В Україні оператором системи є Державний морський рятувально-координаційний центр Казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба України» Міністерства інфраструктури України. Система призначена для своєчасного встановлення факту катастрофи повітряних та морських суден з одночасним визначенням географічних координат місця події через приймання радіосигналів від аварійних буїв. Радіобуї встановлюють на всіх пасажирських суднах, а також вантажних водотоннажністю 300 тонн і більше.

Система «Коспас-Sarsat» складається з таких компонентів: аварійні радіобуї; космічний сегмент (навігаційні та ретрансляційні КА); наземний сегмент (станції приймання та обробки інформації, рятувальні підрозділи).

Активация радіобуя здійснюється вручну або автоматично, при цьому його аварійний сигнал починає передаватися на частоті 406 МГц, він приймається і ретранслюється КА, що знаходяться на низькій, середній та геостаціонарній орбітах. Станом на грудень 2021 року в рамках функціонування системи використовувалися 16 КА: «Метеор-М № 2», «Електро-Л № 2», «Електро-Л № 3», GOES-16, GOES-17, GSAT-17, INSAT-3D, INSAT-3DR, «Луч-5А», «Луч-5В», Meteosat-8, Meteosat-10, Meteosat-11, NOAA-18, NOAA-19, Metop-B, Galileo, GPS, BDS, «Глонас-К».

Ретрансляція аварійного радіосигналу з борту КА на наземні станції приймання здійснюється на частотах L-діапазону (1544–1545 МГц). Сигнал радіобуя містить інформацію про тип та назву судна, його державну належність, а також час від початку активації. Окремі радіобуї в активованому стані також передають інформацію GPS координат. Стандартне повідомлення містить 15 символів, що складається із цифр та латинських літер. Разом з повідомленням також передається контрольна сума з метою перевірки цілісності прийнятих даних та уникнення помилок під час зіставлення даних радіобуя з тими, що містяться у міжнародних реєстрах.

Система SSAS. Суднова система охоронного оповіщення (SSAS – Ship Security Alert System) дозволяє в разі загрози захоплення судна приховано подати обумовлений сигнал тривоги через натискання відповідної тривожної кнопки [40]. Він надсилається одним з обраних способів (sms, email, телефонний виклик тощо) через систему супутникового зв'язку Inmarsat або іншу. Зазначене повідомлення містить дані про назву судна, його координати та час відправлення сигналу.

Висновки. У результаті проведеного аналізу встановлено, що найбільш поширеними космічними системами ідентифікації рухомих надводних об'єктів є такі: LRIT, S-AIS, Система дистанційного контролю риболовецьких суден, COSPASS-SARSAT, SSAS.

Розглянуті космічні системи дозволяють збільшити ефективність функціонування створюваної системи висвітлення надводної обстановки за рахунок зняття обмеження

щодо відстані моніторингу надводної обстановки, часу доби та погодних умов. Крім того, використання зазначених систем в умовах збройної агресії збільшує живучість системи висвітлення надводної обстановки. Разом з цим слід вказати і на той факт, що космічні системи ідентифікації надводних рухомих об'єктів дозволяють одночасно вирішувати такі основні завдання, поставлені для систем висвітлення надводної обстановки: виявлення, ідентифікація, супроводження рухомих надводних об'єктів та інформаційний обмін цими даними.

Однак зазначені системи мають і низку недоліків. Зокрема, космічні системи ідентифікації цілодобово повинні використовуватися лише цивільними суднами, що не завжди відбувається на практиці. На урядових та військових кораблях системи моніторингу в обов'язковому порядку мають застосовуватися лише в місцях з інтенсивним рухом суден, під час проходження морських проток та поблизу портів тощо. У разі вимкнення бортового обладнання космічні системи не здійснюватимуть ретрансляції навігаційної інформації. Також системи радіозв'язку аналогічно, як і системи радіомоніторингу, зазнають впливу радіоперешкод. У даному контексті слід зазначити, що в акваторії Чорного моря неодноразово фіксувалися випадки постановки радіоперешкод, у результаті чого відбувалася підміна навігаційної інформації, а в окремих випадках обмін даними взагалі унеможлилювався. Крім того, є ймовірність встановлення радіобудови систем ідентифікації з реальних суден на сторонні об'єкти для маскуванню маршруту переміщення цих суден.

Наявність перерахованих недоліків вимагає використання в системах висвітлення надводної обстановки різних джерел інформації. Такий підхід дозволяє отримувати консолідовану інформацію для прийняття ефективних управлінських рішень. За аналогічним принципом функціонують системи висвітлення надводної обстановки провідних морських держав, зокрема Південної Кореї, США, Канади, ЄС тощо.

Враховуючи зазначене, використання розглянутих космічних систем ідентифікації рухомих надводних об'єктів у складі державної інтегрованої системи висвітлення надводної та підводної обстановки в акваторіях Чорного й Азовського морів, басейнів річок Дніпро і Дунай є доцільним.

Серед розглянутих космічних систем найбільшу інформаційну цінність з урахуванням періодичності оновлення даних становлять системи: LRIT, S-AIS та Система дистанційного контролю риболовних суден. Системи COSPAS-SARSAT та SSAS використовуються лише в разі виникнення надзвичайних ситуацій.

При цьому слід зауважити, що питання використання даних космічних систем S-AIS залишається неврегульованим у законодавчому полі України.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 25 березня 2021 року «Про Стратегію воєнної безпеки України» : Указ Президента України від 25.03.2021 № 121/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021> (дата звернення: 24.11.2022).
2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 серпня 2021 року «Про Стратегічний оборонний бюлетень України» : Указ Президента України від

17.09.2021 № 473/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#Text> (дата звернення: 24.11.2022).

3. Про невідкладні заходи щодо захисту національних інтересів на Півдні та Сході України, у Чорному та Азовському морях і Керченській протоці : рішення Ради національної безпеки та оборони України від 12.10.2018 № 0011525. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0011525-18#Text> (дата звернення: 10.12.2022).

4. Про Річну національну програму під егідою Комісії Україна – НАТО на 2021 рік : Указ Президента України від 11.05.2021 № 189/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/189/2021#Text> (дата звернення: 10.12.2022).

5. Про схвалення Концепції створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження) : розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.07.2003 № 410-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/410-2003-%D1%80#Text> (дата звернення: 10.12.2022).

6. Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми створення державної інтегрованої інформаційної системи забезпечення управління рухомими об'єктами (зв'язок, навігація, спостереження) : постанова Кабінету Міністрів України від 17.08.2008 № 834. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/834-2008-%D0%BF#Text/> (дата звернення: 02.11.2022).

7. Про затвердження плану першочергових заходів з облаштування державного кордону вздовж берегової лінії та забезпечення охорони територіального моря України в межах Донецької, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей : розпорядження Кабінету Міністрів України від 13.10.2015 № 1068-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1068-2015-%D1%80#Text> (дата звернення: 02.11.2022).

8. Про підвищення обороноздатності і безпеки держави в частині створення сучасної системи висвітлення надводної обстановки : постанова Кабінету Міністрів України від 11.11.2015 № 926. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2015-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.10.2022).

9. Про схвалення Стратегії розвитку Державної прикордонної служби України : розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.11.2015 № 1189-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1189-2015-%D1%80#Text> (дата звернення: 24.10.2022).

10. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 398-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 24.11.2022).

11. Про схвалення Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту («дорожньої карти») : розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.10.2017 № 747-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/747-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 24.11.2022).

12. Про внесення змін до Морської доктрини України на період до 2035 року : постанова Кабінету Міністрів України від 18.12.2018 № 1108. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1108-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.11.2022).

13. Стратегія Військово-Морських Сил Збройних Сил України 2035. URL: <https://navy.mil.gov.ua/strategiya-vijskovo-morskyh-syl-zbrojnyh-syl-ukrayiny-2035/> (дата звернення: 24.11.2022).

14. Горбулін В. П. Щодо захисту морського узбережжя України // Вісник Національної академії наук України. 2020. № 9. С. 30–40. <https://doi.org/10.15407/vsn2020.09.030>
15. GICOMS. URL: <https://www.gicoms.go.kr> (дата звернення: 24.11.2022).
16. MarNIS. URL: <https://www.cordis.europa.eu/project/id/506408> (дата звернення: 24.11.2022).
17. Каталог даних Європейського агентства морської безпеки. URL: <http://www.emsa.europa.eu/copernicus.html> (дата звернення: 08.12.2022).
18. Росія посилює радіотехнічний контроль над Чорним морем і Кримом. URL: <https://medianova.com.ua/rosiya-posilyuye-radiotekhnichniy-kontrol-nad-chornim-morem-krimom/> (дата звернення: 08.12.2022).
19. The North American Satellite Tracking of Pollution (NASTOP) Program. URL: <https://blog.response.restoration.noaa.gov/north-american-satellite-tracking-pollution-nastop-program-canada-us-collaborative-effort-marine> (last accessed: 10.12.2022).
20. Overview of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out. URL: <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2021/ADSB/P01-OverviewADSBOut-ENG.pdf> (last accessed: 10.12.2022).
21. Супутникова система «Гонец». URL: <https://gonets.ru/rus/solutions/transport/> (дата звернення: 10.12.2022).
22. Про затвердження Положення про Національний центр дальньої ідентифікації та контролю місцезнаходження суден : наказ Міністерства інфраструктури України від 22.09.2015 № 379. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1214-15#Text> (дата звернення: 03.12.2022).
23. Про утворення системи дистанційного контролю риболовних суден : наказ Міністерства аграрної політики України від 25.12.2003 № 466. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1258-03#Text> (дата звернення: 03.12.2022).
24. Про створення системи моніторингу риболовних суден : постанова Кабінету Міністрів України від 28.07.2004 № 963. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-2004-%D0%BF#Text> (дата звернення: 08.12.2022).
25. Перелік міжнародних нормативних документів ІМО, що регулюють діяльність системи дальньої ідентифікації і контролю місцезнаходження суден / Український національний центр даних системи дальньої ідентифікації і контролю місцезнаходження суден. URL: http://lrit.gov.ua/ukr/imo_ua.html (дата звернення: 08.12.2022).
26. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974 р. (СОЛАС-74) (SOLAS). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_251#Text (дата звернення: 08.12.2022).
27. Правила щодо обладнання морських суден // Регістр судноплавства України. URL: <http://www.shipregister.ua/books/POSS2020.pdf> (дата звернення: 08.11.2022).
28. Розвиток послуг Глобальної морської системи зв'язку у випадку лиха / Міжнародна морська організація. URL: https://iho.int/uploads/user/Inter-Regional%20Coordination/WWNWS/WWNWS13/WWNWS13_2021_INF.1_EN_NCSR8-9-1-Analysis_and_assessment_of_the_GMDSS_performance_of_Inmarsat_Global_Limited.pdf (дата звернення: 08.11.2022).
29. Космічний каталог. URL: <https://celestrak.com/satcat/search.php> (дата звернення: 08.11.2022).

30. Зона електромагнітної доступності космічних апаратів / Оператор Inmarsat. URL: <https://www.inmarsat.com/en/about/technology/satellites.html> (дата звернення: 04.12.2022).
31. Альфасат / Європейське космічне агентство. URL: https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Alphasat (дата звернення: 04.12.2022).
32. Макаренко С. Описательная модель системы спутниковой связи Inmarsat // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 4. С. 64–91. URL: <https://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/04-Makarenko.pdf> (дата обращения: 08.12.2022)
33. Комісія з питань конкуренції та захисту прав споживачів Австралії. URL: <https://www.accc.gov.au/system/files/Inmarsat.pdf> (дата звернення: 08.12.2022).
34. Automatic identification system / Міжнародна морська організація. URL: <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/AIS.aspx> (last accessed: 08.11.2022).
35. Long range detection of automatic identification system (AIS) messages under various tropospheric propagation conditions / Міжнародний союз електрозв'язку. URL: <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2123> (last accessed: 08.11.2022).
36. Improved satellite detection of AIS / Міжнародний союз електрозв'язку. URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2169-2009-PDF-E.pdf (last accessed: 02.10.2022).
37. Argos System. URL: <https://www.argos-system.org/> (last accessed: 08.10.2022).
38. Система «Викторія». URL: https://victoria.lrit.ru/index_rus/index.html (дата обращения: 06.12.2022).
39. Система COSPAS-SARSAT. URL: <https://www.cospas-sarsat.int/en/documents-pro/system-documents> (дата звернення: 08.11.2022).
40. Guidance on the provision of information for identifying ships when transmitting ship security alerts / Міжнародна морська організація. URL: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MSC.Circ.1190.pdf> (last accessed: 08.12.2022).

Стаття надійшла до редакції 15.12.2022.

REFERENCES

1. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 25 bereznia 2021 roku «Pro Stratehiiu voiennoi bezpeky Ukrainy» : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 25.03.2021 № 121/2021 [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of March 25, 2021 "On the Strategy of Military Security of Ukraine": Decree of the President of Ukraine of 25.03.2021 № 121/2021]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021> [in Ukrainian].
2. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 20 serpnia 2021 roku «Pro Stratehichniy oboronnyi biuleten Ukrainy» : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 17.09.2021 № 473/2021 [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of August 20, 2021 "On the Strategic Defense Bulletin of Ukraine": Decree of the President of Ukraine of 17.09.2021 № 473/2021]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#Text> [in Ukrainian].
3. Pro nevidkladni zakhody shchodo zakhystu natsionalnykh interesiv na Pivdni ta Shhodi

Ukrainy, u Chornomu ta Azovskomu moriakh i Kerchenskii prototsi : rishennia Rady natsionalnoi bezpeky ta oborony Ukrainy vid 12.10.2018 № 0011525 [On urgent measures to protect national interests in the South and East of Ukraine, in the Black and Azov Seas and the Kerch Strait: decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated 12.10.2018 № 0011525]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0011525-18#Text> [in Ukrainian].

4. Pro Richnu natsionalnu prohramu pid ehidoiu Komisii Ukraina – NATO na 2021 rik : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 11.05.2021 № 189/2021 [On the Annual National Program under the auspices of the NATO-Ukraine Commission for 2021: Decree of the President of Ukraine of 11.05.2021 № 189/2021]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/189/2021#Text> [in Ukrainian].

5. Pro skhvalennia Kontseptsii stvorennia derzhavnoi intehrovanoi informatsiinoi systemy zabezpechennia upravlinnia rukhomymy ob'iektamy (zv'iazok, navihatsiia, sposterezhennia) : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.07.2003 № 410-p [About approval of the Concept of creation of the state integrated information system of maintenance of management of mobile objects (communication, navigation, supervision): the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 07/17/2003 № 410-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/410-2003-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

6. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi naukovo-tekhnichnoi prohramy stvorennia derzhavnoi intehrovanoi informatsiinoi systemy zabezpechennia upravlinnia rukhomymy ob'iektamy (zv'iazok, navihatsiia, sposterezhennia) : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.08.2008 № 834 [About the statement of the State target scientific and technical program of creation of the state integrated information system of maintenance of management of mobile objects (communication, navigation, supervision): the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 17.08.2008 № 834]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/834-2008-%D0%BF#Text/> [in Ukrainian].

7. Pro zatverdzhennia planu pershocherhovykh zakhodiv z oblashtuvannia derzhavnoho kordonu vzdovzh berehovoii linii ta zabezpechennia okhorony terytorialnoho moria Ukrainy v mezhakh Donetskoii, Zaporizkoii, Khersonskoii ta Mykolaivskoii oblastei : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 13.10.2015 № 1068-p [On approval of the plan of priority measures for the arrangement of the state border along the coastline and protection of the territorial sea of Ukraine within the Donetsk, Zaporizhia, Kherson and Mykolaiv regions: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 13.10.2015 № 1068-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1068-2015-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

8. Pro pidvyshchennia oboronozdatnosti i bezpeky derzhavy v chastyni stvorennia suchasnoi systemy vysvitlennia nadvodnoi obstanovky : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11.11.2015 № 926 [On improving the defense capabilities and security of the state in terms of creating a modern system of lighting the surface situation: the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine from 11.11.2015 № 926]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2015-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

9. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23.11.2015 № 1189-p [On approval of the Strategy for the development of the State Border Guard Service: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine

dated 23.11.2015 № 1189-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1189-2015-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

10. Pro skhvalennia Osnovnykh napriamiv rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky na dovhostrokovi period : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 14.06.2017 № 398-p [On approval of the Main directions of development of armaments and military equipment for the long term: order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 14.06.2017 № 398-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

11. Pro skhvalennia Stratehii implementatsii polozhen dyrektyv ta rehlamentiv Yevropeiskoho Soiuzu u sferi mizhnarodnoho morskoho ta vnutrishnoho vodnoho transportu («dorozhnoi karty») : rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 11.10.2017 № 747-p [On approval of the Strategy for implementation of the provisions of directives and regulations of the European Union in the field of international maritime and inland water transport ("road map"): order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 11.10.2017 № 747-p]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/747-2017-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

12. Pro vnesennia zmin do Morskoï doktryny Ukrainy na period do 2035 roku : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 18.12.2018 № 1108 [On Amendments to the Maritime Doctrine of Ukraine for the Period up to 2035: resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of December 18, 2018 № 1108]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1108-2018-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

13. Stratehiia Viiskovo-Morskykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy 2035 [Strategy of the Naval Forces of the Armed Forces of Ukraine 2035]. Retrieved from <https://navy.mil.gov.ua/strategiya-vijskovo-morskyh-syl-zbroinyh-syl-ukrayiny-2035/> [in Ukrainian].

14. Horbulin, V. P. (2020). Shchodo zakhystu morskoho uzberezhzhia Ukrainy [Regarding the protection of the sea coast of Ukraine]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 9, 30–40. <https://doi.org/10.15407/visn2020.09.030> [in Ukrainian].

15. GICOMS. (n.d.). Retrieved from <https://www.gicoms.go.kr>

16. MarNIS. (n.d.). Retrieved from <https://www.cordis.europa.eu/project/id/506408>

17. Kataloh danykh Yevropeiskoho ahentstva morskoi bezpeky [Data catalog of the European Maritime Safety Agency]. (n.d.). Retrieved from <http://www.emsa.europa.eu/copernicus.html>

18. Rosiia posyliuie radiotekhnichni kontrol nad Chornym morem i Krymom [Russia is strengthening its radio control over the Black Sea and Crimea]. (n.d.). Retrieved from <https://medianova.com.ua/rosiya-posilyuye-radiotekhnichnyy-kontrol-nad-chornim-morem-krimom/> [in Ukrainian].

19. The North American Satellite Tracking of Pollution (NASTOP) Program. (n.d.). Retrieved from <https://blog.response.restoration.noaa.gov/north-american-satellite-tracking-pollution-nastop-program-canada-us-collaborative-effort-marine>

20. Overview of Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) Out. (n.d.). Retrieved from <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2021/ADSB/P01-OverviewADSBOut-ENG.pdf>

21. Suptnykova systema «Gonets» [Satellite system "Gonets"]. (n.d.). Retrieved from <https://gonets.ru/rus/solutions/transport/> [in Ukrainian].

22. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro Natsionalnyi tsentr dalnoi identyfikatsii ta kontroliu mistseznakhodzhennia suden : nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 22.09.2015 № 379

- [On the approval of the Regulation on the National Center for Remote Identification and Control of the Location of Ships: Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine dated September 22, 2015 № 379]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1214-15#Text> [in Ukrainian].
23. Pro utvorennia systemy dystantsiinoho kontroliu rybolovnykh suden : nakaz Ministerstva ahrarnoi polityky Ukrainy vid 25.12.2003 № 466 [On the establishment of a system of remote control of fishing vessels: order of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine dated 12.25.2003 № 466]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1258-03#Text> [in Ukrainian].
24. Pro stvorennia systemy monitorynhu rybolovnykh suden : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 28.07.2004 № 963 [On the creation of a fishing vessel monitoring system: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 07.28.2004 № 963]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/963-2004-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
25. Ukrainskyi natsionalnyi tsentr danykh systemy dalnoi identyfikatsii i kontroliu mistseznakhodzhennia suden [Ukrainian national data center of the system of remote identification and control of the location of ships]. (n.d.). *Perelik mizhnarodnykh normatyvnykh dokumentiv IMO, shcho rehuliuuiut diialnist systemy dalnoi identyfikatsii i kontroliu mistseznakhodzhennia suden [List of IMO international normative documents regulating the activities of the system of long-range identification and control of the location of ships]*. Retrieved from http://irit.gov.ua/ukr/imo_ua.html [in Ukrainian].
26. Mizhnarodna konventsiiia z okhorony liudskoho zhyttia na mori 1974 r. (SOLAS-74). [International Convention for the Safety of Life at Sea 1974 (SOLAS-74)]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_251#Text [in Ukrainian].
27. Rehistr sudnoplavstva Ukrainy [Register of Shipping of Ukraine]. (n.d.). *Pravyla shchodo obladnannia morskyykh suden [Rules regarding the equipment of sea vessels]*. Retrieved from <http://www.shipregister.ua/books/POSS2020.pdf> [in Ukrainian].
28. Mizhnarodna morska orhanizatsiia [International Maritime Organization]. (n.d.). *Rozvytok posluh Hlobalnoi morskoi systemy zv'iazku u vypadku lykha [Development of services of the Global Maritime Communication System in the event of a disaster]*. Retrieved from https://iho.int/uploads/user/Inter-Regional%20Coordination/WWNWS/WWNWS13/WWNWS13_2021_INF.1_EN_NCSR8-9-1-Analysis_and_assessment_of_the_GMDSS_performance_of_Inmarsat_Global_Limited.pdf
29. Kosmichnyi kataloh [Satellite Catalog (SATCAT)]. (n.d.). Retrieved from <https://celestrak.com/satcat/search.php>
30. Operator Inmarsat [Inmarsat operator]. (n.d.). *Zona elektromahnitnoi dostupnosti kosmichnykh aparativ [Zone of electromagnetic accessibility of space vehicles]*. Retrieved from <https://www.inmarsat.com/en/about/technology/satellites.html>
31. Yevropeiske kosmichne ahentstvo [The European Space Agency]. *Alfasat [Alphasat]*. Retrieved from https://www.esa.int/Applications/Telecommunications_Integrated_Applications/Alphasat
32. Makarenko, S. (2018). Opisatel'naia model' sistemy sputnikovoi sviazi Inmarsat [Descriptive model of the Inmarsat satellite communication system]. *Sistemy upravleniia, sviazi i bezopasnosti [Control Systems, Communications and Security]*, 4, 64–91. URL: <https://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/04-Makarenko.pdf> [in Russian].
archive/2018-04/04-Makarenko.pdf (data zvernennia: 08.12.2022)
33. Australian Competition and Consumer Commission. (n.d.). Retrieved from <https://www.accc.gov.au/system/files/Inmarsat.pdf>

34. International Maritime Organization. (n.d.). *Automatic identification system*. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/AIS.aspx>
35. International Telecommunication Union. (n.d.). *Long range detection of automatic identification system (AIS) messages under various tropospheric propagation conditions*. Retrieved from <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2123>
36. International Telecommunication Union. (n.d.). *Improved satellite detection of AIS*. Retrieved from https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.2169-2009-PDF-E.pdf
37. Argos System. (n.d.). Retrieved from <https://www.argos-system.org/>
38. Система «Викторія» ["Victoria" system]. (n.d.). Retrieved from https://victoria.lrit.ru/index_rus/index.html [in Russian].
39. COSPAS-SARSAT System. (n.d.). Retrieved from <https://www.cospas-sarsat.int/en/documents-pro/system-documents>
40. International Maritime Organization. (n.d.). *Guidance on the provision of information for identifying ships when transmitting ship security alerts*. Retrieved from <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Security/Documents/MSC.Circ.1190.pdf>

S. P. Fryz, O. V. Kalvatynskyi, S. O. Sobolenko, R. O. Avsiievych

ANALYSIS OF SPACE SYSTEMS FOR MOVING WATER SURFACE OBJECTS IDENTIFICATION

The governing documents assume the creation in Ukraine by 2025 of a state integrated system of water surface and underwater environment of the Black and Azov seas and the basins of the Dnipro and Danube rivers, as well as a system of operational (combat) control, communication, intelligence and surveillance (C4ISR) of the Armed Forces of Ukraine. Both systems will function in the interests of the Naval Forces of Ukraine and will enable receiving operational data on the water surface environment for the purpose of protecting the sovereignty and territorial integrity of Ukraine, as well as countering illegal activities within the exclusive (maritime) economic zone of Ukraine.

The article considers the possibility of using space systems for moving water surface objects identification as part of the targeted water surface environment detection systems. The mentioned space systems allow to simultaneously solve all three tasks inherent in water surface environment detection systems, i.e. detection, identification and observation of moving water surface objects. In the article, moving water surface objects should be understood as manned or unmanned sea and riverine single and group objects capable of moving on the water surface. Currently, similar space systems are already used by the EU, the USA, as well as other maritime states. The abovementioned systems enable the performance of the tasks of covering the water surface environment at significant distances from the coastline under any weather conditions and at different times of the day. At the same time, there are no risks for personnel and technical means of surveillance. The article contains a description of the specified space systems, as well as an overview of the spacecraft used to relay on-board navigational information.

It should be noted that at the current stage, similar space systems are also used to detect, identify and track air and ground moving objects.

Keywords: *water surface environment; exclusive (maritime) economic zone; space system; radio line; navigation information; AIS; LRIT; COSPAS-SARSAT; SSAS; VMS.*

І. А. Пількевич, А. М. Токар, Р. І. Лобода, В. В. Лобода

**АЛГОРИТМИ ОЦІНЮВАННЯ ЧАСУ СЕНСОМОТОРНИХ РЕАКЦІЙ
ОПЕРАТОРІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

Стрімкий розвиток науки та техніки зумовлює значне розширення сфер застосування безпілотних авіаційних комплексів різного призначення. Запорукою їх ефективного використання є якісна підготовка операторів, важливий елемент якої – це професійний психологічний відбір кандидатів, зокрема, оцінювання їх сенсомоторних реакцій. Його можна забезпечити шляхом вибору та обґрунтування відповідних алгоритмів оцінювання. У статті запропоновано алгоритми, які дають можливість оцінити час сенсомоторних реакцій оператора безпілотних авіаційних комплексів І класу на основі накопичення статистичного матеріалу та його математичного оброблення за результатами проведення натурного експерименту. Це дозволяє оцінити числові характеристики розподілу тривалості середнього часу реакції в трьох режимах: вироблення навички, в умовах перешкод, в умовах перебудови навички, – та, зрештою, отримати узагальнену оцінку. Шляхом аналізу випадкових неперервних величин, що набувають значення з деякого проміжку, вдалося встановити нормативи, з якими порівнюють отримані показники часу сенсомоторної реакції оператора безпілотних авіаційних комплексів І класу та формується висновок щодо їх придатності до навчання. У роботі наведено результати апробації запропонованих алгоритмів, отримано статистичні ряди для трьох режимів оцінювання. Для наочного подання рядів побудовано відповідні гістограми розподілу тривалості середнього часу реакції. З метою усунення похибки репрезентативності здійснено вирівнювання статистичних рядів шляхом підбору для кожного теоретичної кривої розподілу, що відображає лише суттєві риси статистичного матеріалу. Для цього застосовано апроксимацію гістограми розподілу поліномом четвертого ступеня. Встановлено інтервал теоретичної щільності розподілу, потрапляння в який часу сенсомоторної реакції довільної особи вважається нормою за заданої ймовірності достовірності такої події 0,95. Для перевірки дієвості запропонованої методики синтезовано алгоритм оцінювання часу сенсомоторної реакції оператора безпілотних авіаційних комплексів І класу в трьох режимах та розроблено відповідне програмне забезпечення, що реалізує розроблений алгоритм.

Ключові слова: *безпілотний авіаційний комплекс; сенсомоторна реакція; середній час реакцій.*

Постановка проблеми в загальному вигляді Аналіз бойових дій у період повномасштабного вторгнення РФ на територію України показав ефективність застосування безпіотної авіації в досягненні переваги над противником. На сьогоднішній день методи дослідження технічних систем дозволяють успішно встановлювати закономірності виникнення відмов пристроїв та способи їх прогнозування. Це дає змогу проектувати та виготовляти оптимальні пристрої, з яких комплектуються бортова та

наземна апаратура безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). Організаційно-штатна структура підрозділів, режими праці та відпочинку обґрунтовані відповідно до інтенсивності застосування БпАК [1]. У ході аналізу було встановлено, що однією з причин зниження ефективності застосування БпАК у Збройних Силах (ЗС) України є недостатня професійна надійність членів екіпажів, під якою розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність їх дій, направлених на виконання бойового завдання в процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою. Професійна надійність оператора безпосередньо залежить від його психофізіологічних якостей. Тому актуальним є розроблення алгоритмів оцінювання часу сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [2] розглянуто один з перших приладів для реєстрації часу реакції, розроблений в Інституті авіаційної медицини в 1948 році. Це був комбінований апарат для дослідження сенсомоторних реакцій. Пристрій також активно використовувався для оцінювання реакції на зоровий стимул машиністів залізничного транспорту. Він дозволяв вимірювати прості та складні сенсомоторні реакції. У [3] описано прилад “Темп”, що діє за схожим принципом та є вимірювачем часу реакцій, його використовують для визначення тривалості сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями діяльності в республіці білорусь (рб). Він дає можливість оцінити час реакції людини на світлові та звукові подразники.

Крім того, у рб для оцінювання часу як простої, так і складної сенсомоторної реакції використовують вимірювальний комплекс РКР-2 (реєстратор комплексу реакцій), який складається з вимірювально-комутаційного блоку та блоку подразників, додаткового обладнання (блок живлення, комплекту кабелів тощо) [3].

Недоліками розглянутих приладів є значні масогабаритні показники, застаріла конструкція, необхідність ручного знімання та оброблення результатів після подачі кожного сигналу, що потребує багато часу для проведення оцінювання сенсомоторної реакції. Звісно, значно звужують можливості використання цих приладів.

У сучасних вітчизняних психофізіологічних дослідженнях з метою оцінювання сенсомоторних реакцій кандидатів для виконання робіт підвищеної небезпеки застосовується пристрій психофізіологічного тестування “Психофізіолог” [4]. Він дозволяє здійснювати низку психофізіологічних тестів, зокрема, оцінювання простих сенсомоторних реакцій на зорові та слухові подразники.

Також для оцінювання часу реакції людини на світлові та звукові подразники використовують апаратний комплекс “Хист”, розроблений Інститутом психології ім. Г. С. Костюка Національної академії педагогічних наук України спільно з кафедрою акустики та акустoeлектроніки Національного технічного університету “Київський політехнічний інститут” і виготовлений Державним підприємством “Телеком-пневматик” [5]. Призначений для вимірювання часу простої сенсомоторної реакції людини на світловий і звуковий подразник (окремо обчислюються реакції верхніх і нижніх кінцівок).

У рб для психофізіологічного супроводження професійного контингенту Міністерства надзвичайних ситуацій, Міністерства внутрішніх справ, Федеральної служби виконання покарань, інших силових відомств застосовується апаратно-програмний комплекс “НС-Психотест”, який дозволяє досліджувати сенсомоторні реакції на зорові та звукові стимули [4, 6].

Методики психодіагностики в спорті передбачають використання спеціалізованого апарата типу “Абдів” [7]. Прилад призначений для оцінювання сенсомоторних реакцій спортсменів та передбачає здійснення ними координованих рухів двома руками або руками і ногами у відповідь на звукові або світлові подразники.

На даний час у ЗС України для оцінювання сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання за спеціалізацією “Льотна експлуатація та бойове застосування літаків” у Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба застосовують спеціалізований прилад психологічного відбору ППВ-2 [8], який передбачає виконання рухів, специфічних для пілота літака: рухів важелів руками та педалей ногами у відповідь на спалахи різнокольорових лампочок.

Отже, за результатами аналізу не вдалося виявити комплексів для оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА. Встановлено, що для оцінювання простих сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями діяльності використовуються пристрої, що передбачають вимірювання часу реакції на заздалегідь відомий зоровий або звуковий стимули. При цьому спостерігається тенденція до переходу від суто апаратних засобів до апаратно-програмних комплексів. Оцінювання складних сенсомоторних реакцій здійснюється за допомогою пристроїв з більш складним алгоритмом роботи з використанням ПЕОМ, які передбачають здійснення рухів, що властиві оператору певного профілю в його подальшій професійній діяльності, у відповідь на зорові або звукові стимули. Але жоден з описаних вище приладів не оцінює рухи, які є характерними саме операторам БпЛА.

Формулювання завдання дослідження. Виконання бойового завдання екіпажем БпАК залежить від професійної надійності його членів та технічної складової БпАК. Під професійною надійністю розуміють безвідмовність, безпомилковість та своєчасність їх дій, направлених на виконання бойового завдання, у процесі взаємодії з апаратурою БпАК та між собою. Професійна надійність оператора безпосередньо залежить від його психофізіологічних якостей [9]. Тому актуальним є розроблення алгоритмів оцінювання часу сенсомоторних реакцій операторів БпЛА.

Виклад основного матеріалу. Головним напрямком забезпечення необхідного рівня надійності операторів є формування їх професійної придатності, під якою розуміють наявність у людини необхідних психофізіологічних і психологічних властивостей, які відповідають конкретному фаху й забезпечують достатню ефективність професійної діяльності [9]. Процес формування професійної придатності передбачає створення системи професійного відбору та підготовки до певного профілю операторської діяльності (методи, засоби, програми, критерії, тренажери тощо) [9, 10]. Важливою складовою цієї системи є професійний психологічний відбір (ППВ) кандидатів на навчання, який полягає в проведенні комплексу заходів, спрямованих на забезпечення якісного відбору кандидатів, шляхом оцінювання відповідності рівня розвитку необхідних психофізіологічних якостей та властивостей особистості вимогам професійної діяльності [11].

Одним із основних етапів ППВ операторів БпЛА є оцінювання їх сенсомоторних реакцій, що передбачає застосування спеціалізованого апаратно-програмного комплексу. Аналіз літератури щодо відомих комплексів оцінювання сенсомоторних реакцій

операторів БпЛА не дав результатів. У той же час було виявлено, що поширені комплекси оцінювання сенсомоторних реакцій за різними профілями діяльності не враховують специфіки сенсомоторики оператора БпЛА.

Отже, розроблення алгоритмів оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА є актуальним науково-практичним завданням.

Для розроблення спеціалізованого програмного забезпечення апаратно-програмного комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА були використані принципи подійно-орієнтованого програмування, за якого послідовність виконання програмного коду визначається подіями: діями користувача (за допомогою клавіатури, маніпулятора типу “миші” тощо); повідомленнями інших програм і потоків; операційною системою (наприклад, надходження мережевого пакету, виникнення програмного чи апаратного переривання) тощо.

Основу алгоритму подійно-орієнтованої програми становить нескінченний цикл почергового опитування апаратного та програмного сегмента на наявність подій. Якщо в ході опитування виявиться, що поточний (у порядку черги опитування) елемент згенерував якусь подію (наприклад, натискання однієї з кнопок маніпулятора типу “миші”), то запускається підпрограма-аналізатор подій від даного елемента. Після аналізу та ідентифікації розпочинає роботу підпрограма-обробник події, яка виконує набір дій, необхідних для обслуговування тієї події, яка їх викликала. Як правило, підпрограма-обробник запускається на виконання в окремому потоці, який проходить паралельно із тим потоком, який виконує нескінченний цикл опитування оточення на предмет виникнення нових подій. У такий спосіб можливим є виконання декількох потоків паралельно (точніше, псевдопаралельно, з квантуванням машинного часу між ними). Кожна із підпрограм-обробників подій, у свою чергу, також може бути побудована як подійно-орієнтована.

Виходячи із розглянутих принципів, були розроблені програмні модулі спеціалізованого програмного забезпечення апаратно-програмного комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА. Для цього, відповідно до структури спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 1), розроблено алгоритми оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в режимах: вироблення навички; в умовах перешкод; в умовах удосконалення виробленої навички.

Алгоритми оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА було розроблено на основі змісту обстеження, який полягає в тому, що оператор повинен відповідати рухами ручок управління пульта на світлові сигнали, що з’являються на екрані ПЕОМ у швидкому темпі. Світлові сигнали подаються за допомогою лампочок двох кольорів.

У правому квадраті розташовано вісім червоних лампочок, що потребують виконання рухів правим маніпулятором пульта керування. У лівому квадраті розташовано вісім зелених лампочок для виконання рухів лівим маніпулятором пульта керування (в умовах удосконалення навички червоні лампочки потребують виконання рухів лівим маніпулятором пульта керування, зелені – правим). Завдання полягає в тому, щоб якнайшвидше відреагувати рухами маніпуляторів на загоряння лампочки, яка світиться доти, доки не буде зроблено правильний рух.

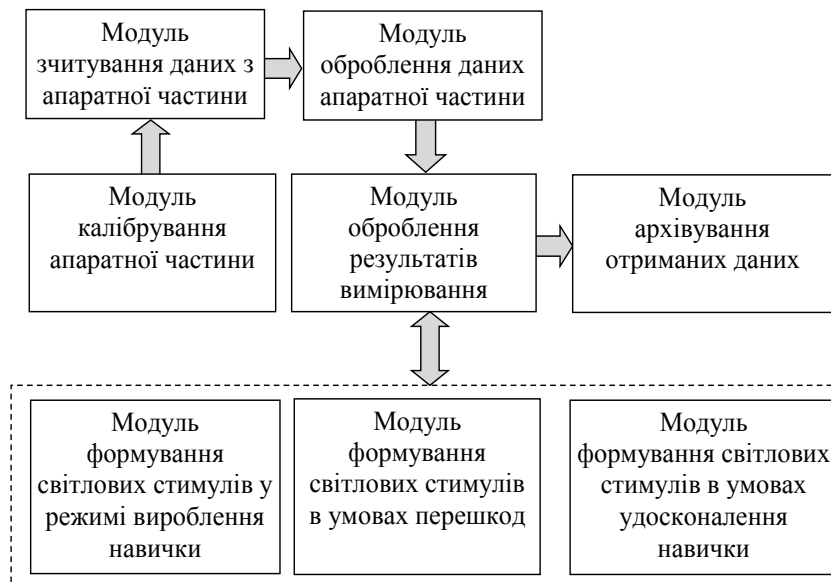


Рис. 1. Структура спеціалізованого програмного забезпечення

По зовнішньому периметру розташовані лампочки, що створюють перешкоди (візуальні сигнали, які відволікають). Розташування лампочок у вікні програми наведено на рис. 2.

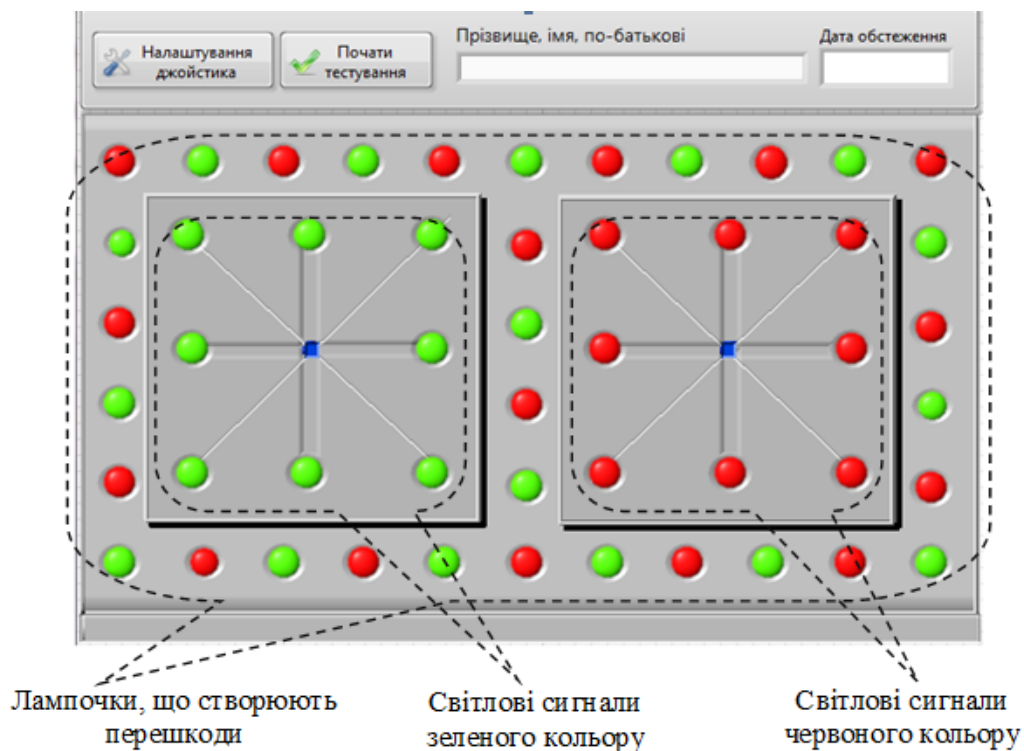


Рис. 2. Розташування лампочок у вікні програми

Перед початком тестування здійснюється калібрування апаратної частини. Результати оцінювання записуються в текстовий файл, який можна переглядати в середовищі Microsoft Office Excel або Word. У ході оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички спалахують лише лампочки, розташовані у квадратах

(див. рис. 2). Вимкнути лампочку можна, зробивши рух відповідним маніпулятором пульта в її напрямку. Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички, блок-схему якого наведено на рис. 3.

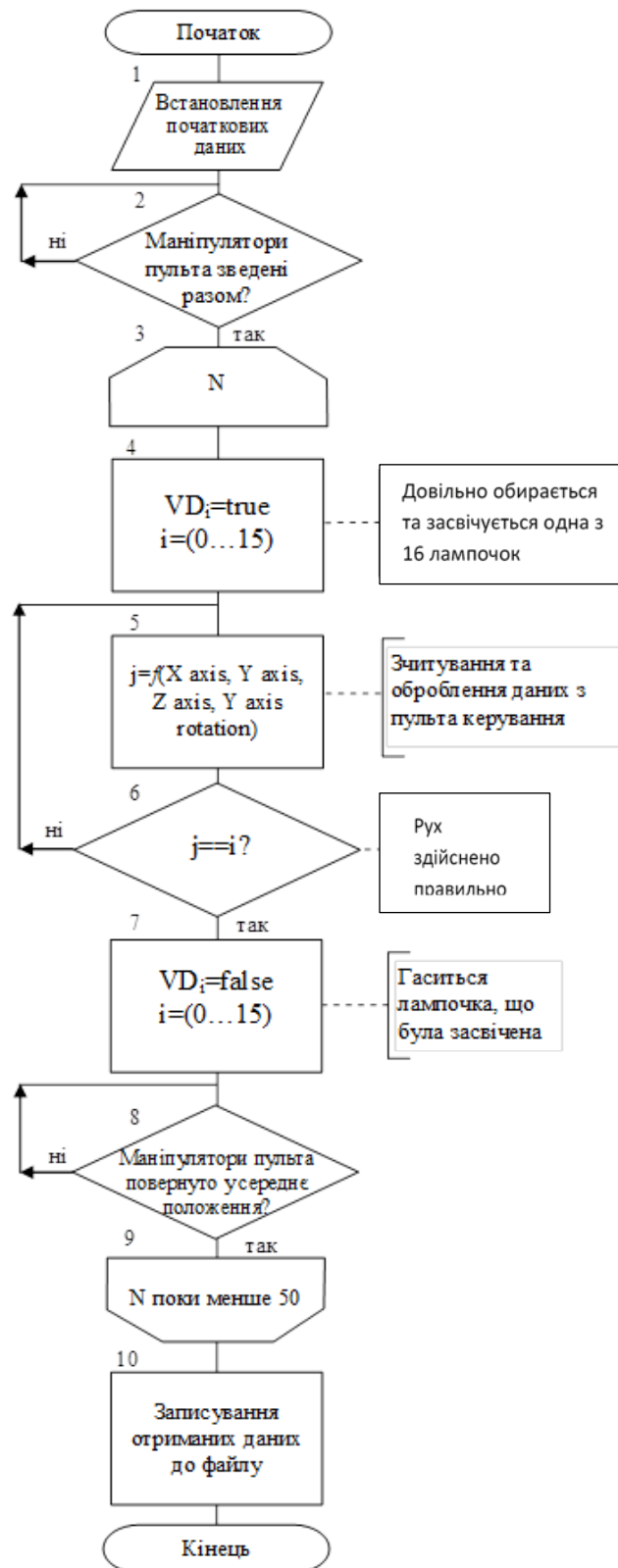


Рис. 3. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 3, блок 1). Тестування стартує після зведення правого та лівого маніпуляторів пульта до середини (рис. 3, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 3, блоки 3, 9) на 50 ітерацій. У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 3, блок 4), після чого програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху маніпуляторів (рис. 3, блок 5). Зчитування відбувається доти, доки не буде здійснено правильний рух маніпулятором (рис. 3, блок 6). У разі правильного руху маніпулятором світло лампочки гаситься (рис. 3, блок 7).

Наступна лампочка засвічується тільки після повернення маніпулятора-пульту в початкове положення (рис. 3, блок 8). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 3, блок 10) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах вироблення навички.

Під час оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод разом з лампочками, розташованими в квадратах, спалахують також ті, що розташовані по зовнішньому периметру та призначені для створення перешкод (візуальних сигналів, які відволікають) (див. рис. 2). Вимкнути лампочки можна, зробивши рух відповідним маніпулятором пульта в напрямку лампочки, яка засвітилася в квадратах. Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод, блок-схему якого наведено на рис. 4.

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 4, блок 1). Тестування стартує після зведення правого та лівого маніпуляторів пульта до середини – початкового положення (рис. 4, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 4, блоки 3, 11) на 50 ітерацій. У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 4, блок 4), та одна з 34 лампочок, що створюють перешкоди (рис. 4, блок 5), після чого програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху ручок управління (рис. 4, блок 6). Зчитування даних відбувається до того часу, поки не буде здійснено правильний рух маніпулятором (рис. 4, блок 7). У такому разі світло лампочки гаситься (рис. 4, блоки 8, 9). Наступні лампочки засвічуються лише після повернення маніпулятора пульта в початкове положення (рис. 4, блок 10). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 4, блок 12) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод.

Особливістю оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички є необхідність здійснення дзеркальних рухів маніпуляторами пульта у відповідь на загорання лампочок. Тобто на загорання червоних лампочок, розташованих у правому квадраті, необхідно реагувати рухами лівого маніпулятора пульта, а зелених у лівому квадраті – рухами правого маніпулятора управління (див. рис. 2).

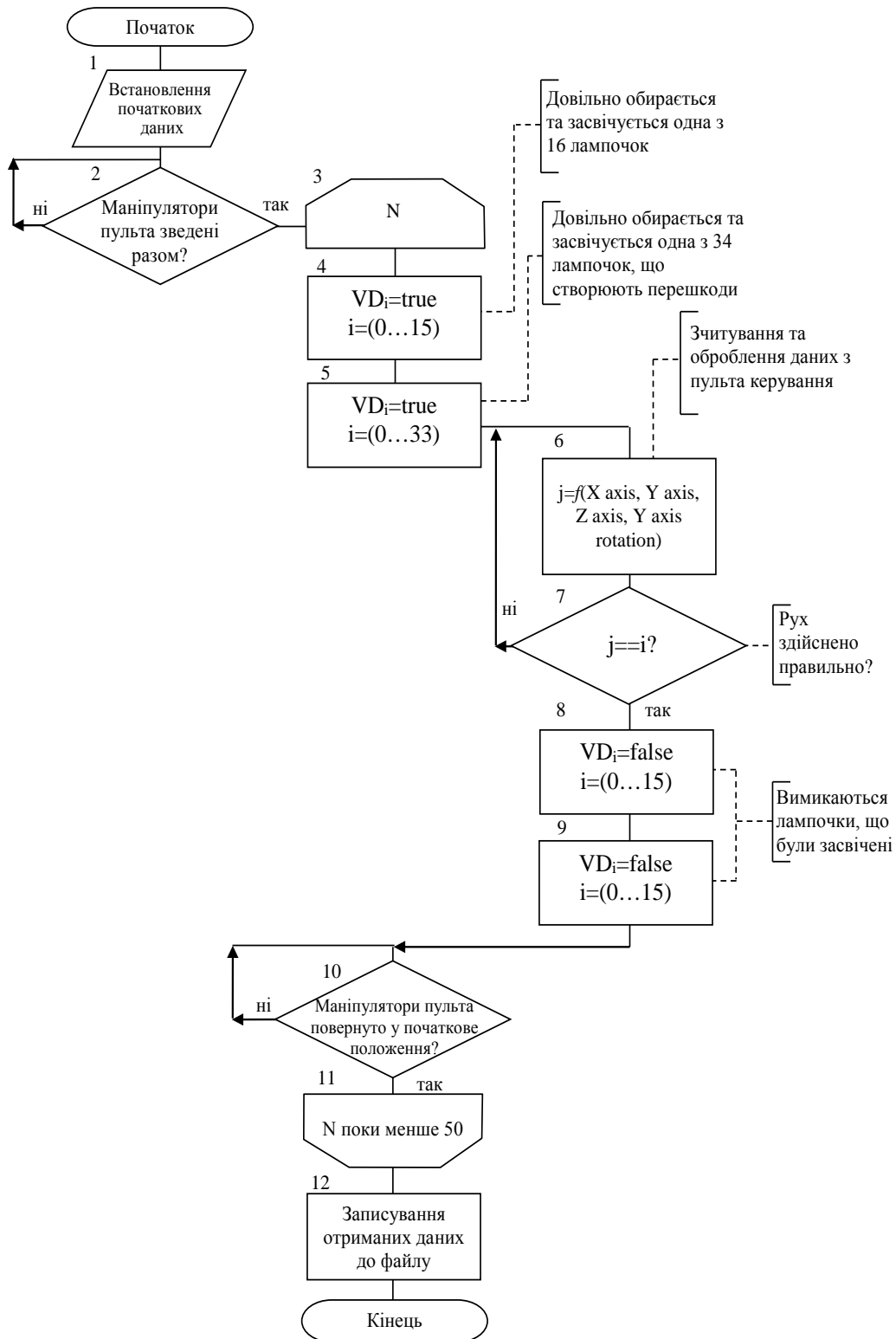


Рис. 4. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перешкод

Відповідно до цього був розроблений алгоритм оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички, блок-схему якого наведено на рис. 5.

Робота алгоритму починається зі встановлення початкових даних (рис. 5, блок 1). Тестування стартує після зведення правої та лівої ручок управління пульта до середини (рис. 5, блок 2). Після цього запускається цикл (рис. 5, блоки 3, 10) на 50 ітерацій.

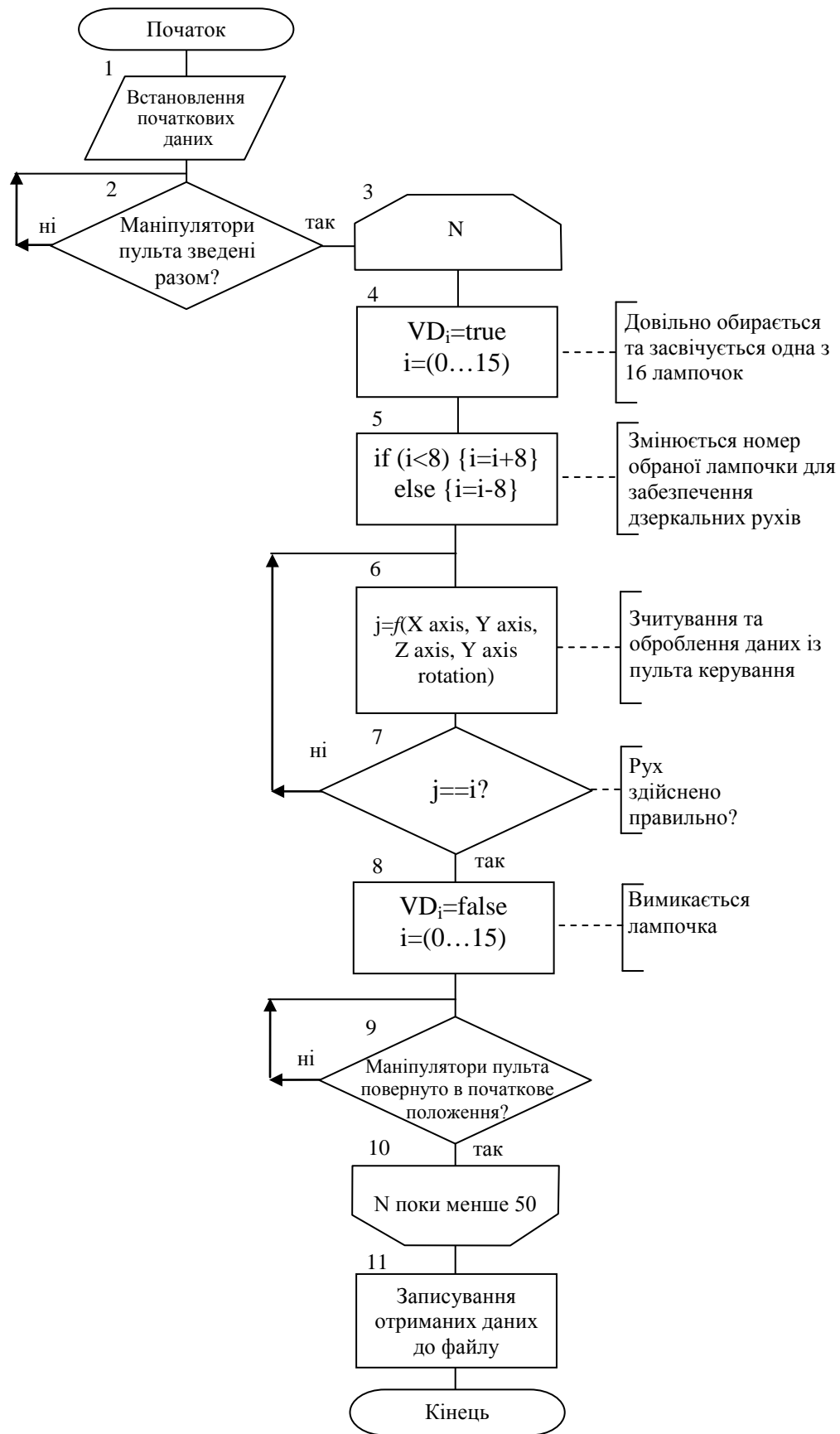


Рис. 5. Блок-схема алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички

У циклі довільно обирається та засвічується одна з 16 лампочок, розташованих у квадратах (рис. 5, блок 4). У блоці 5 алгоритму відбувається зміна номера лампочки, що була засвічена таким чином, щоб забезпечити її погашення дзеркальним рухом маніпулятора пульта. У подальшому програма зчитує дані з пульта та обробляє їх, визначаючи напрямок руху маніпулятора (рис. 5, блок 6).

Зчитування відбувається доти, доки не буде здійснено правильний рух маніпулятором управління (рис. 5, блок 7). У разі правильного руху маніпулятором світло лампочки вимикається (рис. 5, блок 8). Наступна лампочка засвічується тільки після повернення маніпулятора пульта у початкове положення (рис. 5, блок 9). Після закінчення циклу отримані дані записуються до файлу (рис. 5, блок 11) і робота алгоритму оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах перебудови навички завершується.

Відповідно до запропонованого алгоритму був розроблений програмний модуль оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА в умовах удосконалення навички.

Для оцінювання сенсомоторної реакції операторів БпЛА з використанням розробленого апаратно-програмного комплексу було обґрунтовано критерії [3], згідно з якими здійснюватиметься розрахунок узагальненої оцінки за результатами оброблення вимірних величин тривалості реакцій операторів БпЛА в різних режимах тестування.

На даний час проведено значну кількість досліджень щодо визначення загального часу сенсомоторних реакцій та його компонентів [3]. У результаті накопичено достатній статистичний матеріал та обґрунтовано нормативи, що дозволяє використовувати розроблені алгоритми для визначення сенсомоторних реакцій людини в різних галузях діяльності [2–7, 12].

Особливістю досліджень є використання спеціалізованих методик та систем (комплексів) оцінювання сенсомоторних реакцій залежно від мети, характеристик тих, хто обстежується (вік, стать, професійна діяльність тощо), типу сенсомоторної реакції (проста, складна) та її періодів (латентний, моторний) тощо. Критерії оцінювання сенсомоторної реакції обґрунтовуються в кожному дослідженні окремо, відповідно до обраної методики та системи (комплексу) і зазначених особливостей.

Отже, розроблення нового комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій потребує обґрунтування відповідних критеріїв, за якими буде здійснюватися розрахунок узагальненої оцінки за результатами оброблення вимірних величин тривалості реакцій.

Найбільш поширеним підходом до обґрунтування критеріїв та нормативів оцінювання сенсомоторної реакції є накопичення статистичного матеріалу та його математичне оброблення [3, 6, 12]. Для визначення критеріїв розрахунку узагальненої оцінки сенсомоторних реакцій операторів БпЛА було проведено апробацію розробленого апаратно-програмного комплексу під час проведення курсів підготовки операторів БпАК А1-СМ “Фурія” та Sparrow на базі Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова. У результаті було отримано статистичні дані щодо тривалості сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання в умовах вироблення та вдосконалення навички, а також перешкод. Наведені значення є випадковими неперервними величинами, що можуть приймати значення з деякого проміжку. Тобто постає завдання,

що полягає у встановленні нормативу, з яким будуть порівнюватися отримані значення та прийматися рішення щодо придатності кандидатів до навчання. Для вирішення поставленого завдання необхідно оцінити числові характеристики отриманих даних у кожному з трьох режимів.

Для оцінювання числових характеристик розподілу тривалості середнього часу реакції побудуємо статистичні ряди для трьох режимів оцінювання (табл. 1). Для цього розділимо весь діапазон отриманих значень на інтервали та підрахуємо кількість значень x_i , що потрапили у кожен i -й інтервал [13].

Таблиця 1

Статистичний ряд отриманих значень

i	x_i в умовах вироблення навички, с	x_i в умовах перешкод, с	x_i в умовах перебудови навички, с
0,8–0,9	2	1	5
0,9–1,0	1	1	5
1,0–1,1	11	4	7
1,1–1,2	17	9	7
1,2–1,3	10	13	8
1,3–1,4	6	11	10
1,4–1,5	9	8	4
1,5–1,6	3	4	5
1,6–1,7	4	7	4
1,7–1,8	1	7	6
1,8–1,9	1	1	2
1,9–2,0	0	1	1
2,0–2,1	0	0	1
2,1–2,2	1	0	1
2,2–2,3	1	0	1

На підставі отриманого статистичного ряду побудуємо гістограми розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах вироблення навички (рис. 3), перешкод (рис. 4), удосконалення навички (рис. 5).

У наведених статистичних розподілах присутня помилка репрезентативності, тому в ході оброблення даного статистичного матеріалу необхідно розв'язати задачу вирівнювання статистичного ряду, що полягає в підборі для нього теоретичної кривої розподілу, яка буде відображати лише суттєві риси статистичного матеріалу, а не випадковості, пов'язані з недостатнім об'ємом експериментальних даних [13]. Для цього проведемо апроксимацію гістограми розподілу поліномом четвертого ступеня (див. рис. 6–8) у середовищі Microsoft Office Excel.

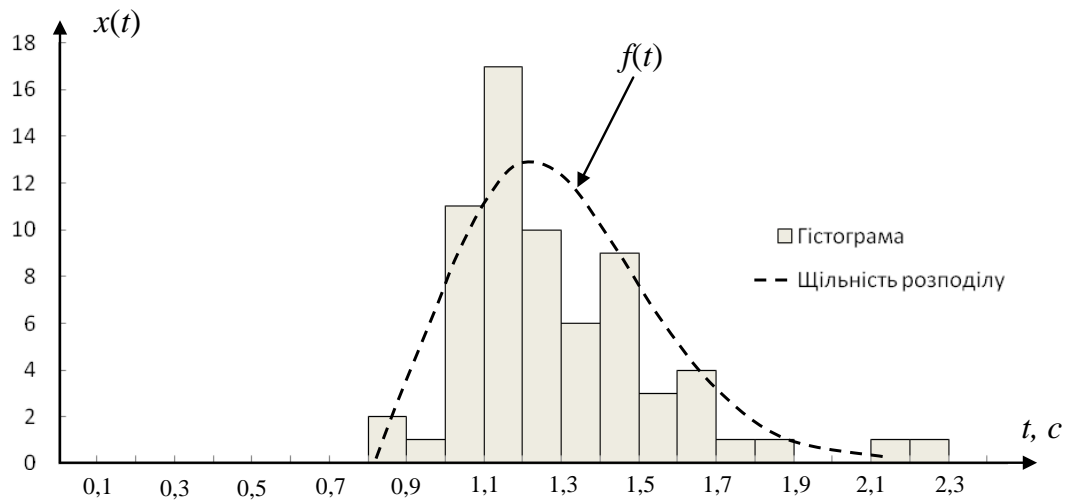


Рис. 6. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах вироблення навички

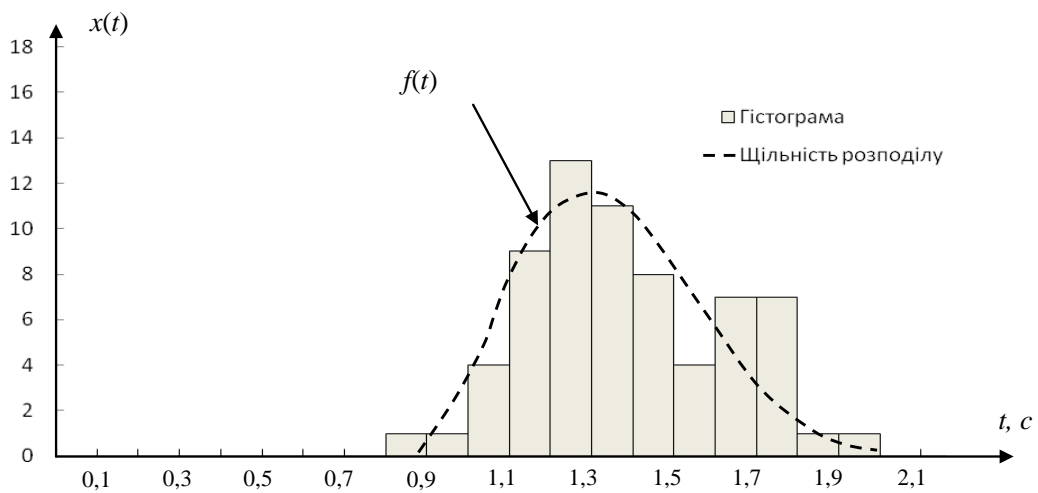


Рис. 7. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах перешкод

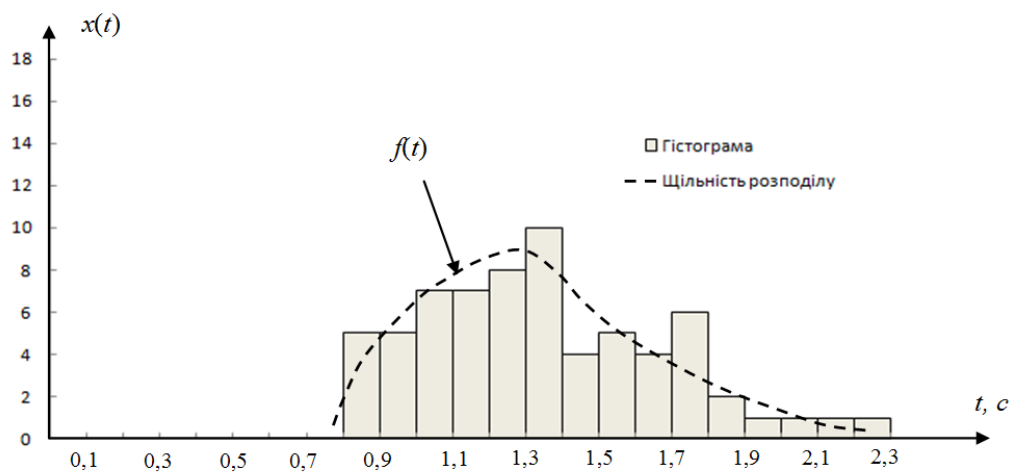


Рис. 8. Гістограма розподілу тривалості середнього часу реакції в умовах удосконалення навички

У результаті отримуємо теоретичні щільності розподілу тривалості середнього часу реакції. Для обґрунтування критерію, згідно з яким буде здійснюватися розрахунок узагальненої оцінки сенсомоторної реакції операторів БпЛА необхідно встановити інтервал теоретичної щільності розподілу, попадання в який тривалості сенсомоторної реакції довільної особи вважається нормою. При цьому задамося ймовірністю достовірності такої події – 0,95. Тобто необхідно знайти величини, що обмежують графік розподілу ліворуч та праворуч, за яких виконується така умова:

$$\int_a^b f(t)dt = 0,95. \quad (1)$$

Апріорно більшістю дослідників припускається, що розподіл часу сенсомоторних реакції близький до нормального. Однак отриманий графік щільності розподілу тривалості середнього часу реакції має асиметрію, що узгоджується із численними експериментальними роботами, у яких показано, що розподіл часу реакції в більшості випадків має значущу позитивну асиметрію [3, 8, 14]. Дане явище має переконливе пояснення: для часу реакції характерна наявність жорсткої нижньої межі, обумовленої фізіологічними можливостями людини та комплексу, на якому проводиться дослідження, верхня ж межа змінюється в широкому діапазоні і зазвичай пов'язується з особливостями випробуваного.

Встановлення закону розподілу величин зі щільністю розподілу, зображеною на рис. 6–8, та обчислення його параметрів потребують проведення додаткових досліджень. Тому, враховуючи необхідність визначення нормативу тільки для верхньої межі вимірних значень, у подальших розрахунках обмежимося даними, що описують праву гілку щільності розподілу відносно її моди. У разі збільшення спостережень розглянута гілка буде наближатися до відповідної гілки щільності розподілу нормального закону [16] з математичним очікуванням m_t , що дорівнює моді щільності розподілу. У цьому випадку вираз (1) набуде такого вигляду:

$$\int_{m_t}^{T_H} f(t)dt = 0,48. \quad (2)$$

Ймовірність попадання випадкової величини, розподіленої за нормальним законом на інтервал $m_t + T_H$, буде мати значення 0,48, коли

$$T_H = m_t + 2\sigma, \quad (3)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення, с [21].

Для отримання оцінки середньоквадратичного відхилення використаємо вираз

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m_t)^2}{n - 1}}. \quad (4)$$

З використанням вирівняних статистичних даних (що описуються теоретичними графіками щільності розподілу тривалості середнього часу реакції) були проведені

розрахунки за виразами (3), (4) та отримано нормативи для верхньої межі вимірних значень тривалості сенсомоторних реакцій кандидатів на навчання в умовах вироблення навички, перешкод, удосконалення навички (табл. 2). У подальшому з накопиченням статистичного матеріалу значення нормативів можуть корегуватися.

Таблиця 2

Результати проведених розрахунків

Показник	Значення показників		
	в умовах вироблення навички, с	в умовах перешкод, с	в умовах удосконалення навички, с
m_t, c	1,22	1,33	1,30
$\hat{\sigma}, c$	0,33	0,29	0,4
T_H, c	1,88	1,91	2,10

Для висновків щодо професійної психологічної придатності кандидатів до успішного навчання за відповідною програмою і оволодіння військовою спеціальністю оператора БПЛА результати вимірювання сенсомоторних реакцій кандидатів оцінено за 9-бальною шкалою.

Для цього за кожним етапом розраховано коефіцієнт за таким виразом:

$$K = 10 \frac{T_H}{T_\phi}, \quad (5)$$

де T_H – нормативний час виконання етапу (див. табл. 2), с;

T_ϕ – фактичний час виконання етапу кандидатом, с.

Отже, було отримано три показники за кожен етап, які оцінені за 9-бальною шкалою (табл. 3).

Таблиця 3

Нормативи оцінювання за 9-бальною шкалою

Бал	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Показник – K	≤ 7	7	8	9	10	11	12	13	≥ 13

Остаточна оцінка виводиться як середнє арифметичне балів за три етапи. У випадку отримання дробового числа його округлюють до цілого залежно від напруженості.

Висновки. У результаті дослідження було проаналізовано підходи до розроблення комплексів оцінювання сенсомоторних реакцій операторів за різними профілями діяльності. Встановлено, що відомі комплекси оцінювання сенсомоторних реакцій не враховують специфіки сенсомоторики оператора БПЛА.

За результатами аналізу розроблено алгоритми оцінювання, методику, структуру комплексу оцінювання сенсомоторних реакцій оператора БпЛА, обґрунтовано режими тестування. Розроблено алгоритми функціонування програмного модуля апаратно-програмного комплексу в режимах вироблення навички, в умовах перешкод та удосконалення навички.

На основі проведених досліджень розроблено та налагоджено апаратно-програмний комплекс, який включає ПЕОМ зі спеціалізованим програмним забезпеченням, до якої під'єднується пристрій для здійснення рухів у відповідь, він забезпечує оцінювання складної сенсомоторної реакції на зоровий подразник, що виводиться на монітор ПЕОМ. За зовнішній пристрій, що забезпечує специфічні рухи у відповідь на стимули, використано пульт керування, що застосовується в авіаційних симуляторах, під'єднаний до ПЕОМ через інтерфейс USB.

Упровадження розробленого апаратно-програмного комплексу дозволить автоматизувати процес оцінювання сенсомоторних реакцій операторів БпЛА, тим самим підвищити якість їх професійного психологічного відбору для потреб ЗС України.

Подальші дослідження слід зосередити на уточненні критеріїв розрахунку узагальненої оцінки сенсомоторних реакцій операторів БпЛА.

СПИСОК БІБЛІОТЕЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України : наказ Міністерства оборони України від 08.12.2016 № 661 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> (дата звернення: 16.11.2022).
2. Про затвердження Інструкції про організацію та проведення військово-професійної орієнтації молоді та прийому до вищих військових навчальних закладів та військових навчальних підрозділів вищих навчальних закладів : наказ Міністерства оборони України від 05.06.2014 № 360. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0704-14> (дата звернення: 16.11.2022).
3. Макаревич Р. А. Экспериментальная психология: теоретичні основи, лабораторний практикум : навч. посіб. Мінськ : Університетське, 2000. 173 с.
4. Ровний А. С. Психофізіологічне сприйняття зорової інформації рухової діяльності людини // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту : зб. наук. праць. Харків : ХДАДМ, 2002. № 26. С. 17–23.
5. Зайцев А. В., Лупандин В. Я., Сурнина О. Е. Оценка биологического возраста методом регистрации времени реакции // Экология образования: актуальные проблемы. Архангельск : Изд-во Поморского госун-та, 1999. С. 45–48.
6. Шмаргун В. М. Час сенсомоторної реакції як показник швидкості розумових дій // Психологія і суспільство. 2007. № 3 (29). С. 115–123.
7. Зайцев А. В., Лупандин В. Я. Диагностика задержки психического развития детей методом регистрации времени реакции // Медицинская техника. 2000. № 6. С. 62–70.
8. Vakaliuk T. A., Pilkevych I. A., Tokar A. M., Loboda R. I. Criteria for Estimating the Sensorimotor Reaction Time by the Small UAV Operator // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2021. No 2. P. 189–197. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-19>

9. Навчально-тренувальна система для підготовки операторів безпілотних авіаційних комплексів / І. А. Пількевич, А. М. Токар, О. В. Франжі, Р. І. Лобода, В. В. Дмитрук // Проблеми, створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2021. Вип. 20. С. 83–97.
10. Пількевич І. А., Токар А. М., Лобода Р. І. Апаратно-програмний комплекс оцінювання сенсомоторних реакцій операторів безпілотних літальних апаратів // Інформаційно-комп'ютерні технології: стан, досягнення та перспективи розвитку : тези доповідей IV Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Житомир, 25–26 листопада 2021 р.). Житомир : Держ. ун-т «Житомирська політехніка», 2021. С. 25–26. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/25-4.pdf> (дата звернення: 23.11.2022).
11. Методичні рекомендації щодо проведення психологічної підготовки особового складу Збройних сил України, затверджені наказом Генерального штабу Збройних Сил України URL: https://www.mil.gov.ua/content/social_adaptation/psychological_preparation/recomend_pcuvo_l_pidgotovka_2013.pdf (дата звернення: 16.11.2022).
12. Барыбина Л. Н., Козина Ж. Л. Характеристика психофизиологических показателей студентов различных спортивных специализаций // Физическое воспитание студентов. 2010. № 4. С. 6–11.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 4-е изд. Москва : Наука, 1969. 567 с.
14. Шмаргун В. Час сенсомоторної реакції як показник швидкості розумових дій // Психологія і суспільство. 2007. № 3. С. 115–123. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/30234/1/Шмаргун.pdf> (дата звернення: 16.11.2022).

Стаття надійшла до редакції 13.12.2022.

REFERENCES

1. Pro zatverdzhennia Pravyl vykonannia polotiv bezpilotnymy aviatsiinymy kompleksamy derzhavnoi aviatsii Ukrainy : nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 08.12.2016 № 661 [On the approval of the Rules for the execution of flights by unmanned aircraft complexes of the state aviation of Ukraine: order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 08.12.2016 № 661]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0031-17#Text> [in Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Instruksii pro orhanizatsiiu ta provedennia viiskovo-profesiinoi oriantatsii molodi ta pryiomu do vyshchych viiskovykh navchalnykh zakladiv ta viiskovykh navchalnykh pidrozdiliv vyshchych navchalnykh zakladiv : nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 05.06.2014 № 360 [On the approval of the Instructions on the organization and conduct of military-professional orientation of youth and admission to higher military educational institutions and military educational units of higher educational institutions: order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 06.05.2014 № 360.]. Retrieved from: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0704-14> [in Ukrainian].
3. Makarevych, P. A. (2000). *Eksperymentalna psykholohiia: teoretychni osnovy, laboratornyi praktykum* [Experimental psychology: theoretical foundations, laboratory practice]. Minsk [in Ukrainian].
4. Rovnyi, A. S. (2002). *Psykhofiziologichne spryiniattia zorovoi informatsii rukhovoii diialnosti liudyny* [Psychophysiological perception of visual information of human motor activity]. 40

Pedahohika, psykholohiia ta medyko-biologichni problemy fizychnoho vykhovannia i sportu : zb. nauk. prats [Pedagogy, psychology and medical and biological problems of physical education and sports: coll. of science works], 26, 17–23. Kharkiv [in Ukrainian].

5. Zaitsev, A. V., Lupandin, V. Ia., & Surnina, O. E. (1999). Otsenka biologicheskogo vozrasta metodom registratsii vremeni reaktsii [Evaluation of biological age by the method of registration of reaction time]. *Ekologiya obrazovaniia: aktual'nye problemy [Ecology of Education: Actual Problems], 45–48. Arkhangelsk [in Russian].*

6. Shmarhun, V. M. (2007). Chas sensomotornoi reaktsii yak pokaznyk shvydkosti rozumovykh dii [Sensorimotor reaction time as an indicator of the speed of mental actions]. *Psykhologhiia i suspilstvo [Psychology and society], 3 (29), 115–123 [in Ukrainian].*

7. Zaitsev, A. V., & Lupandin, V. Ia. (2000). Diagnostika zaderzhki psikhicheskogo rozvitiia detei metodom registratsii vremeni reaktsii [Diagnosis of mental retardation in children by registering reaction time]. *Meditsinskaia tekhnika [Meditsinskaya tekhnika], 6, 62–70 [in Russian].*

8. Vakaliuk, T. A., Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., & Loboda, R. I. (2021). Criteria for Estimating the Sensorimotor Reaction Time by the Small UAV Operator. *Radio Electronics, Computer Science, Control, 2, 189–197. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-19>*

9. Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., Franzhi, O. V., Loboda, R. I., & Dmytruk, V. V. (2021). Navchalno-trenovalna systema dlia pidhotovky operatoriv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [A Training System for Preparing Operators of Aerial Vehicle Systems]. *Problemy, stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute], 20, 83–97. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2021.20.08> Zhytomyr: ZhMI [in Ukrainian].*

10. Pilkevych, I. A., Tokar, A. M., & Loboda, R. I. (2021). Aparatno-prohramnyi kompleks otsiniuvannia sensomotornykh reaktsii operatoriv bezpilotnykh litalnykh aparativ [Hardware and software complex for evaluating sensorimotor reactions of operators of unmanned aerial vehicles]. In *Informatsiino-komp'iuterni tekhnologii: stan, dosiahnennia ta perspektyvy rozvytku : tezy dopovidei IV Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf. [Information and computer technologies: state, achievements and prospects of development: theses of reports IV All-Ukrainian science and practice Internet Conf.]. Zhytomyr: Zhytomyr polytechnic, November, 25–26, 2021. (pp. 25–26). Retrieved from <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/25-4.pdf> [in Ukrainian].*

11. *Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia psykholohichnoi pidhotovky osobovoho skladu Zbroinykh syl Ukrainy, zatverdzeni nakazom Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy [Methodological recommendations for conducting psychological training of personnel of the Armed Forces of Ukraine, approved by order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine]. Retrieved from https://www.mil.gov.ua/content/social_adaptation/psychological_preparation/recomend_pcuvo_l_pidgotovka_2013.pdf [in Ukrainian].*

12. Barybina, L. N., & Kozina, Zh. L. (2010). Kharakteristika psikhofiziologicheskikh pokazatelei studentov razlichnykh sportivnykh spetsializatsii [Characteristics of psychophysiological indicators of students of various sports specializations]. *Fizicheskoe vospitanie studentov [Physical education of students], 4, 6–11 [in Russian].*

13. Venttsel', E. S. (1969). *Teoriia veroiatnostei*. (4th ed.). Moscow [in Russian].

14. Shmarhun, V. (2007). Chas sensomotornoj reaktsii yak pokaznyk shvydkosti rozumovykh dii [Sensorimotor reaction time as an indicator of the speed of mental actions]. *Psykholohiia i suspilstvo [Psychology and society]*, 3, 115–123. Retrieved from <http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/30234/1/Shmarhun.pdf> [in Ukrainian].

I. A. Pilkevych, A. M. Tokar, R. I. Loboda, V. V. Loboda

TIME ESTIMATION ALGORITHMS OF SENSOROMOTOR REACTIONS OF UNMANNED AIRCRAFT OPERATORS

The rapid development of science and technology is leading to a significant expansion of the application areas of unmanned aerial systems for various purposes. The key to their effective use of unmanned aerial systems is the quality training of operators, an important element of which is the professional psychological selection of candidates, in particular, the assessment of their sensorimotor reactions. This can be ensured by selecting and justifying appropriate assessment algorithms. The article proposes algorithms that make it possible to estimate the time of sensorimotor reactions of an operator of unmanned aerial systems of the first class based on the accumulation of statistical material and its mathematical processing based on the results of a full-scale experiment. This makes it possible to evaluate the numerical characteristics of the distribution of the duration of the average reaction time in three modes: skill development, under conditions of interference, and under conditions of skill reconstruction, and ultimately to obtain a generalized assessment. By analyzing random continuous values that acquire a value over a certain interval, it was possible to establish standards against which the obtained indicators of sensorimotor reaction time of the operator of unmanned aerial systems of the first class are compared and a conclusion is made about their suitability for training. The results of testing of the proposed algorithms were carried out, statistical series for three evaluation modes were obtained. For a visual representation of the series, the corresponding histograms of the distribution of the duration of the average reaction time were constructed. In order to eliminate the representativeness error, the statistical series were aligned by selecting a theoretical distribution curve for each, which reflects only the essential features of the statistical material. For this purpose, the distribution histogram was approximated by a fourth-degree polynomial. The interval of the theoretical density of the distribution, falling within which the sensorimotor reaction of an arbitrary person is considered normal, is established. For a given probability of such an event, the reliability of such an event is 0.95. To verify the effectiveness of the proposed methodology, an algorithm for estimating the time of sensorimotor reaction of the operator of unmanned aerial systems of class 1 in three modes was synthesized and the corresponding software implementing the developed algorithm was developed.

Keywords: *unmanned aircraft complexes; sensorimotor reaction; mean reaction time.*

Р. В. Нетребко

ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАХИЩЕНОСТІ У ВІЙСЬКОВИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ ВОРОГА

У статті запропоновано та проаналізовано основні етапи застосування програмного забезпечення групової оцінки функціонального профілю та визначення або узгодження рівня гарантій коректності реалізації функціональних послуг безпеки в засобах захисту інформації військових автоматизованих систем управління від несанкціонованого доступу противника в Україні на основі раніше проведених авторами теоретичних досліджень та розробленого програмного забезпечення. Проаналізовано останні дослідження та публікації провідних науковців у сфері захисту інформації від несанкціонованого доступу. Наведено основні нормативні документи технічного захисту інформації, які регламентують порядок оцінювання та визначення функціонального профілю і рівня гарантій автоматизованих систем від несанкціонованого доступу, що застосовуються для цивільних та державних автоматизованих систем в Україні. Здійснено проектування функціонування програми за допомогою діаграм та алгоритмів. Протестовано програмне забезпечення та наведено приклади роботи. Виявлено переваги та недоліки програмного забезпечення групового визначення функціонального профілю захищеності та рівня гарантій для перевірки військових автоматизованих систем.

Розроблене програмне забезпечення полегшить роботу експертів щодо визначення захищеності системи від несанкціонованого доступу та пришвидшить удосконалення необхідного комплексу засобів захисту, потрібного для надійного захисту таємної інформації. Окреслено подальші кроки удосконалення для оцінювання рівня захищеності військових автоматизованих систем від несанкціонованого доступу противника.

Ключові слова: *військова автоматизована система; інформаційна безпека; політика безпеки інформації; правила розмежування доступу; несанкціонований доступ; комплекс засобів захисту; профіль захищеності.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. У період широкомасштабних змін у міждержавних відносинах першочерговим кроком є захист державної та військової інформації. У сьогоdnішній ситуації зі значним розвитком сфери інформатизації потрібен швидкий аналіз розроблених військових систем на захист інформації, яка обробляється в них. Спеціалісти багатьох країн світу намагаються вирішити цю проблему, використовуючи різноманітні засоби та методи. Тому запропоновано методіку оцінювання, що ґрунтується на використанні експертних процедур, тобто визначенні групової експертної оцінки. Для характеристики захисту інформації потрібно визначити рівень захищеності. Оскільки цей процес займає багато часу, то постає актуальне питання щодо автоматизації визначення рівня захищеності військових автоматизованих систем (ВАС) від несанкціонованого доступу ворога (НСДВ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що головним завданням методів визначення рівня захищеності ВАС є пошук конкретного функціонального профілю
© Р. В. Нетребко, 2022

захищеності (ФПЗ) та підтвердження рівня гарантій. Питання створення, організації та дослідження процесів функціонування й розвитку систем захисту інформації розглянуто в працях багатьох українських науковців, серед яких Корченко О. Г., Леншин А. В., Паламарчук Н. А., Шевченко В. Л., Шаньгин В. Ф., Юдін О. К., Чунар'єв А. В., Бучик С. С. тощо. Вони запропонували основні теоретичні положення із захисту інформації, розробили методологічні та науково-теоретичні основи побудови систем захисту, оцінювання їх ефективності та принципи вибору параметрів для цього. Проаналізувавши відомі дослідження, ми з'ясували, що в роботі [1] розглянуто теоретичні основи визначення стандартних функціональних профілів на основі нормативно-правового забезпечення. У статті [2] проведено теоретичну побудову парето-оптимальних профілів. Автори [3] реалізували метод формування функціональних профілів на основі побудови таблиць для визначення необхідності та рівня послуг. У роботі [4] охарактеризовано стан нормативно-правової бази технічного захисту інформації. У [5] розглянуто питання захисту інформації зі створення альтернативних систем захисту. Автори статті [6] та монографії [7] описали загальну модель формування системи захисту державних інформаційних ресурсів, де основним процесом є вибір профіля захищеності. У праці [8] розроблено методи побудови та перевірки на повноту ФПЗ. Проаналізовані роботи теоретично спрямовані, вони не мають відношення до військової галузі. Звідси постало питання протестувати розроблене програмне забезпечення для оцінювання ВАС.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є проведення тестування програмного забезпечення узгодження експертної групової оцінки визначення ФПЗ та рівня гарантій у засобах захисту інформації ВАС від НСДВ, а також з'ясування напрямків його удосконалення.

Виклад основного матеріалу. З визначенням стандартних ФПЗ та рівнів гарантій пов'язана ціла низка нормативних документів технічного захисту інформації (НД ТЗІ), а саме: НД ТЗІ 2.5-004-99, НД ТЗІ 2.5-005-99, НД ТЗІ 2.7-010-09. З чинної нормативно-правової бази випливає, що в документах НД ТЗІ 2.7-009-09 «Методичні вказівки з оцінювання функціональних послуг безпеки в засобах захисту інформації від несанкціонованого доступу» та НД ТЗІ 2.7-010-09 «Методичні вказівки з оцінювання рівня гарантій коректності реалізації функціональних послуг безпеки в засобах захисту інформації від несанкціонованого доступу» описано процес оцінювання функціональних послуг безпеки та рівня гарантій коректності їх реалізації. Але досі залишилося не вирішеним питання, яким чином первинно обґрунтувати склад ФПЗ та рівень гарантій. НД ТЗІ 2.5-004-99 «Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу» встановлює єдиний підхід до визначення ФПЗ шляхом вибору з множини стандартних профілів. Крім того, в ньому описані критерії оцінки рівня гарантій. На основі НД ТЗІ 2.5-004-99 було проведено аналіз методів визначення рівня захищеності автоматизованих систем (АС), одним з яких є стандартний метод. Більш детально НД ТЗІ було проаналізовано в статті [9]. Дані документи надають лише методологічну базу для вибору та реалізації вимог безпеки в АС, але єдиної методики, яка б поєднувала ці документи й надавала зрозумілу та просту інтерпретацію процесу обирання ФПЗ і рівнів гарантій немає, тому на основі НД ТЗІ було реалізоване програмне забезпечення для визначення групової оцінки [10], яке також можливо застосовувати експертам для оцінювання ВАС. Аналіз відомих експертиз показує, що в процесі їх побудови можна виділити послідовність дій, описану в [11].

З метою дослідження ВАС складено таблицю для опитування експертів у вигляді системи запитань, яка задається програмним продуктом ОФПАС 2.0 [12]. До складу комісії обрано 10 експертів. Визначення профілю захищеності та рівня гарантій здійснюється саме програмним продуктом ОФПАС 2.0. Надіслана експертами інформація обробляється програмним продуктом сервера, після чого ухвалюється рішення з урахуванням результатів роботи експертів.

Для обробки експертної інформації обрано один із методів експертної оцінки – ранжування, який полягає в порівнянні досліджуваної системи з деякою стандартною.

Оцінювання ВАС проведено на основі перевірки третього рівня гарантій десятима експертами. Нижче наведено процедуру роботи одного з експертів. Приклад оцінки потрібного рівня гарантій потребує початково визначити рівень послуги цілісності комплексу засобів захисту (КЗЗ) НЦ-1 (рис. 1), після чого проводиться вибір третього рівня (рис. 2).

Програмне забезпечення "ОФПАС 2.0"

Вимогою для утворення функціонального профілю є дотримання описаних в НД ТЗІ 2.5-004-99 «Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу» необхідних умов для кожної із послуг, що включаються до профілю. Всі описані послуги є більш-менш незалежними. Якщо ж така залежність виникає, тобто реалізація якої-небудь послуги неможлива без реалізації іншої, то цей факт відбивається як необхідні умови для даної послуги (або її рівня). Критерії можуть застосовуватися до всього спектра комп'ютерних систем, включаючи однорідні системи, багатопроцесорні системи, бази даних, вбудовані системи, розподілені системи, мережі, об'єктно-орієнтовані системи та ін.

Результатом оцінювання функціонального профілю є рейтинг, що являє собою упорядкований ряд буквено-числових комбінацій, що позначають рівні реалізованих послуг.

Рівень послуги цілісність комплексу засобів захисту НЦ-1 є необхідною умовою абсолютно для всіх рівнів всіх інших послуг.

Для створення функціонального профілю захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу перевірте виконання вимог до рівня послуги НЦ-1 (КЗЗ з контролем цілісності). Продовження визначення функціонального профілю можливе за умови виконання даних вимог та необхідних умов для рівня НЦ-1.

Вимоги до рівня КЗЗ з контролем цілісності послуги цілісність КЗЗ

1. Політика цілісності КЗЗ повинна визначати склад КЗЗ і механізми контролю цілісності компонентів, що входять до складу КЗЗ.
2. В разі виявлення порушення цілісності будь-якого із своїх компонентів КЗЗ повинен повідомити адміністратора і або автоматично відновити відповідність компонента еталону або перевести КС до стану, з якого повернути її до нормального функціонування може тільки адміністратор або користувач, яким надані відповідні повноваження.
3. Повинні бути описані обмеження, дотримання яких дозволяє гарантувати, що послуги безпеки доступні тільки через інтерфейс КЗЗ і всі запити на доступ до захищених

Необхідні умови для рівня НЦ-1

Виділення адміністратора

1. Політика розподілу обов'язків, що реалізується КЗЗ, повинна визначати ролі адміністратора і звичайного користувача і притаманні їм функції.
2. Користувач повинен мати можливість виступати в певній ролі тільки після того, як він виконає певні дії, що підтверджують прийняття їм цієї ролі.

Зовнішній аналіз

виконуються не виконуються

Рис. 1. Підтвердження рівня послуги НЦ-1

Функціональний профіль

Комп'ютерна система розглядається як набір функціональних послуг. Кожна послуга являє собою набір функцій, що дозволяють протистояти певній множині загроз. Послуга може включати декілька рівнів. Чим вище рівень послуги, тим більш повно забезпечується захист від певного виду загроз. Рівні послуг мають ієрархію за повнотою захисту, проте не обов'язково являють собою точну підмножину один одного. Функціональні критерії розбиті на чотири групи, кожна з яких описує вимоги до послуг, що забезпечують захист від загроз одного із чотирьох основних типів.

Функціональні критерії

<p>Критерії конфіденційності:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Довірча конфіденційність 2. Адміністративна конфіденційність 3. Повторне використання об'єктів 4. Аналіз прихованих каналів 5. Конфіденційність при обміні 	<p>Критерії цілісності:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Довірча цілісність 2. Адміністративна цілісність 3. Відкат 4. Цілісність при обміні 	<p>Критерії доступності:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Використання ресурсів 2. Стійкість до відмов 3. Гаряча заміна 4. Відновлення після збоїв 	<p>Критерії спостереженості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Реєстрація 2. Ідентифікація та автентифікація 3. Достовірний канал 4. Розподіл обов'язків 5. Цілісність комплексу засобів захисту 6. Самостестування 7. Ідентифікація та автентифікація при обміні 8. Автентифікація відправника 9. Автентифікація отримувача
---	---	---	---

Критерії рівня гарантій:

[Рівень 1](#) [Рівень 2](#) [Рівень 3](#) [Рівень 4](#) [Рівень 5](#) [Рівень 6](#) [Рівень 7](#)

Наявний рівень послуги

Для відображення наявного рівня послуги оцініть одну із послуг та натисніть "Оновити"

Наявний функціональний профіль (набір рівнів послуг)

Функціональний профіль відсутній (для відображення наявного функціонального профілю оновіть програмний продукт після оцінювання однієї із послуг)

Рис. 2. Вибір третього рівня гарантій

Далі проводиться оцінювання відповідності документів рис. 3 третього рівня гарантій.

Рівень гарантій 3

Відповідність документів

- [Технічне завдання](#)
- [Ескізний проект](#)
- [Технічний проект](#)
- [Робочий проект](#)
- [Опис результатів аналізу відповідності між політикою безпеки та моделлю політики безпеки КЗЗ ОЕ](#)
- [Опис результатів аналізу відповідності між моделлю політики безпеки КЗЗ ОЕ та проектом архітектури](#)
- [Опис результатів аналізу відповідності між проектом архітектури та детальним проектом](#)
- [Опис результатів аналізу відповідності між детальним проектом та реалізацією](#)
- [Опис методик діяльності розробника протягом життєвого циклу ОЕ](#)
- [Документація використаних при розробленні інструментальних засобів](#)
- [Опис методик забезпечення безпеки в процесі розроблення та виробництва ОЕ](#)
- [Документація з керування конфігурацією ОЕ](#)
- [Опис процедур безпечної інсталяції, генерації та запуску ОЕ](#)
- [Опис процедур постачання ОЕ замовнику](#)
- [Опис послуг безпеки, що реалізуються КЗЗ оцінюваного ОЕ](#)
- [Настанови адміністратору з послуг безпеки](#)
- [Настанови користувачу з послуг безпеки](#)
- [Програма та методика випробувань функціональних послуг безпеки](#)
- [Протоколи випробувань функціональних послуг безпеки](#)
- [Опис результатів аналізу стійкості КЗЗ до атак з боку розробника](#)

Рис. 3. Оцінка експертами відповідності документів

Наступним кроком роботи експерта є оцінювання критеріїв третього рівня гарантій. Приклад наведено на рис. 4 на основі критерію випробування КЗЗ.

Рівень гарантій 3

Випробування комплексу засобів захисту

- Розробник повинен подати для перевірки програму і методику випробувань, процедури випробувань усіх механізмів, що реалізують послуги безпеки. Мають бути представлені аргументи для підтвердження достатності тестового покриття
- Розробник повинен подати докази тестування у вигляді детального переліку результатів тестів і відповідних процедур тестування, з тим, щоб отримані результати могли бути перевірені шляхом повторення тестування
- Розробник повинен усунути або нейтралізувати всі знайдені "слабкі місця" і виконати повторне тестування КЗЗ для підтвердження того, що виявлені недоліки були усунути і не з'явилися нові "слабкі місця"
- Розробник повинен виконати тести з подолання механізмів захисту і довести, що КЗЗ відносно або абсолютно стійкий до такого роду атак з боку Розробника

Рис. 4. Приклад оцінки критерію

Після того, як експерт оцінить усі пункти, він повинен підтвердити рівень, натиснувши на кнопку «Оцінити». У підсумку перед ним з'явиться повідомлення про відповідність третьому рівню гарантій (рис. 5).

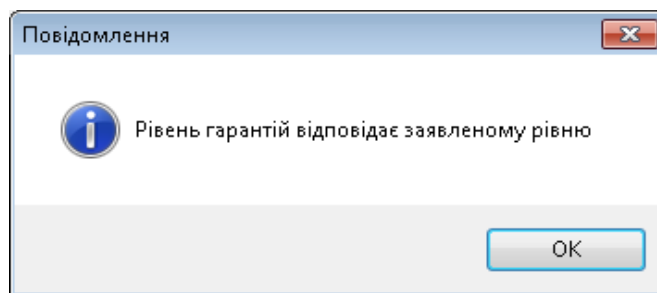


Рис. 5. Приклад оцінки рівня гарантій

Після підтвердження третього рівня у вікні стає доступною функція «Відправити» для передачі отриманого результату на сервер з метою аналізу групового результату роботи десятих експертів. Програма на сервері аналізує результати роботи експертів. Приклад аналізу показано на рис. 6.

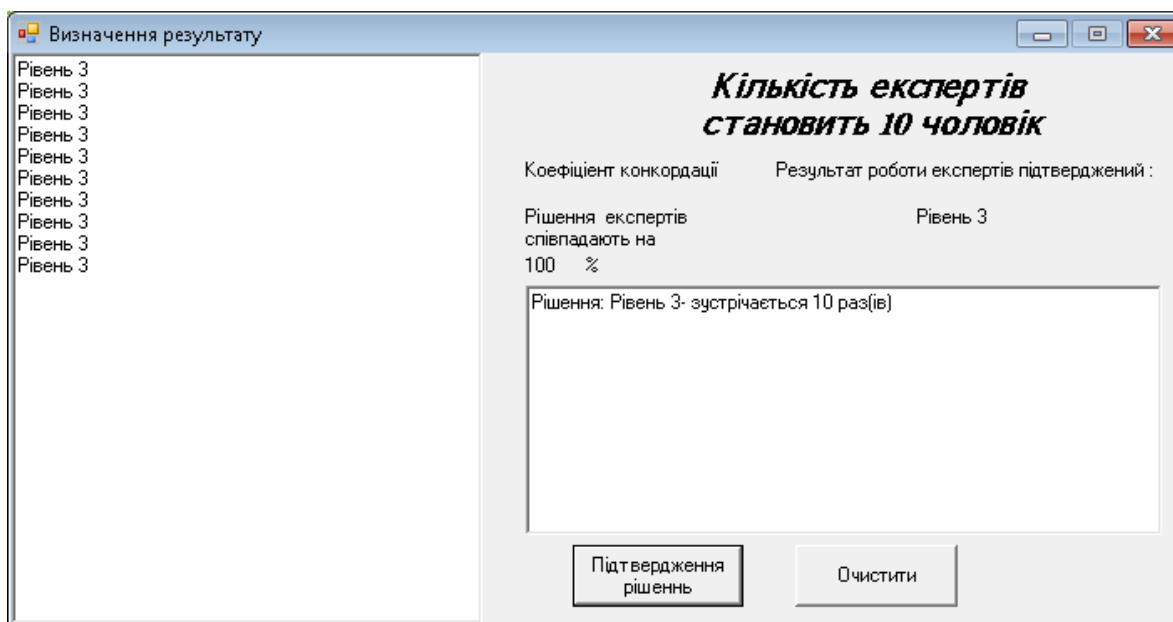


Рис. 6. Визначення групової оцінки

Програмне забезпечення на сервері отримує результати експертів у вигляді підтвердженого або не підтвердженого рівнів гарантій та відповідних набраних балів під час оцінювання системи. Після чого отримані результати обробляються та вираховується коефіцієнт конкордації, він може мати значення від 0 до 1. У разі величини даного коефіцієнта менше 0,3, думки експертів вважаються неузгодженими, за його значень у діапазоні від 0,3 до 0,7, узгодженість вважається середньою. За величини більше 0,7, узгодженість вважається високою. Чим вище даний коефіцієнт, тим краще захищена система від витоку інформації, оскільки вона відповідає заявленому рівню гарантій або ФПЗ. У програмі коефіцієнт переведений у відсотки від 0% до 100%. За результатами роботи експертів щодо оцінювання третього рівня гарантій бачимо коефіцієнт конкордації 1 або 100%, тому робимо висновок, що ВАС відповідає заявленому рівню.

Програмне забезпечення є цілком робочим прототипом для оцінювання цивільних та державних АС і простих ВАС, які описані в нормативно-правових документах

і є перевагою програмного забезпечення, а для застосування до таємних ВАС потрібно доопрацювати критерії їх оцінювання та внести корективи у програмне забезпечення.

Висновки. Програмне забезпечення надається експертам, щоб автоматизовано визначати ФПЗ та рівні гарантій. Після збору усіх результатів їх роботи програмно буде підтверджено ФПЗ або рівень гарантій системи. У разі незбігу результатів у експертів буде сформовано висновок, що система не містить запропонованого ФПЗ або рівня гарантій. І в умовах війни, і в мирний час запропоноване програмне забезпечення дозволить пришвидшити визначення вразливих місць інформаційно-телекомунікаційних систем та оперативно їх усувати. Воно може бути використане для оцінювання більш простих ВАС, а для більш складних та таємних потребує удосконалення, оскільки ці системи мають більш специфічний та засекречений режим роботи. Тому подальші кроки дослідження будуть спрямовані на вивчення документації із забезпечення захисту таємних ВАС та удосконалення програмного продукту.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Юдін О. К., Бучик С. С., Мельник С. В. Теоретичні основи визначення стандартних функціональних профілів захищеності автоматизованої системи від несанкціонованого доступу // Наукоємні технології. 2016. № 2 (30). С. 195–205. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.30.10564>
2. Берестов Д. С., Гульков М. О., Козачок В. А. Побудова парето-оптимальних функціональних профілів захищеності // Збірник наукових праць НУОУ. Київ : ЦВСД НУОУ, 2009. Вип. 1 (39). С. 89–94. URL: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/Znrcvds/2009_1/12.pdf (дата звернення: 01.11.2022).
3. Леншин А. В., Буслов П. В. Метод формування функціональних профілів захищеності від несанкціонованого доступу // Радіоелектронні і комп'ютерні системи : наук.-техніч. журнал. Харків : ХАІ, 2010. Т. 7. С. 77–81. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2010_7_15 (дата звернення: 07.11.2022).
4. Паламарчук Н. А., Хлапонін Ю. І., Овсянніков В. В. Сучасний стан нормативно-правової бази в галузі технічного захисту інформації // Зб. наук. праць ВІТІ НТУУ “КПІ”. Київ : ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2011. № 3. С. 78–82. URL: http://viti.edu.ua/files/zbk/2011/11_3_2011.pdf (дата звернення: 21.11.2022).
5. Шевченко В. Л., Берестов Д. С. Метод пошуку проектних альтернатив системи захисту інформації // Сучасний захист інформації. Київ : ДУТ, 2015. № 3. С. 22–27. URL: <http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/viewFile/386/358> (дата звернення: 01.11.2022).
6. Юдін О. К., Бучик С. С., Фролов О. В. Загальна модель формування системи захисту державних інформаційних ресурсів // Наукоємні технології. 2015. № 4 (28). С. 332–337. doi.org/10.18372/2310-5461.28.9678
7. Юдін О. К., Бучик С. С. Державні інформаційні ресурси. Методологія побудови класифікатора загроз : монографія. Київ : НАУ, 2015. 214 с.
8. Потій О. В., Леншин А. В. Методи побудови та верифікації несуперечності і повноти функціональних профілів захищеності від несанкціонованого доступу // Прикладная

радиоэлектроника : науч.-технич. журнал. Харків, 2010. Т. 9, № 3. С. 479–488. URL: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/410> (дата звернення: 01.10.2022).

9. Нетребко Р. В. Аналіз нормативно-правового забезпечення та методів визначення рівня захищеності інформаційно-телекомунікаційної системи від несанкціонованого доступу // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2017. Вип. 14. С. 79–85.

10. Бучик С. С., Нетребко Р. В. Реалізація програмного забезпечення визначення функціональних профілів та рівня гарантій автоматизованих систем від несанкціонованого доступу // Наукоємні технології. 2017. № 4 (36). С. 309–315. DOI: 10.18372/2310-5461.36.12228

11. Бучик С. С., Нетребко Р. В. Формалізація методу групового аналізу експертних оцінок при визначенні рівня захищеності інформаційно-телекомунікаційної системи від несанкціонованого доступу // Тези доповідей III Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», (19–20 квітня 2018 р., м. Кропивницький): Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С. 40–41.

12. А. с. 74344 Україна. Комп'ютерна програма. Інформаційна система визначення функціонального профілю захищеності та рівня гарантій автоматизованої системи від несанкціонованого доступу (ОФПАС 2.0) / С. С. Бучик, Р. В. Нетребко (Україна). № 74344; заявл. 23.10.2017; опубл. 26.01.2018, Бюл. 47. С. 142–143.

Стаття надійшла до редакції 01.12.2022.

REFERENCES

1. Yudin, O. K., Buchyk, S. S., & Melnyk, S. V. (2016). Teoretychni osnovy vyznachennia standartnykh funktsionalnykh profiliv zakhyshchenosti avtomatyzovanoi systemy vid nesanktsionovanoho dostupu [Theoretical basis of definition of standard functional profiles of security of automated system against unauthorized access]. *Naukoiemni tekhnolohii [Scientific journal "Science-Based Technologies"]*, 2 (30), 195–205. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.30.10564> [in Ukrainian].

2. Berestov, D. S., Hulkov, M. O., & Kozachok, V. A. (2009). Pobudova pareto-optymalnykh funktsionalnykh profiliv zakhyshchenosti [Construction of Pareto-optimal functional security profiles]. *Zbirnyk naukovykh prats NUOU [Collection of research papers NUD of Ukraine]*, 1 (39), 89–94. Retrieved from http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/Znpcvds/2009_1/12.pdf [in Ukrainian].

3. Lienshyn, A. V., & Buslov, P. V. (2010). Metod formuvannia funktsionalnykh profiliv zakhyshchenosti vid nesanktsionovanoho dostupu [The method of forming functional profiles of protection against unauthorized access]. *Radioelektronni i komp'uterni systemy : nauk.-tekhnich. zhurnal [Radioelectronic and computer systems: science and technology magazine]*, 7, 77–81. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/recs_2010_7_15 [in Ukrainian].

4. Palamarchuk, N. A., Khlaponin, Yu. I., & Ovsiannikov, V. V. (2011). Suchasnyi stan normatyvno-pravovoi bazy v haluzi tekhnichnoho zakhystu informatsii [The current state of the regulatory framework in the field of technical information protection]. *Zb. nauk. prats VITI NTUU "KPI" [Collection of Sciences. Proceedings of Military Institute of Telecommunications*

and Information Technologies named after HeroivKrut], 3, 78–82. Retrieved from http://viti.edu.ua/files/zbk/2011/11_3_2011.pdf [in Ukrainian].

5. Shevchenko, V. L., & Berestov, D. S. (2015). Metod poshuku proiektnykh alternatyv systemy zakhystu informatsii [The method of finding project alternatives of the information protection system]. *Suchasnyi zakhyst informatsii [Modern information protection]*, 3, 22–27. Retrieved from <http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/viewFile/386/358> [in Ukrainian].

6. Yudin, O. K., Buchyk, S. S., & Frolov, O. V. (2015). Zahalna model formuvannia systemy zakhystu derzhavnykh informatsiinykh resursiv [General Model of Forming of System of Defence State Informative Resources]. *Naukoiemni tekhnologii [Scientific journal "Science-Based Technologies"]*, 4 (28), 332–337. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.28.9678> [in Ukrainian].

7. Yudin, O. K., & Buchyk, S. S. (2015). *Derzhavni informatsiini resursy. Metodolohiia pobudovy klasyfikatora zahroz [State information resources. Methodology for building a threat classifier]*. Kyiv [in Ukrainian].

8. Potii, O. V., & Lienshyn, A. V. (2010). Metody pobudovy ta veryfikatsii nesuperechnosti i povnoty funktsionalnykh profiliv zakhyshchenosti vid nesanktsionovanoho dostupu [Methods of construction and verification of consistency and completeness of functional profiles for protection against unauthorized access]. *Prikladnaia radioelektronika : nauch.-tekhnich. zhurnal [Applied radioelectronics: scientific and technical magazine]*, Vol. 9, № 3, 479–488. Retrieved from <http://openarchive.nure.ua/handle/document/410> [in Ukrainian].

9. Netrebko, R. V. (2017). Analiz normatyvno-pravovoho zabezpechennia ta metodiv vyznachennia rivnia zakhyshchenosti informatsiino-telekomunikatsiinoi systemy vid nesanktsionovanoho dostupu [Analysis of regulatory and legal support and methods of determining the level of security of the information and telecommunications system against unauthorized access]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 14, 79–85 [in Ukrainian].

10. Buchyk, S. S., & Netrebko, R. V. (2017). Realizatsiia prohramnoho zabezpechennia vyznachennia funktsionalnykh profiliv ta rivnia harantii avtomatyzovanykh system vid nesanktsionovanoho dostupu [Realization Software of Determination of Functional Profiles and Level of Guarantees of Automated Systems from an Unauthorized Access]. *Naukoiemni tekhnologii [Scientific journal "Science-Based Technologies"]*, 4 (36), 309–315. <https://doi.org/10.18372/2310-5461.36.12228> [in Ukrainian].

11. Buchyk, S. S., & Netrebko, R. V. (2018). Formalizatsiia metodu hrupovoho analizu ekspertnykh otsinok pry vyznachenni rivnia zakhyshchenosti informatsiino-telekomunikatsiinoi systemy vid nesanktsionovanoho dostupu [Formalization of the method of group analysis of expert evaluations when determining the level of protection of the information and telecommunications system against unauthorized access]. In *Tezy dopovidei III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Informatsiina bezpeka ta kompiuterni tekhnologii» [Abstracts of reports III International science and practice conf. "Information security and computer technologies"]*. Kropyvnytskyi, April 19–20, 2018. (pp. 40–41). Kropyvnytskyi [in Ukrainian].

12. Buchyk, S. S., & Netrebko, R. V. (2018). Author's certificate 74344 Ukraine. *Komp'iuterna prohrama. Informatsiina systema vyznachennia funktsionalnoho profilu zakhyshchenosti ta*

rivnia harantii avtomatyzovanoi systemy vid nesanktsionovanoho dostupu (OFPAS 2.0) [Computer program. Information system for determining the functional security profile and the level of guarantees of the automated system against unauthorized access (OFPAS 2.0)], Bulletin 47, 142–143 [in Ukrainian].

R. V. Netrebko

TESTING SOFTWARE DETERMINING THE LEVEL OF PROTECTION IN MILITARY AUTOMATED SYSTEMS AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS BY THE ENEMY

The article proposes and analyzes the main stages of the application of software for group assessment of the functional profile and determination or agreement of the level of guarantees of the correctness of the implementation of functional security services in the means of information protection of military automated control systems against unauthorized access by the enemy in Ukraine on the basis of previously conducted theoretical studies by the authors and developed software . The latest research and publications of leading scientists in the field of information protection against unauthorized access are analyzed. The main normative documents of technical information protection are presented, which regulate the procedure for evaluating and determining the functional profile and level of guarantees of automated systems against unauthorized access, which are used for civil and state automated systems in Ukraine. The design of the program's functioning was carried out using diagrams and algorithms. The software is tested and work examples are provided. The advantages and disadvantages of the software for the group determination of the functional profile of security and the level of guarantees for the verification of military automated systems are revealed.

The developed software will facilitate the work of experts in determining the security of the system against unauthorized access and will speed up the improvement of the necessary set of protection tools required for reliable protection of confidential information. Further improvement steps for assessing the level of security of military automated systems against unauthorized access by the enemy are outlined.

Keywords: *military automated system; information security; information security policy; rules of access demarcation; unauthorized access; complex of protection means; security profile.*

І. В. Пулеко, О. В. Андреев, О. Ф. Дубина, В. О. Чумакевич, А. С. Паламарчук

МОДЕЛЬ РУХУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ АЛГЕБРИ ДУАЛЬНИХ КВАТЕРНІОНІВ

Широке використання безпілотних літальних апаратів під час ведення бойових дій актуалізувало проблему стійкого управління ними, особливо коли їх застосовують великими групами. Одним з основних завдань при цьому є забезпечення узгодженого переміщення літальних апаратів групи в просторі. Оптимізацію руху кожного з них у тривимірному просторі доцільно проводити з використанням математичних моделей. Переміщення будь-якого безпілотного літального апарата можна подати як сукупність поступального та обертального рухів, а його швидкість – як комбінацію поступальної та обертальної швидкостей. Раніше ці рухи моделювалися окремо за допомогою системи диференціальних рівнянь чи кватерніонів. У цій статті розроблено математичну модель обертального й поступального рухів літального апарата на основі алгебри дуальних кватерніонів. Дуальні кватерніони, що складаються з восьми скалярів, є компактним зображенням жорстких перетворень у просторі. Тому їх властивості зумовлюють перевагу в ході моделювання руху, оскільки зменшують обсяги обчислень. Так, за допомогою одного дуального кватерніона вдається описати відразу і поступальний, і обертальний рухи, а задля моделювання переміщення використовується операція некомутативного множення дуальних кватерніонів.

У моделі прийнято, що дійсна частина дуального кватерніона визначає орієнтацію безпілотного літального апарата в просторі, а дуальна – його положення в тривимірному просторі. Щоб поєднати літакові системи координат з моделлю, отримано вирази для переходу від літакових кутів орієнтації (крену, ристання і тангажа) до параметрів дуального кватерніона та у зворотному напрямку.

Працездатність запропонованої моделі підтверджено за допомогою розробленого програмного забезпечення моделювання узгодженого руху літальних апаратів. Програмне забезпечення адаптоване для графічного відображення великої кількості літальних апаратів у веббраузерах з підтримкою WebGL.

Ключові слова: моделювання руху; обертальний та поступальний рух; безпілотні літальні апарати; кватерніони; дуальні кватерніони; алгебра кватерніонів.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Постійне зростання кількості роботизованих засобів та безпілотних літальних апаратів (БпЛА), що застосовуються під час ведення бойових дій, актуалізувало проблему їх стійкого управління. Одним з основних завдань управління групами БпЛА є забезпечення їх узгодженого переміщення в просторі для виконання своїх завдань кожним апаратом окремо. Наприклад, рух у вигляді розгорнутого строю БпЛА, вибір цілей для ураження чи розподіл завдань у разі протидії системі протиповітряної оборони. Оптимізацію переміщень (руху) кожного БпЛА групи в просторі доцільно проводити з використанням математичних моделей, що дозволять описати як рух безпосередньо, так і деякі елементи взаємодії між літальними апаратами.

© І. В. Пулеко, О. В. Андреев, О. Ф. Дубина, В. О. Чумакевич, А. С. Паламарчук, 2022

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У класичній теорії кінематики і динаміки [1] кінематичні рівняння, подані в напрямних косинусах, є системою дев'яти лінійних скалярних рівнянь, що відповідають шести зв'язкам, які є умовою ортогональності. Рівняння в кутах Ейлера є системою трьох незалежних лінійних рівнянь, що мають одну особливу точку, у якій система вироджується. Динаміка ж описується диференціальними рівняннями руху.

Альтернативою визначення положення динамічного об'єкта є кватерніонні рівняння, які є системою чотирьох лінійних рівнянь, що не вироджуються та відповідають одному рівнянню зв'язку. Подання ортогональних перетворень координат у вигляді добутку кватерніонів дозволяє виконувати моделювання довільного руху з меншими обчислювальними витратами [2, 3]. Але недоліком цієї моделі є те, що кожен вид руху (поступальний і обертальний) буде моделюватися окремо й поєднуюватимуться вони в кожній точці переміщення.

Для усунення цього недоліку авторами запропоновано під час моделювання рухів БпЛА застосувати алгебру дуальних кватерніонів. У механіці їх використовують як систему числення для подання жорстких перетворень у тривимірних координатах [4, 5]. Завдяки наявній власній розмірності дуальний кватерніон (на відміну від кватерніона з розмірністю 4) дозволяє описати як положення об'єкта в просторі, так і його орієнтацію.

Подібно до того, як обертання в тривимірному просторі можуть бути описані кватерніонами одиничної довжини, жорсткі рухи в тривимірному просторі можуть бути подані дуальними кватерніонами одиничної довжини. Цей факт використовується в теоретичній кінематиці [6], а також у додатках до тривимірної комп'ютерної графіки, робототехніки та комп'ютерного зору [7]. Приклад подібного моделювання наведено в [12].

Формулювання завдання дослідження. Метою цієї статті є розробка математичних моделей руху БпЛА на основі алгебри дуальних кватерніонів.

Виклад основного матеріалу. Прийmemo основні обмеження і допущення. Будемо розглядати БпЛА як «тверде тіло», що є сукупністю матеріальних точок жорстко зв'язаних між собою. У разі руху відстань між точками і центром мас не змінюється, а траєкторія динамічного об'єкта може бути описана як траєкторія руху центра мас.

Рух будь-якого типу БпЛА можна подати як сукупність поступального та обертального рухів (динаміка й кінематика). Оскільки обертання, складене з переміщенням, є також жорстким перетворенням, то будь-яке переміщення жорсткого об'єкта в 3D-просторі може бути описане жорстким перетворенням. Тоді швидкість динамічного об'єкта також складається з поступальної та обертальної швидкостей.

Оскільки дуальні кватерніони ще не набули широкого поширення, то наведемо основні положення алгебри бікватерніонів, що будуть використані для розробки моделей.

У математиці подвійні кватерніони – це 8-мірна реальна алгебра, ізоморфна тензорному добутку кватерніонів та подвійних чисел. Отже, вони можуть бути побудовані так само, як і кватерніони, за винятком використання подвійних чисел замість реальних чисел як коефіцієнтів [9].

Бікватерніони можна описати як множини чисел у такій формі: « $w + x \cdot i + y \cdot j + z \cdot k$ », де w, x, y, z – це ті чи інші «спеціальні комплексні числа» [9]. Інший спосіб їх введення

(процедура Келі – Діксона): це гіперкомплексні числа виду « $a + I \cdot b$ », де a, b – будь-які кватерніони, а I – уявна одиниця розширення. Як гіперкомплексне число бікватерніон має розмірність 8. Відомі три різні види бікватерніонів залежно від того, якого типу комплексні числа покладені в основу цього подання (інакше кажучи, які властивості операції множення для числа « I » розширюються) [9]:

- еліптичні (ординарні), для яких $I^2 = -1$;
- параболічні (дуальні), для яких $I^2 = 0$;
- гіперболічні (подвійні), для яких $I^2 = +1$.

Інколи бікватерніон також називають ще комплексним кватерніоном, у цьому разі його подають у вигляді кватерніона, кожен компонент якого є подвійне (дуальне) число (не плутати з комплексним). Дуальне число $A = a_1 + \ell a_2$, де a_1 і a_2 – дійсні числа, а ℓ – символ (комплексність) Кліффорда, що володіє властивістю $\ell^2 = 0$.

Оскільки стаття присвячена моделюванню узгодженого руху БпЛА, то в ній використовуються дуальні кватерніони, що в англійській літературі отримали назву «Dual Quaternion» [2].

Дуальний кватерніон можна подати у вигляді двох кватерніонів (тут і далі переважно будемо дотримуватися позначень, наведених у [12]):

$$D = \mathbf{q}_1 + \ell \mathbf{q}_2, \quad (1)$$

де \mathbf{q}_1 і \mathbf{q}_2 є двома кватерніонами, що мають математичний оператор із властивістю $\ell^2 = 0$.

Можливий також інший вигляд цього запису:

$$D = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 \\ \mathbf{q}_2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де \mathbf{q}_1 – дійсна частина, а \mathbf{q}_2 – дуальна частина.

Для моделювання динамічних систем можна прийняти, що \mathbf{q}_1 визначає орієнтацію БпЛА в просторі, а \mathbf{q}_2 – його положення.

Для дуального кватерніона $D = \mathbf{q}_1 + \ell \mathbf{q}_2$ є кілька спряжень, які використовуються залежно від необхідних операцій, наприклад, спряження, отримане шляхом застосування спряженого кватерніона до кожного кватерніона, який складає дуальний кватерніон:

$$D^* = \mathbf{q}_1^* + \ell \mathbf{q}_2^*. \quad (3)$$

Скалярними характеристиками дуального кватерніона є норма та модуль.

Нормою дуального кватерніона D є дуальне число, яке визначають у такий спосіб:

$$\|D\| = \|q_1\| + \ell(q_{1_0} q_{2_0} + q_1^T q_2). \quad (4)$$

Модуль дуального кватерніона – також дуальне число:

$$\left| \tilde{D} \right| = |q_1| + \ell \frac{q_{1_0} q_{2_0} + q_1^T q_2}{|q_1|}. \quad (5)$$

Основні операції роботи з дуальними кватерніонами подібні до простих кватерніонів. Додавання і віднімання дуальних кватерніонів комутативне (складові можна міняти місцями):

$$D \pm P = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 \pm \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{q}_2 \pm \mathbf{p}_2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Множення дійсного числа на дуальний кватерніон:

$$\alpha D = \begin{bmatrix} \alpha \mathbf{q}_1 \\ \alpha \mathbf{q}_2 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Множення дуальних кватерніонів некомутативне (у разі зміни порядку співмножників результат бікватерніонного множення різний):

$$D \otimes P = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 \otimes \mathbf{p}_1 \\ \mathbf{q}_1 \otimes \mathbf{p}_2 + \mathbf{q}_2 \otimes \mathbf{p}_1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Ця операція є однією з головних у моделюванні за допомогою дуальних кватерніонів і несе в собі основний фізичний зміст, а саме результатом бікватерніонного множення є операція додавання поворотів і лінійних переміщень двох дуальних кватерніонів.

Обернений дуальний кватерніон обчислюється в такий спосіб:

$$D^{-1} = \frac{D^*}{\|D\|^2}. \quad (9)$$

Якщо недуальна частина дуального кватерніона D має нульову норму, то D не має оберненого дуального кватерніона.

Далі у викладенні дуальні кватерніони, що описують обертання, переміщення та/або гвинтові рухи, а також точки та прямі, подаємо за допомогою унітарних дуальних кватерніонів, тобто подвійних кватерніонів із нормою (4), рівною 1.

Для практичного моделювання дуальний кватерніон будемо розглядати як два кватерніони (2).

Орієнтацію БпЛА в просторі визначатимемо за допомогою так званих літакових кутів: рискання ψ , тангажа ϑ і крену γ , – які задають у базовій і зв'язаній системі координат.

За базову систему координат візьмемо таку:

початок системи координат (точка O_0) розташований у точці початку руху БпЛА;

вісь $O_0 X_g$ спрямована на північ по дотичній місцевого меридіана;

вісь $O_0 Y_g$ спрямована вертикально вгору і протилежна до напрямку вектора сили тяжіння;

вісь O_0Z_g доповнює систему до правої та спрямована праворуч на схід.

Зв'язана система координат стосується безпосередньо БпЛА:

початок системи координат (точка O) розташований у точці центра мас БпЛА;

вісь OX спрямована вперед, до передньої точки БпЛА;

вісь OY спрямована вертикально вгору і перпендикулярна горизонтальній площині об'єкта;

вісь OZ доповнює систему до правої.

Тоді положення БпЛА в просторі задається радіусом-вектором початку (точка O) зв'язаної системи координат відносно нерухомої базової системи координат. Орієнтація зв'язаної системи координат щодо базової визначається трьома послідовними поворотами на:

кут ролування ψ – поворот навколо осі OY ,

кут тангажа ϑ – поворот навколо осі OZ ,

кут крену γ – поворот навколо осі OX .

Для початкового визначення дуального кватерніона необхідно задати його дійсну й уявну частини. Орієнтація і стан об'єкта задається щодо базової системи координат за допомогою кутів орієнтації ψ , ϑ , γ і вектора положення центра мас $\mathbf{r} = (r_x, r_y, r_z)^T$.

Дійсну частину можна задати за допомогою формули

$$\mathbf{q}_1 = \begin{bmatrix} \cos \frac{\psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} - \sin \frac{\psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2} \\ \cos \frac{\psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2} + \sin \frac{\psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} \\ \cos \frac{\psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2} + \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} \\ \cos \frac{\psi}{2} \sin \frac{\vartheta}{2} \cos \frac{\gamma}{2} - \sin \frac{\psi}{2} \cos \frac{\vartheta}{2} \sin \frac{\gamma}{2} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Потрібно звернути увагу на те, що, якщо послідовність поворотів інша, вирази будуть теж іншими.

Дуальна частина визначається за таким виразом:

$$\mathbf{q}_2 = \frac{1}{2} \mathbf{r} \otimes \mathbf{q}_1. \quad (11)$$

Обчислити кути орієнтації можна з дійсної частини дуального кватерніона \mathbf{q}_1 :

$$\psi = \arctan \frac{2(q_0 q_2 - q_1 q_3)}{q_0^2 + q_1^2 - q_2^2 - q_3^2}, \quad \vartheta = \arcsin(2(q_1 q_2 + q_0 q_3)), \quad (12)$$

$$\gamma = \arctan \frac{2(q_0 q_1 - q_2 q_3)}{q_0^2 - q_1^2 + q_2^2 - q_3^2}.$$

А положення БпЛА визначається за виразом

$$\mathbf{r} = 2\mathbf{q}_2 \otimes \mathbf{q}_1^{-1}, \quad (13)$$

у результаті отримуємо вектор у кватерніонній формі $\mathbf{r} = (0, r_x, r_y, r_z)^T$.

Задамо поворот і переміщення вектора дуальним кватерніоном. Для введених $O_0 X_g Y_g Z_g$ – нерухомої базової та $OXYZ$ – зв'язаної системи координат БпЛА орієнтацію і його положення відносно базової системи координат можна задати дуальним кватерніоном D [12]. Якщо заданий вектор \mathbf{r} у зв'язаній системі координат, то можна отримати вектор \mathbf{r}_0 у базовій системі координат за допомогою формули

$$\mathbf{r}_0 = D \otimes \mathbf{r} \otimes D^{-1}, \quad (14)$$

і в зворотному напрямку

$$\mathbf{r} = D^{-1} \otimes \mathbf{r}_0 \otimes D, \quad (15)$$

де $\mathbf{r} = (1, 0, 0, 0, 0, r_x, r_y, r_z)$ – вектор у бікватерніонній формі.

Для перевірки можливостей моделювання руху БпЛА було розроблено вебдодаток із використанням JavaScript-бібліотеки роботи з бікватерніонами [12]. Автори щиро вдячні Сапожнику Д. О. за допомогу в адаптації програмного коду та розробку графічних елементів (рис. 1).

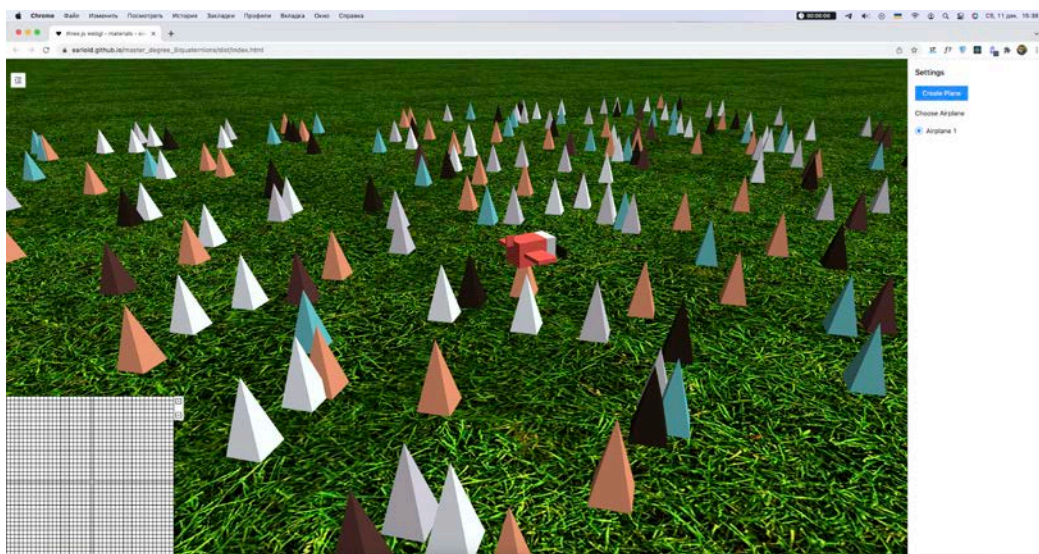


Рис. 1. Графічний інтерфейс користувача вебдодатка моделювання руху БпЛА

Вебдодаток підтримується основними браузерами з WebGL та дозволяє:
 моделювати поступальний та обертальний рухи БпЛА за допомогою дуальних кватерніонів;

моделювати довільну кількість БпЛА літакового типу (обмежується лише можливістю видимості на екрані);

моделювати зону радіовидимості БпЛА як у вигляді кулі (рис. 2), так і від гостронаправлених антен;



Рис. 2. Зона радіовидимості БпЛА у вигляді кулі

моделювати спільний політ декількох БпЛА з відслідковуванням один одного за допомогою дуальних кватерніонів (рис. 3).



Рис. 3. Спільний політ двох БпЛА

Висновки. Розроблено модель руху БпЛА на основі алгебри дуальних кватерніонів, яка дозволяє одночасно моделювати обертальний та поступальний рухи.

Розроблено вебдодаток, призначений для дослідження руху і вирішення прикладного завдання зі встановлення зв'язку між БпЛА. Програмна реалізація адаптована для вебдодатків, що значно економить виділені ресурси для роботи інших додатків, порівняно з традиційними методами моделювання переміщення 3D-об'єктів, та надає широкі можливості адаптації рішення під різні вхідні параметри. Використання теорії дуальних кватерніонів забезпечує надійність та можливість розширення функціоналу вебсистеми, адаптованого до майбутніх потреб у різних галузях.

Особливо великий потенціал реалізація моделей має в управлінні групами БпЛА та побудові мереж типу Flying Ad-Hoc Networks (FANETs).

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki, Wei Wang, Daisuke Nakazawa. Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles. Springer: Tokyo; London; New York, 2010. 348 p.

2. Пулеко І. В. Математична модель динаміки рухливих об'єктів на основі кватерніонів // Технічна інженерія. Житомир : Держ. ун-т «Житомирська політехніка». 2019. № 2 (84). С. 109–114. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2019-2\(84\)-109-114](https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-109-114)
3. Puleko I., Chumakevych V., Ptashnyk V., Misin A. Application of theory of functional stability for information technology of unmanned aerial group control // CEUR Workshop Proceedings *this link is disabled*. 2022. Vol. 3109. P. 1–7.
4. Neil T. Dantam. Practical Exponential Coordinates using Implicit Dual Quaternions // International Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR). 2018. P. 639–655. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44051-0_37
5. Murat Bekar, Yusuf Yaylı. Kinematics of Dual Quaternion Involution Matrices // SDU Journal of Science (E-Journal). 2016. № 11 (2). P. 121–132.
6. Leclercq G., Lefèvre P. and Blohm G. 3D kinematics using dual quaternions: theory and applications in neuroscience // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 2013. № 7. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00007>
7. Kenwright Ben. Dual-Quaternions: From Classical Mechanics to Computer Graphics and Beyond. URL: https://xbdev.net/misc_demos/demos/dual_quaternions_beyond/paper.pdf (last accessed: 24.11. 2022).
8. Li Z., Schröcker H.-P., Scharler D. A Complete Characterization of Bounded Motion Polynomials Admitting a Factorization with Linear Factors. URL: <https://arxiv.org/pdf/2209.02306.pdf> (last accessed: 24.11. 2022).
9. Швець В. Т. Вища математика: теорія функцій комплексної змінної. Одеса. Вид-во БМВ, 2014. 284 с.
10. Гордеев В. Н. Кватернионы и бикватернионы с приложениями в геометрии и механике. Киев : Изд-во "Сталь", 2016. 316 с.
11. Bruno Vilhena Adorno. Robot Kinematic Modeling and Control Based on Dual Quaternion Algebra. Part I: Fundamentals. 2017. 47 p. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01478225> (last accessed: 10.12. 2022).
12. Ахрамович Сергей. Бикватернионы. URL: <https://habr.com/ru/post/436210/> (дата обращения: 11.12.2022).

Стаття надійшла до редакції 20.12.2022.

REFERENCES

1. Kenzo Nonami, Farid Kendoul, Satoshi Suzuki, Wei Wang, & Daisuke Nakazawa. (2010). *Autonomous Flying Robots. Unmanned Aerial Vehicles and Micro Aerial Vehicles*. Springer: Tokyo; London; New York.
2. Puleko, I. V. (2019). Matematychna model dynamiky ruhlyvykh ob'ektiv na osnovi kvaternioniv [Mathematical Model of Dynamics of Moving Objects Based on Quaternions]. *Tekhnichna inzheneriia [Technical Engineering]*, 2 (84), 109–114. Zhytomyr: State University "Zhytomyr polytechnic". [https://doi.org/10.26642/ten-2019-2\(84\)-109-114](https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-109-114) [in Ukrainian].
3. Puleko, I., Chumakevych, V., Ptashnyk, V., & Misin, A. (2022). Application of theory of functional stability for information technology of unmanned aerial group control. *CEUR Workshop Proceedings* *this link is disabled*, 3109, 1–7.

4. Neil T. Dantam. (2018). Practical Exponential Coordinates using Implicit Dual Quaternions. *International Workshop on the Algorithmic Foundations of Robotics (WAFR)*, 639–655. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44051-0_37
5. Murat Bekar, & Yusuf Yaylı. (2016). Kinematics of Dual Quaternion Involution Matrices. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 11 (2), 121–132.
6. Leclercq, G., Lefèvre, P., & Blohm, G. (2013). 3D kinematics using dual quaternions: theory and applications in neuroscience. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00007>
7. Kenwright Ben. (n.d.). *Dual-Quaternions: From Classical Mechanics to Computer Graphics and Beyond*. Retrieved from https://xbdev.net/misc_demos/demos/dual_quaternions_beyond/paper.pdf
8. Li, Z., Schröcker, H.-P., & Scharler, D. (n.d.). *A Complete Characterization of Bounded Motion Polynomials Admitting a Factorization with Linear Factors*. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2209.02306.pdf>
9. Shvets, V. T. (2014). *Vyshcha matematyka: teoriia funktsii kompleksnoi zminnoi [Higher mathematics: the theory of functions of a complex variable]*. Odesa [in Ukrainian].
10. Gordeev, V. N. (2016). *Kvaterniony i bikvaterniony s prilozheniiami v geometrii i mekhanike [Quaternions and biquaternions with applications in geometry and mechanics]*. Kyiv [in Russian].
11. Bruno Vilhena Adorno. (2017). *Robot Kinematic Modeling and Control Based on Dual Quaternion Algebra. Part I: Fundamentals*. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01478225> (last accessed: 10.12. 2022).
12. Akhramovich, S. (2019). *Bikvaterniony [Biquaternions]*. Retrieved from <https://habr.com/ru/post/436210/> [in Russian].

I. V. Puleko, O. V. Andreev, O. F. Dubina, V. O. Chumakevych, A. S. Palamarchuk
MODEL OF MOTION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON DUAL QUATERNION ALGEBRA

The widespread use of unmanned aerial vehicles during warfare has intensified the problem of their management, especially when they are used in large groups. One of the main tasks is to ensure coordinated movement of the group's aircraft in space. Optimizing the movement of each device of the group in three-dimensional space is expedient to use mathematical models. The movement of any unmanned aerial vehicle can be presented as a combination of translational and rotational movements, and its speed as a combination of translational and rotational velocities. Previously, these movements were modeled separately using a system of differential equations or quaternions. In this article, a mathematical model of rotational and translational movements of an aircraft based on the algebra of dual quaternions is developed. Dual quaternions consisting of eight scalars are a compact representation of rigid transformations in space. Therefore, their properties determine the advantage in the course of motion simulation, as they reduce the amount of calculations. Thus, with the help of one dual quaternion, it is possible to provide both translational and rotational motions at once, and the operation of non-commutative multiplication of dual quaternions is used to simulate the movement.

The model assumes that the real part of the dual quaternion determines the orientation of the UAV in space, and the dual part determines its position in three-dimensional space. In order to connect aircraft coordinate systems with the model, expressions for the transition from aircraft orientation angles (roll, yaw, and pitch) to dual quaternion parameters and vice versa are obtained.

The functionality of the proposed model was confirmed using the developed software for modeling the coordinated movement of aircraft. The software is adapted for graphical display of a large number of aircraft in web browsers with WebGL support.

Keywords: *motion modeling; rotational and translational movement; unmanned aerial vehicles; quaternions; dual quaternions; algebra of quaternions.*

Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, С. Д. Іщенко, Л. М. Марищук

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ВИСОКОТОЧНИЙ ЗБРОЇ ЯК СКЛАДОВОЇ ОПЕРАЦІЇ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ СПЕКТРІ

Наявність у противника значної кількості ударних систем високоточної зброї зумовлює нагальну потребу створення ефективних систем захисту інфраструктурних і військових об'єктів. Одним з елементів таких систем можуть стати сили та засоби радіоелектронної боротьби, які дозволять проводити захисні дії в електромагнітному спектрі.

Але в теперішніх умовах ресурсних та часових обмежень залучення до таких систем захисту засобів радіоелектронної боротьби є певною науково-практичною проблемою, що потребує вирішення, зокрема через визначення прогнозованої ефективності їх функціонування в системі захисту об'єктів.

У статті запропоновано підхід, згідно з яким дії високоточної зброї у процесі її наведення на об'єкти та відповідні заходи систем захисту, що вживаються на супротив, розглядаються як антагоністичні, оскільки вони виконуються як з використанням передавальних і приймальних радіоелектронних засобів високоточної зброї, так і засобів радіоелектронної боротьби систем захисту. Застосування засобів радіоелектронної боротьби в операції в електромагнітному спектрі з метою протидії високоточній зброї досліджується як складова операції в електромагнітному спектрі. Для проведення дослідження розглянуто тактичний бойовий епізод, у якому прийняті припущення й обмеження не викривляють змісту та фізичної сутності процесів радіоелектронної боротьби з високоточною зброєю.

Запропоновано оцінювання радіоелектронної боротьби здійснювати за ймовірнісним показником дезорганізації системи наведення високоточної зброї. Показано, що відповідно до прийнятих умов, показник стосується радіоподавлення супутникових систем навігації.

Запропонований показник може характеризувати застосування сил і засобів радіоелектронної боротьби в системах захисту від високоточної зброї, оскільки він залежить:

від технічних характеристик зразків високоточної зброї (опосередковано визначає перешкодозахищеність радіолінії їх систем наведення);

від спроможностей сил і засобів радіоелектронної боротьби з високоточною зброєю.

Показано, що ефективність застосування засобів радіоподавлення в операції в електромагнітному спектрі обмежена ймовірністю успішного наведення керованих засобів ураження, яка забезпечується характеристиками їх інерціальної системи.

Ключові слова: високоточна зброя; операція в електромагнітному спектрі; радіоелектронна боротьба; системи наведення.

© Д. А. Іщенко, Д. Л. Федорчук, С. Д. Іщенко, Л. М. Марищук, 2022

Постановка проблеми в загальному вигляді. Розвиток основних складових систем озброєння базується на загальносвітових тенденціях удосконалення озброєння та військової (спеціальної) техніки, зокрема розвитку сучасних систем і засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), протидії технічним розвідкам і високоточної зброї (ВТЗ) противника.

Досвід російсько-української війни одночасно підтверджує доцільність вогневого ураження (ВУ) противника засобами ВТЗ та складність захисту від керованих засобів ураження (КЗУ) комплексів ВТЗ позицій військ (сил), а також військових, інфраструктурних, енергетичних об'єктів у глибокому тилу.

Розвідувальне забезпечення планування та навігаційної (геоінформаційної) підтримки бойових дій для завдання ударів ракетами та безпілотними літальними апаратами (БпЛА) по об'єктах держави поза зоною ведення активних бойових дій противник здійснює з використанням даних космічної, повітряної, морської та наземної розвідок, а також даних систем навігації, зокрема супутникової.

Як елемент розвідки та корегування вогню зазвичай застосовують безпілотні авіаційні комплекси (БпАК). Крім того, сучасні розвідувально-ударні БпАК набувають властивостей комплексів ВТЗ за рахунок використання їх БпЛА як керованої ударної зброї (літаючих боєприпасів, «камікадзе») або носіїв таких КЗУ, зокрема із системами самонаведення (СН) різних видів (радіолокаційні, оптико-електронні) і типів (активні, напівактивні, пасивні).

Аналіз застосування комплексів ВТЗ рф під час ударів по державних об'єктах держави показав першочергову актуальність боротьби саме з КЗУ із СН. Для завдання ударів КЗУ із СН противник використовує комплекси ВТЗ, до складу яких входять БпАК, літаки та ракети військово-космічних сил, військово-морського флоту, сухопутних військ збройних сил рф. Комплекси ВТЗ противника повітряного, морського та наземного базування розташовуються в рф, рб і на тимчасово окупованих територіях України, в Автономній Республіці Крим й акваторіях морів. Віддалення районів базування носіїв (комплексів) ВТЗ рф і запуску КЗУ противника від місць розташування комплексів ракетних військ і артилерії України, аеродромів базування авіації та позицій зенітно-ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил (ЗС) України значно перевищує наявні спроможності, необхідні для їх ураження. Отже, на сьогоднішній день ураження носіїв (комплексів) ВТЗ рф до початку виконання противником запуску КЗУ вказаними силами та засобами є складним заданням через їх просторово-часові характеристики та співвідношення спроможностей, що потребує спеціальних дій.

За таких умов особливої актуальності набуває проблема захисту об'єктів у разі протидії ВТЗ під час польоту КЗУ до цілі. Досвід війни показує, що знищення КЗУ класу «повітря – поверхня» (БпЛА, крилатих, аеробалістичних ракет тощо) у польоті засобами класу «повітря – повітря» авіації та зенітними засобами «поверхня – повітря» сил протиповітряної оборони є найбільш результативним способом. Очевидно, що вирішення проблеми захисту лише в такий спосіб потребує значних витрат матеріальних ресурсів.

Наявність у противника значної кількості ударних систем ВТЗ із наведенням КЗУ автоматизованими системами зумовлює потребу створення ефективних систем захисту (СЗ) великої кількості інфраструктурних і військових об'єктів.

Створення СЗ об'єктів передбачає комплектування їх засобами активного впливу на елементи ВТЗ (ВУ) або їх маскуванню (приховування, імітацію) від систем ближнього наведення КЗУ з використанням засобів інженерної підтримки та РЕБ.

Побудова ударних систем ВТЗ на основі реалізації методів наведення з використанням випромінювання та приймання електромагнітних хвиль надає можливість проведення захисних дій в електромагнітному спектрі (ЕМС) силами та засобами РЕБ.

Застосування засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ не потребує значних витрат матеріальних ресурсів порівняно з авіаційними й зенітними засобами ураження, але за теперішніх ресурсних та часових обмежень рішення про їх використання потребує оцінювання прогнозованої ефективності щодо протидії ВТЗ.

Виникає потреба наукового обґрунтування змісту, розроблення складових, показників та критеріїв оцінювання ефективності РЕБ щодо протидії ВТЗ, оскільки запропоновані положення можуть бути враховані уповноваженими посадовими особами для прийняття своєчасних системних рішень на використання засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ.

Отже, оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ для протидії ВТЗ є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого забезпечить підвищення ефективності Сил оборони України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які є у вільному доступі, дозволяє зробити висновок про використання противником у сучасних комплексах (системах, зразках) ВТЗ повітряного та морського (наземного) базування систем наведення, що побудовані за принципами, достатньо повно викладеними авторами робіт [1, 2], це також підтверджується змістом видань рф [3, 4].

Проблемам розвитку ВТЗ, захисту від КЗУ, використанню методів РЕБ із СН в інтересах вирішення завдань захисту військових об'єктів присвячено роботи вітчизняних та закордонних авторів [5–9], де узагальнено досвід і запропоновано підходи до забезпечення захисту від ВТЗ. Науковці досить повно та всебічно розкрили результати теоретичних і практичних досліджень щодо створення, впровадження та застосування методів і засобів захисту від такої зброї. Результати, які висвітлено, необхідно використовувати з урахуванням їх певної невизначеності [9–11], обумовленої неповнотою / відсутністю відомостей про поведінкову та природну нестохастичність факторів протидії ВТЗ і параметрів досліджень, а також їх можливої суб'єктивної випадковості.

У публікації JP 3-85 [12] надано нормативні для ЗС США положення щодо операції в ЕМС, зміст яких є корисним для аналізу застосування засобів РЕБ з метою протидії ВТЗ.

У роботі [13] розглянуто питання комплексного застосування сил та засобів виявлення (розвідки), ураження та подавлення КЗУ на прикладі протидії розвідувально-ударним БпАК у складі СЗ інфраструктурних і військових об'єктів.

Проте результати вирішення завдання оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС для протидії ВТЗ у прямій постановці питання не відображено.

Наявність суб'єктивних факторів у зазначених підходах, пов'язана з низкою суперечностей і неоднозначностей, стримує процес досліджень проблем розвитку та застосування сил і засобів РЕБ в інтересах захисту об'єктів і військ (сил) від ВТЗ.

Формулювання завдання дослідження. За умов наявності в противника значної кількості різного класу ударних систем із СН, радіоелектронні засоби яких функціонують із використанням ЕМС, нагальною є потреба актуалізації методологічного та понятійного апарату РЕБ із ВТЗ щодо категорій «операцій в ЕМС» [12]. Вирішення такої потреби надає можливість розроблення підходу до оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС з метою протидії ВТЗ.

Запропоноване завдання є актуальним, оскільки його вирішення дозволить систематизувати знання в зазначеній предметній галузі та створити передумови для переходу на більш високий якісний рівень практичного використання результатів теоретичних досліджень розвитку СЗ від ВТЗ, застосування засобів РЕБ із ВТЗ противника.

У практичній площині оцінювання ефективності застосування засобів РЕБ в операції в ЕМС з метою протидії ВТЗ дозволяє обирати більш якісні варіанти для групового або індивідуального захисту об'єктів військових або інфраструктури.

Виклад основного матеріалу. У статті під терміном «об'єкт» розуміють: ділянки місцевості, будівлі, споруди, які постійно чи тимчасово використовуються з'єднанням, військовою частиною і підрозділом ЗС для виконання завдань або розміщення та укриття особового складу, зберігання бойової техніки або військового майна, військові транспортні засоби, озброєння та військова техніка, а також цивільні об'єкти (підприємства, організації, установи), які підлягають обороні (захисту й охороні) ЗС.

Для проведення дослідження оберемо об'єкт, що має елементи СЗ від ВТЗ противника.

СЗ – це формування військ або створена сукупність сил та засобів спеціальних військ (сил), які організаційно, технічно й функціонально об'єднують засоби: розвідки елементів ВТЗ противника, управління елементами СЗ, наведення, ВУ, радіоелектронного подавлення (РЕП), захисту (радіоелектронного, інженерного) та маскування (аерозольного, світлового) – у єдину систему.

Для оцінювання СЗ від ВТЗ із КЗУ, зокрема оснащеними головками самонаведення (ГСН) різних видів і типів, визначимо певні умови, припущення та обмеження, що не викривляють оперативно-тактичний зміст загального алгоритму їх застосування та не суперечать фізиці процесів, що супроводжують його реалізацію.

Умови для оцінювання комплексів ВТЗ та СЗ визначаються типовим бойовим епізодом, у якому формалізується ураження одним КЗУ одного об'єкта захисту (ОЗ).

Обстановка як сукупність умов та факторів природнього та штучного походження, за винятком фактора РЕБ із КЗУ з СН, впливають на ефективність ВТЗ та СЗ однаково позитивно або негативно.

Комплекси ВТЗ та СЗ оцінюють за ступенем досягнення кожним із них цілей власного призначення, які є антагоністичними:

ВТЗ – успішне застосування КЗУ, що забезпечує ураження ОЗ;

СЗ – нейтралізація [12] КЗУ, що гарантує неураження ОЗ.

За таких умов як показники для кількісних оцінок ефективності комплексів (систем) можна використовувати ймовірності успішного завершення процесів цільового застосування:

$$P_{CЗ} = 1 - P_{BTЗ}, \quad (1)$$

де $P_{CЗ}, P_{BTЗ}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування СЗ та ВТЗ відповідно.

Вважаємо:

дії ВТЗ противника щодо початку процесу ураження ОЗ у часі первинні до дій СЗ щодо його неураження;

протягом типового бойового епізоду виконується умова безвідмовної роботи технічних (програмно-технічних) засобів комплексів ВТЗ та СЗ;

за показники для кількісних оцінок ефективності ураження ОЗ можна прийняти ймовірність успішного завершення сукупності окремих етапів (технологічних процесів), передбачених алгоритмами, що мають імовірнісний характер;

результуюча ймовірність ураження одним КЗУ одного ОЗ залежить від завершення окремих етапів, що його реалізують.

За таких положень можна подати (1) у такому вигляді:

$$P_{CЗ} = 1 - P_{BTЗ} = 1 - P_{П} P_{Н} P_{У}, \quad (2)$$

де $P_{П}; P_{Н}; P_{У}$ – імовірності успішного завершення технологічних процесів застосування ВТЗ для ураження одним КЗУ одного ОЗ за етапами пуску, наведення та ураження відповідно.

Щодо оцінювання засобів РЕБ із системами управління КЗУ із СН за вкладом в ефективність СЗ об'єкта від ВТЗ вважаємо, що в епізоді, який розглядається, прийнятні такі положення.

По-перше, кількісні значення ймовірностей $P_{П}; P_{У}$ можна визнати стійкими (незалежними) до фактора РЕБ та штучних змін умов радіоелектронної обстановки за рахунок створення перешкод:

$P_{П}$ визначається правильністю завчасно (до початку епізоду, який розглядається) прийнятого противником рішенням щодо застосування комплексу ВТЗ за даними розвідки про ОЗ;

$P_{У}$ визначається (в епізоді, який розглядається) потужністю бойової частини КЗУ, а залежність точності її доставляння розглядається за складової $P_{Н}$.

По-друге, кількісні значення ймовірностей $P_{CЗ}, P_{BTЗ}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування СЗ та ВТЗ відповідно – можна розглядати як $P_{РЕБ}, P_{Н}$ – імовірності успішного завершення процесів цільового застосування засобу (засобів) РЕБ із системою наведення (управління) КЗУ та СН (управління) відповідно.

За таких положень можна перетворити (2):

$$P_{РЕБ} = 1 - P_{Н}. \quad (3)$$

Фізика процесу наведення [1–4] КЗУ на ОЗ для різних класів комплексів ВТЗ має певні особливості залежно від прийнятих способів реалізації принципів функціонування

встановленої на борту СН конкретного типу: оптико-електронної (телевізійної, тепловізійної, лазерної); радіолокаційної (зокрема СН); інерційної (у тому числі з корекцією за даним радіонавігаційної системи); комбінованої. Для оцінювання засобів РЕП систем управління КЗУ із СН за вкладом в ефективність СЗ об'єкта від ВТЗ різних класів необхідним та доцільним є узагальнений підхід. Вважаємо, що в епізоді, який розглядається, прийнятні такі положення про склад системи управління щодо наведення КЗУ на ОЗ у загальному алгоритмі застосування ВТЗ: інерціальна навігаційна система; система корекції за рельєфом (портретом місцевості); приймач супутникової системи навігації (ССН).

Політ КЗУ – одна з форм механічного руху, у якому необхідно знати переміщення ракети відносно Землі й навколишнього середовища – повітря. Для його дослідження потрібне введення систем координат або систем підрахунку, що дозволять визначати положення КЗУ відносно Землі та повітря у кожний проміжок часу. Більшість задач динаміки польоту може бути розв'язано з використанням земної, траєкторної, швидкісної та зв'язаної систем координат. Це прямокутні системи координат. У них позитивні за знаком кути та кутові швидкості відповідають поворотам проти годинникової стрілки, якщо дивитися з кінця тієї осі координат, відносно якої розглядається поворот.

Загальний алгоритм застосування ВТЗ щодо наведення на ціль передбачає, що після запуску КЗУ рухається (дальнє наведення – $P_{ДН}$) у район із заданими координатами, де підключається пристрій СН (ближнє наведення – $P_{БН}$) на ціль, обрану для ВУ. Керованість забезпечується програмно-технічною реалізацією відповідно до виду руху (балістичного, аеробалістичного, аеродинамічного) КЗУ, методу управління (телеуправління, програмне керування, використанням ініціальної системи). Відповідність параметрів автономного руху КЗУ заданим параметрам забезпечується періодичною корекцією вектора швидкості з урахуванням поточного місця положення (ПМП). Потрібні імпульси корекції розраховуються за помилками ПМП КЗУ до директивного (заданого). Помилки визначаються з використанням навігаційних даних зовнішніх систем, зокрема ССН. Потрібні сигнали управління для відпрацювання бортовою системою управління реалізуються бортовими алгоритмами кореляційно-екстремальної обробки, які здійснюють порівняння завчасно закладених на борт даних про земну поверхню (градієнт висот, оптичний або радіолокаційний портрет місцевості) у районах проведення корекції та поточних, отриманих від бортових засобів (радіовисотоміра з барависотоміром, локації в оптичному або радіодіапазоні).

З урахуванням викладеного та запропонованого [12–17] можемо перетворити (3) у такий спосіб:

$$P_{РЕБ} = 1 - P_{Н} = 1 - P_{ДН} P_{БН} . \quad (4)$$

Імовірність успішного наведення КЗУ для дальнього наведення можна записати в такому вигляді:

$$P_{ДН} = P_{ДН}^{ССН} P_{ДН}^x P_{ДН}^y + (1 - P_{ДН}^{ССН}) P_{ДН}^x P_{ДН}^y + (1 - P_{ДН}^x P_{ДН}^y) P_{ДН}^{ССН} , \quad (5)$$

де $P_{дн}^x P_{дн}^y$ – імовірності успішного дальнього наведення без корекції ПМП КЗУ за координатами X, Y у прийнятій для КЗУ із СН системі координат, наприклад, географічній, полярній, геоцентричній відповідно;

$P_{дн}^{CCH}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН.

Імовірність успішного ближнього наведення визначається за такою формулою:

$$P_{БН} = P_{БН}^{кор} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{кор}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{кор}, \quad (6)$$

де $P_{БН}^x P_{БН}^y$ – імовірності успішного ближнього наведення без корекції за координатами X, Y відповідно;

$P_{БН}^{кор}$ – імовірність корекції в разі ближнього наведення.

Імовірність $P_{БН}^{кор}$ знаходимо за формулою

$$P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{CCH} P_{БН}^{ГСН} + (1 - P_{БН}^{CCH}) P_{БН}^{ГСН} + (1 - P_{БН}^{ГСН}) P_{БН}^{CCH}, \quad (7)$$

де $P_{БН}^{CCH}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН;

$P_{БН}^{ГСН}$ – імовірність корекції за допомогою ГСН.

Аналіз (4)–(7) показує, що застосування КЗУ на ОЗ здійснюють із використанням СН ВТЗ, що діють в ЕМС. Успішність наведення (за нашими припущеннями) визначається імовірністю ПМП КЗУ в просторово-часових межах ділянки його руху з помилками, що не перевищують можливості їх відпрацювання СН ВТЗ.

Наявність у СН ВТЗ радіоелектронних засобів – джерел радіовипромінювання та радіоелектронних засобів – пристроїв приймання радіосигналів визначає:

необхідність дослідження проблеми боротьби з ВТЗ (із СН) на ділянці наведення КЗУ на ОЗ в аспекті операцій в ЕМС [12];

можливість дослідження залежності успішності наведення від ефективності дій в ЕМС, які потенційно можна проводити СЗ, що має в складі засоби РЕБ, які є носіями спроможностей із РЕП та електронної підтримки;

доцільність дослідження проблеми РЕБ із СН як завдання дезорганізації (системи) управління, технічною основою якої є система зв'язку як сукупність радіоліній зв'язку і передавання даних.

Відповідно до положень [12, 19], застосування комплексів ВТЗ та боротьба із СН їх КЗУ на етапі наведення – це військові операції (дії) в ЕМС, що включають передачу та прийом електромагнітної енергії в електромагнітному операційному середовищі (ЕМОС). Сукупність радіоелектронних засобів комплексів ВТЗ та СЗ, що є об'єктами таких операцій (дій), можна поділити на умовні групи – системи за призначенням: системи зв'язку, які передають та приймають електромагнітну енергію, кодовану інформацією, що підтримує широкий спектр діяльності: оперативне автоматизоване управління (С2); визначення координат, навігацію та синхронізацію (positioning, navigation, and timing – PNT, наприклад така ССН рф ГЛОНАСС); впізнавання (ідентифікація) сил і засобів за системою «свій – чужий» (identification, friend or foe – IFF); радіомовну трансляцію, яка підтримує інформаційну діяльність та розповсюдження даних;

активні та пасивні системи ідентифікації даних: радіоелектронної (радіо та радіотехнічної) розвідки; радіолокаційні, оптоелектронні, лазерні засоби для забезпечення функціонування СН ГСН та відповідних дій проти КЗУ;

системи електромагнітної атаки, що передають енергію через ЕМОС з метою виведення з ладу або завдання шкоди здатності противника до приймання сигналів (передавання даних), які безпосередньо підтримують функціонування СН ГСН та забезпечують дії СЗ проти КЗУ, або електроніки їх модулів: засоби РЕП; засоби направленої енергії (directed energy – DE), наприклад, радіочастотний (RF – radio frequency jammers) перетворювач; лазерні пристрої засліплювальної дії; засоби електромагнітної зброї.

Основними складовими дій в ЕМС комплексів ВТЗ та СЗ можна вважати:

приймання прив'язаних до часу радіосигналів навігації бортовими приймачами КЗУ від орбітального угруповання ССН із метою отримання інформації про ПМП для визначення даних корекції руху КЗУ;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, (оптоелектронними, лазерними) бортовими пристроями КЗУ з метою отримання інформації підстильної земної поверхні, визначення даних корекції руху та виведення КЗУ в зону ближнього наведення на ОЗ;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, оптоелектронними, лазерними пристроями ГСН КЗУ з метою отримання інформації про ОЗ для визначення даних функціонування СН;

випромінювання та (або) приймання сигналів радіолокаційними, оптоелектронними, лазерними (радіотехнічними) пристроями СЗ із метою отримання інформації про дії в ЕМОС для визначення даних ідентифікації КЗУ;

випромінювання сигналів, що створюють штучні електромагнітні перешкоди в діапазонах функціонування приймальних пристроїв (ССН) засобами РЕБ або електромагнітної зброї СЗ із метою подавлення (виведення з ладу) радіоелектронних засобів КЗУ для дезорганізації роботи СН ВТЗ;

випромінювання сигналів імітаційних перешкод для відхилення КЗУ від курсу з метою відведення зброї за межі контуру ОЗ на відстань, достатню для забезпечення його неураження;

випромінювання сигналів перешкод радіопідривачам КЗУ ВТЗ для ініціювання передчасного (до досягнення рубежу ураження ОЗ) спрацьовування.

Крім того, необхідно розглядати можливість використання в комплексах ВТЗ (особливо це стосується БпАК) командних радіоліній управління (КРЛУ) КЗУ. У разі організації КРЛУ КЗУ складовими дій в ЕМС комплексів ВТЗ та СЗ необхідно вважати:

випромінювання сигналів наземними (управління) та бортовими (телеметрії, координати) передавачами, а також приймання відповідних сигналів бортовими й наземними приймачами;

приймання та передавання (ретрансляція) сигналів управління, телеметрії (координатної та некоординатної інформації) приймальними й передавальними пристроями ретрансляції – ретрансляторами космічного (повітряного, наземного, морського) базування, функціонування яких забезпечується проходженням таких сигналів на відстанях, що перевищують дальність прямої видимості;

приймання сигналів радіотехнічними пристроями (радіоелектронної розвідки, РЕБ) СЗ із метою отримання інформації про дії в ЕМОС для визначення даних ідентифікації КРЛУ КЗУ та її складових (наземної, космічної, повітряної);

випромінювання сигналів, що створюють штучні електромагнітні перешкоди в діапазонах функціонування приймальних пристроїв КРЛУ засобами РЕБ або електромагнітної зброї СЗ із метою подавлення (виведення з ладу) радіоелектронних засобів ретрансляторів для дезорганізації роботи СН ВТЗ.

У разі «перемоги» СЗ у військовій операції (діях) у рамках ЕМС на етапі дальнього наведення КЗУ, за умови подавлення бортових приймальних пристроїв сигналів ССН ($P_{ДН}^{ССН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ССН), отримуємо, що ймовірність успішного управління КЗУ (дальнього наведення) можна записати в такому вигляді:

$$P_{ДН} = P_{ДН}^x P_{ДН}^y, \quad (8)$$

де $P_{ДН}^x P_{ДН}^y$ – імовірності успішного дальнього наведення без корекції ПМП КЗУ за координатами X, Y у прийнятій для КЗУ із СН системі координат.

У разі «перемоги» СЗ у військовій операції (діях) у рамках ЕМС на етапі ближнього наведення КЗУ, за умови подавлення пристроїв ГСН ($P_{БН}^{ГСН} = 0$), або бортових приймальних пристроїв сигналів ССН ($P_{БН}^{ССН} = 0$), або в разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$ і $P_{ДН}^{ССН} = 0$, отримуємо, що (7) для визначення $P_{БН}^{кор}$ – імовірності корекції за ближнього наведення – можна скористатися такими виразами:

$$а) P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{ССН} \text{ та } P_{БН} = P_{БН}^{ССН} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{ССН}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{ССН} \quad (9)$$

– імовірність корекції ПМП із використанням ССН у разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$;

$$б) P_{БН}^{кор} = P_{БН}^{ГСН}, P_{БН} = P_{БН}^{ГСН} P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^{ГСН}) P_{БН}^x P_{БН}^y + (1 - P_{БН}^x P_{БН}^y) P_{БН}^{ГСН} \quad (10)$$

– імовірність корекції ПМП із використанням ГСН у разі $P_{БН}^{ССН} = 0$;

$$в) P_{БН}^{кор} = 0, \text{ а } P_{БН} = P_{БН}^x P_{БН}^y \quad (11)$$

у разі $P_{БН}^{ГСН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ГСН;

у разі $P_{БН}^{ССН} = 0$ – імовірність корекції ПМП з використанням ССН.

За умовами, прийнятими для епізоду, який розглядається, інерціальна система, що забезпечує $P_{ДН}^x; P_{ДН}^y; P_{БН}^x; P_{БН}^y$, не потребує організації радіоліній зв'язку, а передавання даних здійснюється у внутрішньому контурі управління КЗУ. Але значна (як для ВТЗ) похибка визначення ПМП лише за інерціальною системою координат (зростає за часом знаходження КЗУ в польоті від точки пуску до ОЗ) потребує його корегування з використанням навігаційних систем. ССН на сучасному етапі розвитку військової техніки є найбільш розповсюдженим інструментом корегування далекобійної ВТЗ.

Особливості побудови систем TERCOM, DSMAC, а також ГСН КЗУ не потребують організації радіоліній зв'язку, тому для оцінювання їх перешкодозахищеності та, відповідно, можливості їх радіо або оптико-електронного подавлення необхідно використовувати методи боротьби, зокрема РЕБ, із радіолокаційними та оптико-електронними (інфрачервоними, лазерними) системами.

Отже, слід вважати, що потребує оцінювання перешкодозахищеність радіоліній (зв'язку) для передавання даних у системі навігації КЗУ, у нашому випадку ССН, а також для обміну даними з використанням КРЛУ (за їх побудови).

Питанням оцінювання захищеності радіоліній зв'язку присвячена значна кількість робіт, зокрема їх ефективному використанню в різних галузях військової справи. У нашому випадку відомі результати розглянемо в аспекті зворотної задачі – оцінювання захищеності радіоліній ССН (КРЛУ) щодо їх ефективного подавлення засобами РЕБ.

З використанням [19] будемо вважати, що

$$P_{ДН(БН)}^{ССН} = 1 - \left[(1 - P_{ЕЗ}^{ССН})(1 - P_{ЧЗ}^{ССН})(1 - P_{РЗ}^{ССН})P_{РЕБ}^{ССН} \right], \quad (12)$$

де $P_{ДН(БН)}^{ССН}$ – імовірність корекції ПМП із використанням ССН під час ведення РЕБ в операції в ЕМС;

$P_{ЕЗ}^{ССН}$ – показник енергетичної перешкодозахищеності ССН;

$P_{ЧЗ}^{ССН}$ – показник часової перешкодозахищеності ССН;

$P_{РЗ}^{ССН}$ – показник розвідувальної захищеності ССН;

$P_{РЕБ}^{ССН}$ – імовірність постановки (дієвого впливу) перешкоди засобами РЕБ на радіолінію: «передавач» (каналу ССН), розташований на борту носія (космічного апарата) зі складу ССН, – «приймач», розміщений на борту КЗУ зі складу комплексу ВТЗ.

Виконання (8), (11), (12) забезпечує виконання умови (вимоги щодо РЕБ) $P_{ДН(БН)}^{ССН} = 0$. Відповідно, можна перетворити (12) для визначення вимог до РЕБ за показниками, що дійсно дозволяють оцінювати бойову ефективність комплексів РЕБ із ВТЗ в операціях в ЕМС за ступенем дезорганізації управління КЗУ щодо зриву (порушення або ускладнення) корекції ПМП у процесі наведення на ОЗ.

Для оцінювання РЕБ в операції в ЕМС із протидії ВТЗ за ймовірнісним показником дезорганізації СН (щодо супутникової навігації) КЗУ введемо позначення $P_{РЕБ\delta}^{ССН}$:

$$P_{РЕБ\delta}^{ССН} = (1 - P_{ЕЗ}^{ССН})(1 - P_{ЧЗ}^{ССН})(1 - P_{РЗ}^{ССН})P_{РЕБf}^{ССНнрм} P_{РЕБа}^{ССНнрм} P_{РЕБi}^{ССНнрм}, \quad (13)$$

де $P_{РЕБ\delta}^{ССН}$ – показник дезорганізації наведення КЗУ зі ССН (КРЛУ) засобами РЕБ;

$P_{РЕБf}^{ССНнрм}$ – імовірність збіжності перешкоди засобу РЕП зі смугою пропускання «приймача», розташованого на борту КЗУ;

$P_{РЕБа}^{ССНнрм}$ – імовірність наведення антени засобу РЕП на антену «приймача», розташованого на борту КЗУ, із точністю, необхідною для подавлення;

$P_{РЕБi}^{ССНнрм}$ – імовірність збіжності часу дії перешкоди засобу РЕП зі часом роботи «приймача», розташованого на борту КЗУ.

Аналіз умови (13) дозволяє визначити складність завдання радіоелектронної розвідки та РЕБ щодо повного РЕП радіолінії ССН, що розглядається.

Для прикладу кількісної оцінки прийемо умови оптимістичного для СЗ прогнозування:

низькі показники (імовірності) захищеності засобів радіолінії, наприклад $P_{ЕЗ}^{ССН} = P_{ЧЗ}^{ССН} = P_{РЗ}^{ССН} = 0,1$;

високі показники (імовірності) подавлення засобами РЕБ, наприклад $P_{РЕБf}^{ССНпрм} = P_{РЕБа}^{ССНпрм} = P_{РЕБi}^{ССНпрм} = 0,9$.

За такими вихідними даними отримуємо, що $P_{РЕБ\delta}^{ССН} = 0,9^6 \approx 0,43$.

У разі браку вихідних даних для оцінювання ймовірності події в окремих випадках рекомендують визначати для їх кількісних оцінок величину 0,5. У нашому випадку для незалежних подій отримуємо, що кількісне значення $P_{РЕБ\delta}^{ССН} = 0,5^6 \approx 0,004$ на два порядки менше, ніж у попередньому прикладі.

Значення наведених імовірностей залежать від характеристик засобів (комплексів), що визначаються видом, класом, підкласом і типом як ВТЗ та СН КЗУ, так і засобів РЕБ, способами їх застосування, умовами загальної та радіоелектронної (електромагнітної) обстановки.

Отриманий показник (13) є чутливими до показників якості засобів РЕБ та дозволяє прогнозовано оцінювати ефективність РЕБ в операції в ЕМС із захисту об'єкта від ВТЗ.

Необхідно зазначити, що формули (1)–(13) відображають підхід до визначення ефективності. Отримання кількісних оцінок є окремою складною науковою проблемою, що потребує досліджень.

Висновки

1. Вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо обґрунтування змісту, розроблення складових, показників та критеріїв оцінювання ефективності РЕБ як складової операції в ЕМС за ймовірнісним показником дезорганізації системи наведення ВТЗ щодо супутникової навігації КЗУ.

Запропоноване систематизує знання в предметній галузі та створює передумови для практичного застосування результатів досліджень для розв'язання проблем сучасної збройної боротьби.

2. Розроблені положення оцінювання ефективності РЕБ щодо протидії ВТЗ можуть бути враховані уповноваженими посадовими особами для прийняття своєчасних системних рішень на використання засобів РЕБ у СЗ об'єктів від ВТЗ.

3. Запропонований підхід передбачає проведення подальших досліджень щодо уточнення математичних розрахунків відповідно до особливостей об'єкта, його СЗ від ВТЗ та зразків військової техніки РЕБ, що входять до її складу.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. George M. Siouris. Missile Guidance and Control Systems. New York : Springer-Verlag, 2004. 680 p.
2. Yanushevsky Rafael. Modern missile guidance. London, New York : CRC Press, 2008. 242 p.

3. Мануйленко В. Г., Удин Е. Г. Теоретические основы крылатых управляемых ракет. Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2020. 201 с.
4. Основы теории построения корабельных комплексов крылатых ракет. Ч. 2. Устройство и функционирование бортовой аппаратуры системы управления комплексов крылатых ракет : учеб. пособ. / С. В. Васильев [и др.]. Санкт-Петербург : Балт. гос. техн. ун-т, 2020. 99 с.
5. Воєнне мистецтво в локальних війнах і збройних конфліктах 50–80-х років ХХ століття : навч. посіб. / М. І. Рибак, А. М. Явтушенко, М. А. Шпанко та ін.; під ред. В. Б. Толубко. Київ : НАОУ, 2004. 184 с.
6. Рибак М. І., Бадах Ю. Г. Воєнне мистецтво в локальних війнах після другої світової війни : навч. посіб. Київ : НАОУ, 2000. 136 с.
7. Стрижевський В. В., Лісневський В. В. Високоточна зброя та захист від неї у загальновійськовому бою : навч. посіб. Київ : АЗСУ, 1998. 84 с.
8. Високоточна зброя та основи захисту від неї : навч. посіб. / В. В. Стрижевський, Д. В. Зайцев, В. П. Бабенко та ін. Київ : НАОУ, 2004. 76 с.
9. Борисов Е. Г., Евдокимов В. И. Высокоточное оружие и борьба с ним : учеб. пособ. Санкт-Петербург : Изд-во «Лань», 2013. 496 с. : ил.
10. Теоретичні основи управління угрупованням військ (сил) у сучасних умовах збройної боротьби : монографія / О. М. Загорка, А. А. Корецький, А. К. Павліковський, І. О. Загорка; за заг. ред. І. С. Руснака. Київ : НУОУ, 2020. 248 с.
11. Тимошенко Р. И., Загорка А. Н. Виды неопределенности информации, анализируемой органом военного управления при разработке замысла операции и определении состава группировки войск // Ориентир: военно-теоретический журнал Нац. ун-та обороны Республики Казахстан. 2015. № 1 (65). С. 18–21.
12. Joint Publication 3-85 (JP 3-85). Joint Electromagnetic Spectrum Operations. USA. 2020. 148 p.
13. Іщенко Д. А., Кирилюк В. А., Іщенко С. Д., Марищук Л. М. Парадигма протидії розвідувально-ударним безпілотним авіаційним комплексам // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2020. Вип. 18 С. 73–90. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2020.18.08>
14. Кузнецов В. А. Подход и методики оценки вклада космических систем в эффективность боевых действий // Наука и образование : эл. науч.-техн. изд. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> (дата обращения: 20.11.2022).
15. Старчак С. Л., Селиванов Р. А., Вафин М. А., Топорков А. Г. Уточнение модели обобщенного потребителя в методике оценки вклада космических систем в эффективность боевых действий // Инженерный вестник : эл. науч.-техн. журн. URL: <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> (дата обращения: 20.11.2022).
16. Цветков А. Г. Принципы количественной оценки эффективности радиоэлектронных средств. Москва, 1971. 200 с.
17. Іщенко Д. А., Федорчук Д. Л. Модель узагальненого споживача інформації безпілотних авіаційних комплексів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2016. Вип. 13. С. 136–146.
18. Заславець В. П., Долина М. П., Чечуй О. В. Особливості розрахунку завадозахищеності радіозв'язку в умовах радіоподавлення (радіоелектронного конфлікту) // Озброєння та військова техніка. 2020. № 1 (61). С. 7–12.

19. Field Manual 3-12 (FM 3-12). Cyberspace Operations and Electromagnetic Warfare. URL: <https://irp.fas.org/doddir/army/fm3-12.pdf> (last accessed: 10.12.2022).

Стаття надійшла до редакції 20.12.2022.

REFERENCES

1. George, M. (2004). *Siouris. Missile Guidance and Control Systems*. New York: Springer-Verlag.
2. Yanushevsky Rafael. (2008). *Modern missile guidance*. London, New York: CRC Press.
3. Manuilenko, V. G., & Udin, E. G. (2020). *Teoreticheskie osnovy krylatykh upravliaemykh raket [Theoretical foundations of cruise guided missiles]*. Saint Petersburg [in Russian].
4. Vasil'ev, S. V. et al. (2020). *Osnovy teorii postroeniia korabel'nykh kompleksov krylatykh raket. Ch. 2. Ustroistvo i funktsionirovanie bortovoi apparatury sistemy upravleniia kompleksov krylatykh raket [Fundamentals of the theory of construction of ship complexes of cruise missiles. Part 2. The device and functioning of the onboard equipment of the control system of cruise missile systems]*. Saint Petersburg [in Russian].
5. Rybak, M. I., Yavtushenko, A. M., & Shpanko, M. A. et al. (2004). *Voienne mystetstvo v lokalnykh viynakh i zbroynykh konfliktakh 50–80-kh rokiv XX stolittia [Military art in local wars and armed conflicts of the 50s-80s of the 20th century]*. V. B. Tolubko (Ed.). Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
6. Rybak, M. I., & Badakh, Yu. H. (2000). *Voienne mystetstvo v lokalnykh viynakh pislia druhoi svitovoi viyny [Military Art in Local Wars after the Second World War]*. Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
7. Stryzhevskyĭ, V. V., & Lisnevskyĭ, V. V. (1998). *Vysokotochna zbroia ta zakhyst vid nei u zahalnoviyskovomu boiu [High-precision weapons and protection against them in combined arms combat]*. Kyiv [in Ukrainian].
8. Stryzhevskyĭ, V. V., Zaĭtsev, D. V., & Babenko, V. P. et al. (2004). *Vysokotochna zbroia ta osnovy zakhystu vid nei [High-precision weapons and the basics of defense against them]*. Kyiv: NAD of Ukraine [in Ukrainian].
9. Borisov, E. G., & Evdokimov, V. I. (2013). *Vysokotochnoe oruzhie i bor'ba s nim [High-precision weapons and the fight against them]*. Saint Petersburg [in Russian].
10. Zahorka, O. M., Koretskyi, A. A., Pavlikovskyi, A. K., & Zahorka, I. O. (2020). *Teoretychni osnovy upravlinnia uhrupovanniam viisk (syl) u suchasnykh umovakh zbroinoi borotby [Theoretical foundations of managing a group of troops (forces) in modern conditions of armed struggle]*. I. S. Rusnak (Ed.). Kyiv: NUD of Ukraine [in Ukrainian].
11. Timoshenko, R. I., & Zagorka, A. N. (2015). *Vidy neopredelennosti informatsii, analiziruemoi organom voennogo upravleniia pri razrabotke zamysla operatsii i opredelenii sostava gruppirovki voisk [Types of uncertainty of the information analyzed by the military management body when developing the plan of the operation and determining the composition of the troop group]*. *Orientir: voenno-teoreticheskii zhurnal Nats. un-ta oborony Respubliki Kazakhstan [Orientation: military-theoretical journal of the National University of Defense of the Republic of Kazakhstan]*, 1 (65), 18–21 [in Russian].
12. Joint Publication 3-85 (JP 3-85). Joint Electromagnetic Spectrum Operations. USA. (2020).

13. Ishchenko, D. A., Kyryliuk, V. A., Ishchenko, S. D., & Maryshchuk, L. M. (2020). Paradyhma protydii rozvidualno-udarnym bezpilotnym aviatsiinym kompleksam [Paradigm of Resistance to Intelligence and Impact Unlimited Aircraft Complexes]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 18, 73–90. <https://doi.org/10.46972/2076-1546.2020.18.08> [in Ukrainian].
14. Kuznetsov, V. A. (n.d.). Podkhod i metodiki otsenki vklada kosmicheskikh sistem v effektivnost' boevykh deistviï [Approach and methods for evaluating the contribution of space systems to the effectiveness of combat operations]. *Nauka i obrazovanie : el. nauch.-tekhn. izd. [Science and education: el. scientific and technical ed.]*. Retrieved from <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> [in Russian].
15. Starchak, S. L., Selivanov, R. A., Vafin, M. A., & Toporkov, A. G. (n.d.). Utochnenie modeli obobshchennogo potrebitelia v metodike otsenki vklada kosmicheskikh sistem v effektivnost' boevykh deistvii [Refinement of the model of a generalized consumer in the methodology for assessing the contribution of space systems to the effectiveness of combat operations]. *Inzhenernyi vestnik : el. nauch.-tekhn. zhurn. [Engineering Bulletin: el. scientific and technical journal]*. Retrieved from <http://technomag.edu.ru/doc/245509.html> [in Russian].
16. Tsvetkov, A. G. (1971). *Printsipy kolichestvennoï otsenki effektivnosti radioelektronnykh sredstv [Principles of quantitative assessment of the effectiveness of radio-electronic means]*. Moscow [in Russian].
17. Ishchenko, D. A., & Fedorchuk, D. L. (2016). Model uzahalnenoho spozhyvacha informatsii bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv [Model of the generalized information consumer of unmanned aircraft systems]. *Problemy stvorennia, vyprobuvannia, zastosuvannia ta ekspluatatsii skladnykh informatsiinykh system : zb. nauk. prats [Problems of construction, testing, application and operation of complex information systems: Scientific journal of Korolov Zhytomyr Military Institute]*, 13, 136–146 [in Ukrainian].
18. Zaslavets, V. P., Dolya, M. P., & Chechui, O. V. (2020). Osoblyvosti rozrakhunku zavadozakhyschenosti radiozv'iazku v umovakh radiopodavleniia (radioelektronnoho konfliktu) [Peculiarities of radio communication immunity calculation in conditions of radio suppression (radio-electronic conflict)]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika [Armaments and military equipment]*, 1 (61), 7–12 [in Ukrainian].
19. Field Manual 3-12 (FM 3-12). *Cyberspace Operations and Electromagnetic Warfare*. (n.d.). Retrieved from <https://irp.fas.org/doddir/army/fm3-12.pdf>

D. A. Ischenko, D. L. Fedorchuk, S. D. Ischenko, L. M. Maryshchuk

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING RADIO ELECTRONIC WARFARE MEASURES FOR COUNTERING HIGH PRECISION WEAPONS AS A COMPONENT OPERATION IN THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

The presence of a significant number of strike systems of high-precision weapons at the enemy causes an urgent need to create effective systems for the protection of infrastructural and military facilities. One of the elements of such systems can be the forces and means of radio-electronic warfare, which will allow to carry out protective actions in the electromagnetic spectrum.

But in the current conditions of resource and time limitations, the involvement of electronic warfare means in such protection systems is a certain scientific and practical problem that needs to be solved, in particular, through the determination of the predicted effectiveness of their functioning in the system of object protection.

The article proposes an approach according to which the actions of high-precision weapons in the process of aiming them at objects and the corresponding measures of defense systems used against them are considered antagonistic, since they are performed both with the use of transmitting and receiving radio-electronic means of high-precision weapons, and protection systems. The use of radio-electronic warfare in operations in the electromagnetic spectrum to counter high-precision weapons is being investigated as a component of operations in the electromagnetic spectrum. To conduct the research, a tactical combat episode was considered, in which the accepted assumptions and limitations do not distort the content and physical essence of the processes of radio-electronic warfare with high-precision weapons.

It is proposed to evaluate radio-electronic warfare based on the probability indicator of disorganization of the high-precision weapon guidance system. It is shown that, in accordance with the accepted conditions, in the numerical definition, the indicator is limited by the probability of successful guidance, which is provided by an inertial system that does not require the organization of radio communication lines, and data transmission is carried out in the internal control loop.

The proposed indicator can characterize the use of electronic warfare forces and means in defense systems against high-precision weapons, since it depends on:

from the technical characteristics of samples of high-precision weapons (indirectly determines the immunity of the radio lines of their guidance systems);

from the capabilities of the forces and means of radio-electronic warfare with high-precision weapons.

Keywords: *high-precision weapons; operation in the electromagnetic spectrum; electronic warfare; guidance systems.*

С. В. Ковбасюк, Р. М. Осадчук, М. П. Романчук, Л. М. Наумчак

АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ НАБОРУ АПРІОРНИХ ДАНИХ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ АЕРОЗНІМКІВ

Аналіз застосування безпілотних авіаційних комплексів у зоні проведення бойових дій вказує на постійне підвищення вимог до розвідувальних даних. Одним із шляхів підвищення ефективності застосування цього виду озброєння є використання методів штучного інтелекту. Базисом для побудови надійної моделі нейронної мережі є велика кількість різноманітних даних, що допомагає точніше узагальнити інформацію про поставлене завдання. У статті розглянуто підхід до підвищення точності класифікації зображень об'єктів згортковими нейронними мережами на базі аугментації даних, який відрізняється від відомих адаптацією до факторів знімання та специфіки об'єктів аеророзвідки.

Важливим та найбільш трудомістким етапом побудови точної моделі машинного навчання є пошук та анотація даних, які будуть використовуватися для навчання та тестування точності роботи нейронної мережі. Від кількості зібраних даних залежить стабільність роботи мережі в реальних умовах. На сьогодні добре описано та проаналізовано такі методи аугментації зображень об'єктів, як геометричні перетворення, колірні корекції та просторова фільтрація зображення. Не розглянутими досі залишаються можливості оптимальних комбінацій методів аугментації даних для досягнення потрібного узагальнення слабопомітних інваріантних ознак об'єктів. З урахуванням проведених досліджень було запропоновано алгоритм формування набору апріорних даних нейронної мережі для розпізнавання об'єктів на цифрових аерознімках, що дозволить значно зменшити складність процесу збирання потрібних даних і замінити методами збільшення, які набагато простіші, витрачають менше обчислювального ресурсу та здатні підвищити точність роботи згорткових нейронних мереж. Крім того, у статті проведено моделювання використання запропонованого підходу.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат; згорткова нейронна мережа; аугментація даних; автоматизована обробка цифрових аерознімків.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ефективне проведення сучасної військової операції (ведення бойових дій) не можливе без повної та своєчасної розвідувальної інформації, зокрема про стан та положення військ (сил) противника. Досвід ведення широкомасштабної війни росії проти України свідчить про зростання значущості застосування безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) для добування розвідувальних даних [1].

Для підвищення ймовірності правильного розпізнавання об'єктів на аерознімках добре себе зарекомендували методи штучного інтелекту, а саме нейронні мережі (нейромережі), які дозволяють проводити обробку великого обсягу даних для

© С. В. Ковбасюк, Р. М. Осадчук, М. П. Романчук, Л. М. Наумчак, 2022

обґрунтування прийняття рішень у режимі реального часу та не витрачають на це значного обчислювального ресурсу. Особливістю такого підходу є застосування алгоритму навчання нейромережі з використанням апріорно розпізнаних фрагментів зображень об'єктів замість програмування процесу їх обробки. Такий підхід використовують, коли складно формалізувати набір ознак розпізнавання і створити алгоритм обробки зображень.

У разі малої кількості зображень об'єктів для такого навчання, незбалансованості їх класів, невідповідності апріорних зображень умовам знімання знижується точність класифікації зображень об'єктів [2–7]. Отже, актуальним є розроблення підходу щодо формування розширеного набору апріорних даних нейромережі для обробки цифрових аерознімків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Алгоритми глибокого навчання продемонстрували можливість вирішення різноманітних складних інженерних та наукових завдань. Успішне застосування запропонованих алгоритмів неможливе без використання всебічних наборів даних для навчання та тестування [8–10]. Зокрема, алгоритми комп'ютерного зору для розв'язання проблем класифікації, виявлення об'єктів, семантичної сегментації та сегментації екземплярів вимагають великої кількості зображень для забезпечення інваріантності тренуваних моделей [11–12]. Відомі два шляхи покращення характеристик наборів даних, які використовують для навчальних цілей. Перший із них передбачає фізичний збір зразків набору даних, отриманих у різних умовах, для забезпечення їх різноманітності. На теперішній час є безліч великих наборів даних, які були сформовані для вирішення проблем комп'ютерного зору та зазвичай використовуються як еталонні [13–15]. Їх специфікою є те, що вони загальні та придатні для порівняння результатів роботи розроблених алгоритмів. Однак наявні універсальні набори розмічених зображень об'єктів можуть бути непридатними для вирішення конкретних інженерних завдань. Одне з можливих застосувань таких наборів полягає у використанні їх як основи для попередньої підготовки нейромереж (передачі навчання) [16], що дозволяє їх точно налаштувати та адаптувати для конкретної мети. Проте у деяких випадках таке налаштування не забезпечує шуканого результату через те, що деякі події рідко трапляються, і в результаті можна отримати лише декілька зразків зображень [17, 18]. Зрештою це призводить до перенавчання великих моделей. Отже, другий підхід, що ґрунтується на штучних маніпуляціях із початковим набором даних, має перспективу застосування.

Формулювання завдання дослідження. Метою статті є розроблення алгоритму формування необхідного набору апріорних даних цифрових аерознімків нейромережі з наявних геометричних перетворень зображень та їх колірної корекції, збільшення наборів даних (аугментації даних), що адаптований до факторів знімання та специфіки об'єктів, які розпізнаються.

Виклад основного матеріалу. Завдяки формуванню великих наборів зображень, підвищенню обчислювальних потужностей та розробкам на основі згорткових нейромереж (англ. CNN) вже отримані значні результати у вирішенні завдань комп'ютерного зору [19, 20]. Проте більшість великих наборів даних для спеціальних

завдань не є загальнодоступними, а тренування CNN на малих базах призводить до перенавчання, що не забезпечує узагальнення нейромережею невидимих інваріантних ознак.

Для забезпечення інваріантності моделі нейромережі потрібна навчальна вибірка, яка б враховувала зміну характерних ознак класів об'єктів залежно від умов виконання аерознімання із застосуванням безпілотного літального апарата (БпЛА) (освітленість, час доби, пора року, погодні умови тощо). Крім того, для запобігання перенавчання нейромережі на навчальній вибірці недостатнього обсягу необхідно збільшити кількість апіорних даних. Логічним рішенням є використання методів збільшення набору даних [20], що є схемою регуляризації та штучно розширює наявний набір зображень об'єктів, щоб збільшити кількість інваріантних прикладів. Аугментація даних – це сукупність невитратних обчислювальних методів [2, 4], що складається з геометричних перетворень та колірної корекції зображення [21–23]. Досягнення потрібного узагальнення слабопомітних інваріантних ознак об'єктів забезпечується збільшенням навчальної вибірки шляхом підбору оптимальних комбінацій методів аугментації даних (геометричних перетворень зображень та їх колірної корекції).

Формування набору апіорних даних зображень об'єктів розпочинається з планування контрольованої класифікації (формується конкретне завдання комп'ютерної обробки знімків, визначається список класів об'єктів, що підлягають розпізнаванню).

Згідно з теорією розпізнавання образів для класифікації об'єктів простір ознак доцільно розділити на замкнуті області, кожна з яких містить значення ознак, характерних тільки для одного з класів об'єктів, і відносити піксель знімка до того класу, в область якого потрапив вектор його ознак. Функція призначена для визначення номера й області U_i , до якої належать ознаки даного зображення або його фрагмента. Правило прийняття рішення про належність даного зображення або його фрагмента до одного з класів ґрунтується на основі розбивання простору ознак U на $M_{кл}$ класів U_i , $i = 1, \dots, M_{кл}$, що не перетинаються:

$$\bigcup_{i=1}^{M_{кл}} U_i = U, \quad U_i \cap U_j = \emptyset \text{ при } i \neq j. \quad (1)$$

Для військового дешифрування аерознімків найбільш пристосованою і випробуваною є система класифікації, запропонована Ю. К. Ребріним та І. М. Карповичем [24, 25]. У її основу покладено ієрархічну структуру, яка передбачає поетапний перехід від загального до часткового на основі визначення характерних особливостей об'єкта. Ознаки, які лежать в основі такого поділу, полегшують операцію класифікації об'єктів, оскільки є визначниками для розпізнавання зображень.

Визначення належності зображення об'єкта на аерознімку до певного виду, класу, підкласу, типу можливе завдяки різниці в оптичних щільностях та за яскравістю зображень, розмічених поруч об'єктів або об'єкта й фону. Потрібно оцінити інформативність ознак, що використовуються для забезпечення необхідної ймовірності розпізнавання за мінімального набору ознак та здійснити вибір їх оптимального піднабору.

Отже, під розпізнавальними ознаками будемо розуміти одержані за допомогою технічних засобів розвідки характеристики об'єктів, за якими їх можна розпізнати [25]. До основних прямих розпізнавальних ознак простих об'єктів належать форма, розміри, колір, деталі.

У результаті наповнення класів зображеннями об'єктів потрібно досягти збалансованості (дотримуватися пропорційності зображень, однакових властивостей, відповідності їх кількості). Навчальні вибірки мають бути репрезентативними, однорідними, максимально подібними за розподілом значень яскравості зображень до нормального (гаусівського) закону.

Відповідно до вимог, викладених вище, потрібно емпірично визначити модель нейромережі [9] та набір підготовлених ваг згідно із завданням, здійснивши підбір гіперпараметрів та налаштування мережі. Результатом має бути відібрана модель нейромережі з налаштованими гіперпараметрами, яка дозволяє отримати найбільш ефективний результат, та визначена кількість епох навчання для досягнення глобального мінімуму в ході вирішення завдання оптимізації моделі. На прикладі графіка кривої втрат у ході навчання нейромережі CNN VGG-16 (рис. 1) видно, що різниця втрат на навчальній та валідаційній вибірках починає зменшуватися близько 22-ї епохи. Відповідно, для аналізу ефективності моделі за заданих гіперпараметрів у подальшому достатньо проведення навчання протягом 23 епох для досягнення максимальної ефективності нейромережі.

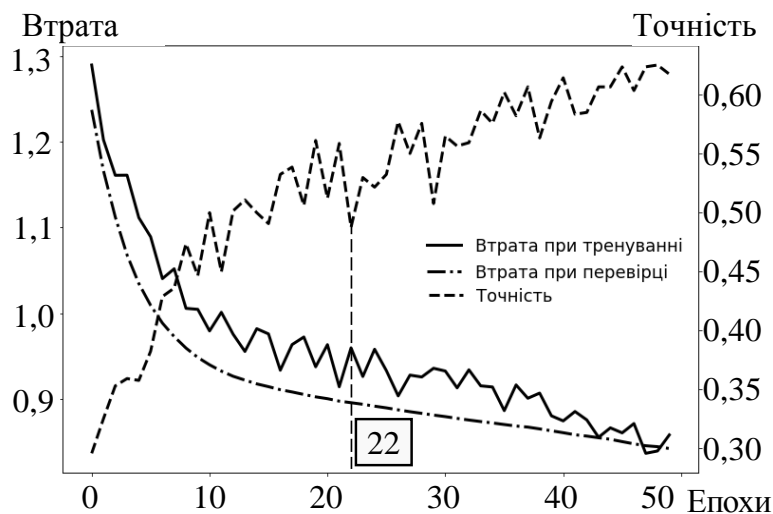


Рис. 1. Графік залежності втрат у ході навчання нейромережі

Покращити попередньо отримані результати дозволяє збільшення кількості навчальних даних зображень об'єктів з використанням інформації лише в навчальних даних. Основні методи належать до категорії деформації зображень об'єктів, що є підходом, спрямованим на безпосереднє збільшення вхідної інформації до моделі об'єкта в просторі ознак. Сказане вище можна подати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \varphi: S &\rightarrow T, \\ S' &= S \cup T, \end{aligned} \quad (2)$$

де S – оригінальний набір зображень об'єктів;

T – відповідні перетворення, визначені функцією φ ;

S' – збільшений набір зображень об'єктів.

Усі методи базуються на комбінації афінних перетворень вхідного зображення для маніпулювання навчальними даними [20]. Для кожного вхідного зображення створюється «дубльований» образ – це зміщення, збільшення / зменшення, повертання, перевертання, відображення, перекладання, обрізання, спотворення або затінення, додавання гаусівського шуму та зміна кольорової палітри. Зображення та дублікат надходять до нейромережі.

Геометричні перетворення зображення змінюють геометрію зображення об'єкта шляхом зміщення окремих значень координат розташування його пікселів. Базова форма об'єкта на зображенні зберігається, але змінюється до якоїсь нової позиції та орієнтації. Так схема обертання повертає зображення навколо його центра шляхом відображення кожного його пікселя (x, y) до (x', y') з таким перетворенням:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Дослідницькі експерименти [4] показали, що зміна θ від -30° до $+30^\circ$ встановлює достатньо великі обертання, щоб генерувати нові зразки. Обрізка є ще однією схемою збільшення набору зображень, популяризованою Кріжевським [20].

Колірна корекція трансформує канали RGB, змінюючи значення кожного пікселя (r, g, b) до нових значень (r', g', b') відповідно до заздалегідь визначеної моделі, або проводиться корекція кольору за допомогою фільтра HSB [20]. Це регулює освітлення та колір і залишає геометрію зображення незмінною.

Просторова фільтрація зображення для пошуку розривності, яка є однією з базових властивостей яскравості сигналу, дозволяє підвищити результати навчання CNN [6, 7], що визначаються текстурою, формою об'єкта.

Зміну зображень об'єктів слід виконувати тільки з навчальною вибіркою. Для малих наборів даних варіант збільшення в автономному режимі є кращим порівняно з онлайнним збільшенням, оскільки розмір набору зображень зростає відповідно до здійснених перетворень. Потрібно порівняти отримані результати, програмно збільшивши дані та навчання моделі нейромережі. У результаті аналізу відібрати методи (або їх можливі комбінації) аугментації даних та діапазони зміни їх параметрів, які зумовлюють підвищення ефективності моделі. При цьому слід враховувати розмір утвореного набору зображень та час, витрачений на збільшення.

На основі викладеного матеріалу алгоритм формування набору апріорних даних нейромережі для автоматизованого розпізнавання об'єктів на аерознімках можна подати в такому вигляді:

1. Складання списку класів відповідно до завдання та заданих аерознімків. Правило прийняття рішення про визначення належності того чи іншого зображення об'єктів або його фрагмента одному із класів будується на основі розділення простору ознак U на $M_{кл}$ класів U_i , $i = 1, \dots, M_{кл}$.

2. Формування набору класів, що передбачає створення навчальних збалансованих вибірок для кожного класу об'єктів за їх зображеннями: $\varphi: S \rightarrow T$, $S' = S \cup T$, де S – оригінальний набір зображень об'єктів; T – відповідні перетворення, визначені функцією φ ; S' – збільшений набір зображень об'єктів.

3. Визначення архітектури моделі відповідно до поставленого завдання. Вибирається та архітектура моделі нейромережі, яка відповідає умовам конкретного завдання (1).

4. Налаштування моделі шляхом підбору значень гіперпараметрів $\text{minimize} \sum_{i=1}^m l(h_{\theta}(x^{(i)}), y^{(i)})$, де $x^{(i)} \in X_L$ – множина вхідних зображень об'єктів; $y^{(i)} \in Y_L$ – відповідна множина виходів; $h_{\theta}(x^{(i)})$ – функція гіпотези, яка оптимізується за параметрами моделі θ ; $l(h_{\theta}(x^{(i)}), y^{(i)})$ – функція втрат.

5. Навчання моделі нейромережі, що передбачає визначення достатньої кількості епох m для цього.

6. Аналіз результатів навчання моделі нейромережі за кожним окремим методом аугментації даних та визначення оптимальних діапазонів зміни параметрів відібраних методів збільшення даних.

7. Аналіз результатів застосування комбінацій методів збільшення набору зображень моделі CNN. Якщо отримано шуканий результат, то відбувається перехід до кроку 8, в іншому випадку – перехід до кроку 5.

8. Навчання моделі нейромережі за вибраними комбінаціями методів аугментації даних у межах визначених оптимальних параметрів до повного збігання моделі.

Застосування розробленої методики формування набору оптимальних апріорних даних нейромережі дозволяє підвищити достовірність розпізнавання зображень об'єктів шляхом регуляризації її за рахунок інваріантності до умов проведення аерознімання.

Для аналізу впливу різних методів збільшення набору даних на класифікацію об'єктів використовувалася CNN VGG-16 [4] із вагами, підготовленими на ImageNet, та такими гіперпараметрами: функція активації – *ReLU*; схема ініціалізації ваг – *Xavier*; швидкість навчання – 0,01; алгоритм оптимізації – стохастичний градієнтний спуск; функція оновлення – *Adam*; регуляризація – *L2* градієнтна нормалізація; мінінабори – 16; епохи навчання – 23.

Для навчання нейромережі використано набір даних, сформований для трьох збалансованих класів зразків озброєння та військової техніки, що містить 1658 зображень об'єктів розміром 70 x 70 пікселів. Для оцінювання результатів навчання моделі використовувалася метрика якості класифікації об'єктів точність *Accuracy*:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{N}, \quad (4)$$

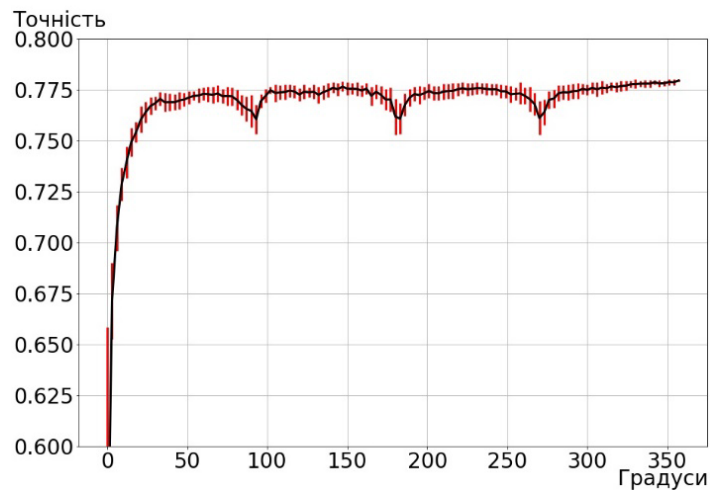
де *Accuracy* – точність класифікації об'єкта;

TP – істино-позитивне рішення;

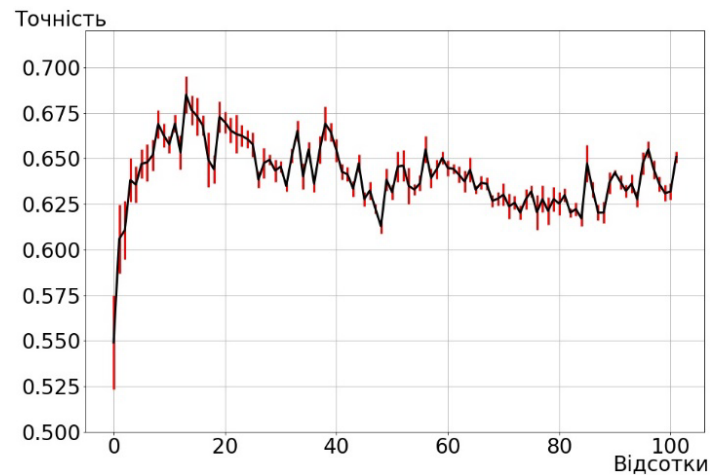
TN – істино-негативне рішення;

N – загальна кількість об'єктів.

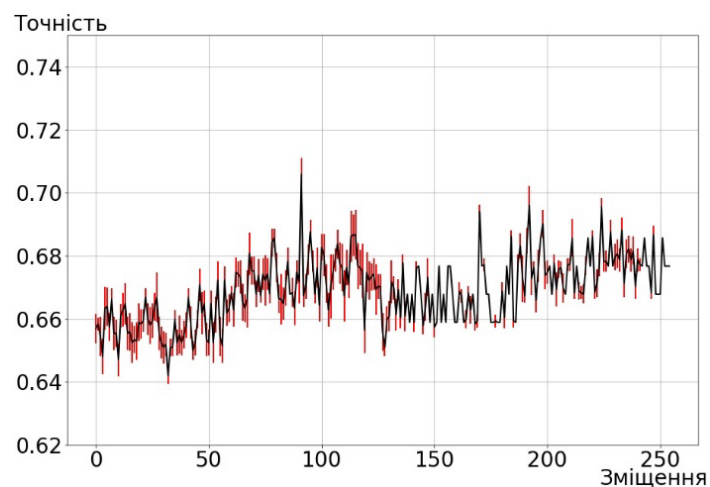
Результати застосування методів аугментації даних для зображень об'єктів, наведені в табл. 1 та зображені на рис. 2, демонструють підвищення точності класифікації для виконання завдання розпізнавання CNN.



а)



б)



в)

Рис. 2. Графіки зміни Ассигасу в разі використання методів обертання від 0° до 360° (а), обрізування та зміщення (б), кольорового зміщення (в) для нейромережі VGG-16

Метод обертання (рис. 2а) у разі повороту на кути, кратні 90° , показав втрату інваріантності дрібнозернистих зображень (зменшення ефективності на 2,5% для завдання класифікації). Метод випадкового обрізування та зміщення (рис. 2б) отримав гірші результати, ніж для крупнозернистих зображень [4], хоча він створив більше зразків зображень об'єктів порівняно з іншими схемами збільшення.

Методи кольорового зміщення (рис. 2в) [6, 10] дали незначне підвищення точності Ассигасу порівняно з геометричними схемами. Отже, CNN дає кращу ефективність виконання завдань у разі навчання на зображеннях, що містять зміни в геометрії, а не редагування освітлення та зміщення кольорів.

Таблиця 1

Результати Ассигасу для різних видів трансформації нейромережі VGG-16

№	Метод аугментації даних	Ассигасу, %
1	Без збільшення даних	72
2	Обертання 0° – 360°	77,56
3	Випадкове обрізування та зміщення	74,5
4	Обрізування з фіксованими розмірами	75,3
5	Збільшення / зменшення	74,1
6	Зміна зеленого кольору	72,3
7	Випадкове обрізування + обертання 360°	72,9
8	Контраст	73

Отже, збільшення навчальних даних знижує ймовірність перенавчання моделі нейромережі, поліпшує узагальнення і, як результат, підвищує загальну ефективність виконання завдання розпізнавання зображень об'єктів. Для визначення ефективності застосування комбінацій оптимальних методів аугментації даних проводиться навчання моделі нейромережі з оцінюванням отриманих результатів за метрикою точності. З метою уникнення надмірних часових витрат на навчання моделі на значній кількості епох кількість навчальних епох обмежується моментом початку збігання моделі (рис. 1). За вибраними комбінаціями методів аугментації даних у межах визначених оптимальних параметрів проводиться навчання моделі нейромережі до повного її збігання.

Висновки. На основі результату аналізу поширених методів аугментації даних (геометричних та кольорової корекції) розроблено алгоритм формування необхідного набору апріорних даних нейромережі, який забезпечує адаптацію до специфіки об'єктів дешифрування та факторів аерознімання із застосуванням БпАК. Запропонований алгоритм дозволяє оптимально збільшити набір зображень об'єктів, запобігаючи навчанню нейромережі невідповідним шаблонам, та підвищити точність класифікації об'єктів моделлю нейромережі. Використання ефективних методів аугментації даних вхідного набору зображень об'єктів дозволить значно зменшити складність збирання потрібних даних та заощадити обчислювальний ресурс. Даний алгоритм може бути використаний у комплексах БпАК у разі застосування нейромереж для автоматизації обробки зображень за результатами знімання та для формування еталонів зображень військових об'єктів.

Перспективним напрямом подальших досліджень є порівняння впливів комбінації традиційного збільшення наборів даних із результатами роботи генеративних змагальних мереж та формування синтетичних наборів даних для розпізнавання об'єктів.

СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Петрук С. Безпілотні авіаційні комплекси в збройних конфліктах останніх десятиріч. URL: <https://journal.cndiovt.com.ua/article/download/210/222/> (дата звернення: 21.12.2022).
2. Lemley J., Bazrafkan S., Corcoran P. Smart Augmentation Learning an Optimal Data Augmentation Strategy // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 5858–5869. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2696121>
3. DeVries T., Taylor G. Dataset Augmentation in Feature Space // Workshop track- ICLR 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.05538>
4. Inoue H. Data Augmentation by Pairing Samples for Images Classification. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.02929>
5. Learning Data Augmentation Strategies for Object Detection / B. Zoph, E. Cubuk, G. Ghiasi et al. // European Computer Vision Association. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.11172>
6. Dwibedi D., Misra I., Hebert M. Cut, Paste and Learn: Surprisingly Easy Synthesis for Instance Detection // IEEE International Conference on Computer Vision. 2017. <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.146>
7. InstaBoost: Boosting Instance Segmentation via Probability Map Guided Copy-Pasting / Fang H.-Shu, Sun J., Wang R. et al. // IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2019. <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00077>
8. Kwon O., Sim J. Effects of data set features on the performances of classification algorithms // Expert Systems with Applications. 2013. Iss. 5, Vol. 40. P. 1847–1857. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.017>
9. Sbai O., Couprie C., Aubry M. Impact of base dataset design on few-shot image classification // European Conference on Computer Vision. 2020. P. 597–613. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58517-4_35
10. How good is my test data? Introducing safety analysis for computer vision / Zendel O. et al. // International Journal of Computer Vision. 2017. Iss. 125. P. 95–109. <https://doi.org/10.1007/s11263-017-1020-z>
11. The many faces of robustness: A critical analysis of out-of-distribution generalization / Hendrycks D. et al. // IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00823>
12. Improving the Robustness of Deep Neural Networks via Stability Training / Zheng S. et al. // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2016. P. 4480–4488. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1604.04326>
13. Imagenet: A large-scale hierarchical image database / Deng J. et al. // IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2009. P. 248–255. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
14. Microsoft COCO: Common objects in context / Lin T. et al. // In European conference Computer Vision – ECCV 2014. № 8693. P. 740–755. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48

15. DOTA: A Large-scale Dataset for Object Detection in Aerial Images / Xia G.-S. et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018. P. 3974–3983. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00418>
16. ActivityNet: A large-scale video benchmark for human activity understanding / F. Heilbron et al. // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2015. P. 961–970. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2015.7298698>
17. A survey on deep transfer learning / Tan C. et al. // International conference on artificial neural networks : Springer. 2018 P. 270–279. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01974>
18. Vannucci C., Colla V. Classification of Unbalanced Datasets and Detection of Rare Events in Industry: Issues and Solutions // International Conference on Engineering Applications of Neural Networks : Springer, January 01, 2016. P. 337–351. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44188-7_26
19. Generalizing from a Few Examples: A Survey on Few-shot Learning / Wang Y. et al. // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 53, № 3. P. 1–34. <https://doi.org/10.1145/3386252>
20. Handwritten Digit Recognition with a Back-Propagation Network / LeCun Y. et al. // Advances in Neural Information Processing Systems. 1996. P. 396–404.
21. The History Began from AlexNet: A Comprehensive Survey on Deep Learning Approaches / Z. Alom et al. // Preprint arXiv:1803.01164. 2019. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.01164>
22. Russakovsky O., Deng J., Su H. Imagenet large scale visual recognition challenge // Advances in Neural Information Processing Systems. 2016. P. 3108–3116. <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>
23. Simonyan K., Zisserman A. Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos // Advances in Neural Information Processing Systems 27 (NIPS 2014). 2014. Vol. 1. P. 568–576.
24. Карпович И. Н. Военное дешифрирование аэроснимков : учебник. Москва : Воениздат, 1990. 544 с.
25. Ребрин Ю. К. Оптико-электронное разведывательное оборудование летательных аппаратов : учебник. Киев : КВВАИУ, 1988. 452 с.

Стаття надійшла до редакції 24.12.2022.

REFERENCES

1. Petruk, S. (n.d.). Bezpilotni aviatsiini komplekxy v zbroinykh konfliktakh ostannykh desiatyrich. Retrieved from <https://journal.endiovt.com.ua/article/download/210/222/> [in Ukrainian].
2. Lemley, J., Bazrafkan, S., & Corcoran, P. (2017). Smart Augmentation Learning an Optimal Data Augmentation Strategy. *IEEE Access*, Vol. 5, 5858–5869. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2696121>
3. DeVries, T., & Taylor, G. (2017). Dataset Augmentation in Feature Space. *Workshop track-ICLR*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.05538>
4. Inoue, H. (n.d.). *Data Augmentation by Pairing Samples for Images Classification*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.02929>
5. Zoph, B., Cubuk, E., & Ghiasi, G. et al. (n.d.). Learning Data Augmentation Strategies for Object Detection. *European Computer Vision Association*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.11172>

6. Dwibedi, D., Misra, I., & Hebert, M. (2017). Cut, Paste and Learn: Surprisingly Easy Synthesis for Instance Detection. In *IEEE International Conference on Computer Vision*. <https://doi.org/10.1109/iccv.2017.146>
7. Fang, H.-Shu, Sun, J., & Wang, R. et al. (2019). InstaBoost: Boosting Instance Segmentation via Probability Map Guided Copy-Pasting. In *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. <https://doi.org/10.1109/iccv.2019.00077>
8. Kwon, O., & Sim, J. (2013). Effects of data set features on the performances of classification algorithms. *Expert Systems with Applications, Iss. 5, Vol. 40*, 1847–1857. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.017>
9. Sbai, O., Couprie, C., & Aubry, M. (2020). Impact of base dataset design on few-shot image classification. In *European Conference on Computer Vision*. (pp. 597–613). https://doi.org/10.1007/978-3-030-58517-4_35
10. Zendel, O. et al. (2017). How good is my test data? introducing safety analysis for computer vision. *International Journal of Computer Vision*, 125, 95–109. <https://doi.org/10.1007/s11263-017-1020-z>
11. Hendrycks, D. et al. (n.d.). The many faces of robustness: A critical analysis of out-of-distribution generalization. In *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. <https://doi.org/10.1109/iccv48922.2021.00823>
12. Zheng, S. et al. (2016). Improving the Robustness of Deep Neural Networks via Stability Training. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (pp. 4480–4488). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1604.04326>
13. Deng, J. et al. (2009). Imagenet: A large-scale hierarchical image database. In *IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. (pp. 248–255). <https://doi.org/10.1109/CVPR.2009.5206848>
14. Lin, T. et al. (2014). Microsoft COCO: Common objects in context. In *European conference Computer Vision – ECCV*, 8693, 740–755. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48
15. Xia, G.-S. et al. (2018). DOTA: A Large-scale Dataset for Object Detection in Aerial Images. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. (pp. 3974–3983). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2018.00418>
16. Heilbron, F. et al. (2015). ActivityNet: A large-scale video benchmark for human activity understanding. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. (pp. 961–970). <https://doi.org/10.1109/cvpr.2015.7298698>
17. Tan, C. et al. (2018). A survey on deep transfer learning. In *International conference on artificial neural networks*. (pp. 270–279). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.01974>
18. Vannucci, C., & Colla, V. (2016). Classification of Unbalanced Datasets and Detection of Rare Events in Industry: Issues and Solutions. In *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*. (pp. 337–351). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44188-7_26
19. Wang, Y. et al. (2022). Generalizing from a Few Examples: A Survey on Few-shot Learning. *ACM Computing Surveys, Vol. 53, № 3*, 1–34. <https://doi.org/10.1145/3386252>
20. LeCun, Y. et al. (1996). Handwritten Digit Recognition with a Back-Propagation Network. *Advances in Neural Information Processing Systems*. P. 396–404.
21. Alom, Z. et al. (2019). The History Began from AlexNet: A Comprehensive Survey on Deep Learning Approaches. *Preprint arXiv:1803.01164*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.01164>

22. Russakovsky, O., Deng, J., & Su, H. (2016). Imagenet large scale visual recognition challenge. *Advances in Neural Information Processing Systems*. P. 3108–3116. <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>
23. Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Two-Stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos. *Advances in Neural Information Processing Systems 27 (NIPS 2014)*, Vol. 1, 568–576.
24. Karpovich, I. N. (1990). *Voennoe deshifrirovaniye aerosnimkov [Military interpretation of aerial photographs]*. Moscow [in Russian].
25. Rebrin, Iu. K. (1988). *Optiko-elektronnoe razvedyvatel'noe oborudovaniye letatel'nykh apparatov [Optoelectronic reconnaissance equipment of aircraft]*. Kyiv [in Russian].

S. V. Kovbasyuk, R. M. Osadchuk, M. P. Romanchuk, L. M. Naumchak
AN APPROACH TO FORMING A PRIOR DATASET OF NEURAL NETWORK FOR PROCESSING DIGITAL AERIAL PHOTOS

Analysis of the use of unmanned aerial systems in the combat zone indicates a constant increase in the requirements for intelligence data. One of the ways to increase the effectiveness of UaV application is the use of artificial intelligence methods. The basis for building a reliable neural network model is a large amount of various data, which helps to more accurately summarize information about the given task. The article considers an approach for increasing the accuracy of object image classification by convolutional neural networks based on data augmentation, which differs from existing ones in its adaptation to shooting factors and the specificity of aerial reconnaissance objects.

An important and most time-consuming step in building an accurate machine learning model is finding and annotating the data that will be used to train and test the accuracy of the neural network. The accuracy and stability of the network in real conditions depends on the amount of collected data. To date, such methods of object image augmentation as geometric transformations, color correction, and spatial image filtering have been well described and analyzed. The possibilities of optimal combinations of data augmentation methods to achieve the desired generalization of poorly visible invariant features of objects remain unexplored at the moment. Taking into account the conducted research, an approach was proposed for the formation of a set of a priori data of a neural network for object recognition on digital aerial photographs, which will significantly reduce the complexity of the process of collecting the necessary data and replace it with magnification methods that are much simpler, consume less computing resources, and increase the accuracy of work convolutional neural networks, simulation of the use of the proposed approach was carried out.

Keywords: *unmanned aerial vehicle; convolutional neural network; data augmentation; automated processing of digital aerial photographs.*

Ю. Л. Бондаренко, А. В. Гусаківський, В. В. Мовчан, Ю. Г. Уваров

МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ ТА ПРИВЕДЕННЯ 5,45-ММ АВТОМАТА АК-74 ДО НОРМАЛЬНОГО БОЮ НА СКОРОЧЕНІЙ ДИСТАНЦІЇ

У статті обґрунтовано та запропоновано методику перевірки бою 5,45-мм автомата АК-74 та приведення його до нормального бою на скороченій відстані. Визначено дистанції пристрілки з установками прицілу, вимоги до контрольно-перевірної мішені. Описано порядок стрільби та знаходження середньої точки влучання, а також регулювання мушки за результатами пристрілки. Наведено результати практичної перевірки працездатності запропонованої методики.

Вогнева підготовка – це один з основних предметів бойової підготовки і складова польового вишколу військ. Її мета – навчити особовий склад та підрозділи підтримання озброєння в постійній бойовій готовності та ведення ефективного вогню для ураження противника в умовах сучасного бою та виконання своїх бойових завдань. Завданням вогневої підготовки є навчити особовий склад вражати цілі (виконувати вогневі завдання) з найменшою витратою боєприпасів у найкоротший термін. Проте найчастіше це виглядає зовсім інакше, особовий склад під час проведення стрільби витрачає надмірну кількість боєприпасів, намагаючись влучити в ціль, оскільки військовослужбовці не навчені основних правил стрільби: правильності й одноманітності в прицілюванні, прийняття потрібного та водночас зручного положення для виконання вправ, ведення вогню. Однак здебільшого це зумовлено не приведеною до нормального бою зброєю.

Одним із найважливіших факторів, що впливає на результати стрільби, а в цілому й на бойову готовність підрозділу, є перевірка та приведення зброї до нормального бою. Стрільба зі зброї, не приведеної до нормального бою і з не вивіреними прицілами, заборонена, оскільки це призводить не тільки до низьких результатів у виконанні вогневих завдань, але й завдає великої шкоди особовому складу, викликаючи в нього невпевненість у можливостях своєї зброї.

Ключові слова: *методика; перевірка бою; приведення до нормального бою; скорочена відстань; 5,45-мм автомат АК-74.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Досвід підготовки мобілізаційних резервів в умовах ведення широкомасштабної війни РФ проти України показав, що в ході проведення вогневої підготовки виникають проблемні питання щодо створення необхідних умов для перевірки бою штатної стрілецької зброї військовослужбовців перед початком їх практичного навчання. Перевірка стрілецької зброї щодо нормального бою (ПСЗНБ) є одним із визначальних факторів, які впливають на результати стрільби. Вона проводиться з метою виявлення відповідності встановленим нормам положення середньої точки влучання (СТВ) відносно контрольної точки (КТ) та розсіювання куль.

Умови та порядок ПСЗНБ для найбільш поширеного у Збройних Силах (ЗС) України 5,45-мм автомата АК-74 викладено в керівних документах [1–3], якими передбачено © Ю. Л. Бондаренко, А. В. Гусаківський, В. В. Мовчан, Ю. Г. Уваров, 2022

виконання стрільби серією з чотирьох поодиноких пострілів на стрільбищі в безвітряну погоду, у закритому тирі або на захищеній від вітру ділянці стрільбища за нормального освітлення по контрольно-перевірній мішені (КПМ), розташованій на відстані 100 м, з прицілом "3" та подальшим контролем результатів [2].

Проте відстань, яку необхідно подолати з метою перевірки результатів стрільби після кожної серії пострілів, заборона на вихід у поле для огляду мішеней тоді, коли ведеться вогонь на сусідніх ділянках стрільбища (тиру, полігону), для забезпечення вимог безпеки, велика кількість стрілецької зброї, що підлягає перевірці, а також обмежений час, що виділяється на вогневу підготовку, призводять до того, що цей обов'язковий елемент підготовки зброї до застосування виконати складно. Крім того, у районах ведення бойових дій, як правило, взагалі відсутні умови, придатні для ПСЗНБ, оскільки немає ділянки території, яка б відповідала встановленим вимогам.

Отже, є **нагальна практична проблема** невідповідності чинного порядку ПСЗНБ для автомата АК-74 реальним умовам масової пристрілки зброї, а пошук нових прийомів і способів з метою спрощення процедури перевірки бою та зменшення часу на її проведення без суттєвих втрат якості пристрілки зброї є **актуальним завданням**.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Порядок ПСЗНБ для 5,45-мм автомата АК-74 описано в керівних документах [1–3]. Проте в них наведено лише одна загальновідома методика ПСЗНБ, яка не враховує реальних умов та обмежень перевірки бою зброї за часом та ділянкою місцевості, що склалися на сьогоднішній день у ЗС України.

У [2] наведено таблицю перевищення траєкторії над лінією прицілювання для АК-74 для різних відстаней та установок прицілів (починаючи з 50 м), але методика ПСЗНБ для таких відстаней не розкрито.

У [4] розроблено вказівки для перевірки бою на скорочених дистанціях для 5,56-мм штурмової гвинтівки М-16, а в [5] – для 7,62-мм гвинтівки М-14 (25 м). Проте конструкція прицільних пристроїв та характеристики даних зразків стрілецької зброї суттєво відрізняються від АК-74, а тому такі підходи до ПСЗНБ для цих зразків зброї не можуть бути застосовані.

У [6] наведено табличні дані для перевірки бою 5,45-мм автомата АК-105, який сконструйовано на основі автомата АК-74, починаючи з дистанції 10 м (з установкою прицілу "1"). Проте початкова швидкість кулі автомата АК-105 становить 840 м (проти 900 м автомата АК-74) через меншу довжину ствола (ствол АК-105 коротший від ствола АК-74 на 101 мм), а отже, і параметри польоту кулі після виходу її зі ствола також відрізняються. Крім того, методика ПСЗНБ для АК-105 на скороченій дистанції у [6] не наведено.

Проблема пошуку нових підходів до ПСЗНБ активно обговорюється в мережі Інтернет на різноманітних форумах та сайтах за тематикою стрілецької зброї, де наводиться особистий досвід та робляться припущення щодо відстаней та порядку перевірки бою зброї, проте чіткої та обґрунтованої послідовності дій немає.

Отже, питання удосконалення порядку ПСЗНБ для 5,45-мм автомата АК-74 на скороченій дистанції у відомих публікаціях не розкрито.

Метою статті є розробка та обґрунтування удосконаленої методики ПСЗНБ 5,45-мм автомата АК-74 на скороченій дистанції.

Виклад основного матеріалу. Без урахування підготовчих дій порядок ПСЗНБ для АК-74 у загальному вигляді зводиться до таких операцій:

- 1) виконання серії з чотирьох поодиноких пострілів по КПМ, розташованій на відстані 100 м;
- 2) пересування особи, що здійснює контроль результатів (далі – контролер), до КПМ;
- 3) виявлення пробоїн, прийняття рішення щодо відповідності кучності стрільби та знаходження СТВ за встановленими правилами;
- 4) вимір відхилення СТВ від точки прицілювання (ТП) та визначення поправок, які необхідно внести у прицільні пристрої зброї;
- 5) повернення контролера до рубежу відкриття вогню (РВВ);
- 6) внесення поправок у прицільні пристрої зброї, прийняття рішення щодо повторної (за необхідності) стрільби.

За результатами збору статистичних даних у ході багаторазового проведення ПСЗНБ автоматів АК-74 було отримано значення середнього часу на виконання описаних операцій (табл. 1).

Таблиця 1

Середній час на виконання операцій у ході ПСЗНБ для АК-74

№ з/п	Операція ПСЗНБ	Середній час, (хв, с)
1	Виконання серії з чотирьох поодиноких пострілів по КПМ	1 хв 05 с
2	Пересування контролера до КПМ	2 хв 23 с
3	Визначення пробоїн та знаходження СТВ	22 с
4	Вимір відхилення СТВ від КТ та обрахування поправок	13 с
5	Повернення до РВВ	2 хв 23 с
6	Внесення поправок у прицільні пристрої зброї	27 с
	Загальний час на ПСЗНБ	6 хв 47 с

Із табл. 1 видно, що найбільше часу в ході ПСЗНБ витрачається саме на пересування контролера від РВВ до КПМ та у зворотному напрямі (до 5 хв з урахуванням особливостей місцевості), або близько 70% загального часу. У цей момент також повинна бути припинена стрільба на сусідніх ділянках стрільбища для дотримання заходів безпеки.

Другою операцією за витратою часу є виконання стрільби: на прицілювання й один постріл стрільцю потрібно в середньому 16-17 с.

Отже, для зменшення часу на ПСЗНБ автомата АК-74 доцільно в першу чергу розглянути можливості зменшення кількості боєприпасів, які витрачаються на пристрілку однієї одиниці зброї, та зменшення відстані, на якій здійснюється перевірка результатів стрільби.

Усі кулі в серії пострілів повинні влучити в уявне коло з центром у КТ на КПМ, радіус якого має бути не більше 5 см. Неправильне налаштування прицільних пристроїв призводить до відхилення всіх пробоїн від КТ (в ідеалі відхилення повинно бути однаковим). Але через суб'єктивні фактори (насамперед стан стрільця) кулі відхиляються від СТВ на різну відстань. Якщо всі чотири пробоїни не вміщаються в коло діаметром

15 см, то СТВ дозволяється визначати за трьома найбільш кучно розташованими пробоїнами, за умови, що так званий відрив – четверта пробоїна – віддалений від СТВ, визначеної за трьома пробоїнами, більш ніж на 2,5 радіуса кола, що вміщає ці пробоїни [2, 3].

Як показує практика, відрив однієї кулі від СТВ під час тривалої стрільби одним стрільцем має місце у 60% серій пострілів і є типовим явищем. Отже, у разі зменшення кількості пострілів хоча б на один (з чотирьох, як передбачено керівними документами, до трьох), виникне ситуація, коли при так званому відриві хоча б однієї з трьох куль за встановлений габарит визначити СТВ тільки за двома кулями стає неможливо, і це вимагатиме повторної стрільби, що, у свою чергу, призведе до ще більших витрат часу.

Крім того, зменшення кількості пострілів з чотирьох до трьох несуттєво впливає на загальний час процедури ПСЗНБ (близько 3%).

Отже, варіант зменшення часу на ПСЗНБ за рахунок зменшення кількості пострілів у серії є недоцільним.

У ході ПСЗНБ автомата АК-74 найбільше часу витрачається саме на переміщення контролера від РВВ до КПМ (100 м) для перевірки результатів стрільби – близько 5 хв, тому доцільно розглянути питання щодо скорочення цієї дистанції.

Вибір відстані 100 м обумовлено тим, що в разі стрільби на більшу відстань на бій зброї суттєво починають впливати метеорологічні умови. Під час стрільби на менші відстані відхилення, якщо вони є в зброї, проявляють себе не так характерно [7]. Разом із цим саме відносно велика відстань до КПМ визначає основні витрати часу на ПСЗНБ.

Теоретично, за умови наявності точних засобів виміру, пристрілку зброї можливо робити на будь-якій відстані від зрізу ствола до КПМ. Проте відомі два основні фактори, які обмежують перевірку бою зброї на коротких дистанціях.

Першим є те, що результати стрільби по КПМ повинні бути наочними, тобто дозволяти визначати відхилення СТВ від КТ з точністю, достатньою для її виміру і внесення відповідних поправок у прицільні пристрої зброї. Це означає, що в разі, коли куля відхиляється від КТ через недосконалу пристрілку зброї, що повинно бути однозначно ідентифіковано контролером, він повинен мати можливість внести відповідні поправки в прицільні пристрої з використанням штатних засобів – приладу регулювання бою (ПРБ) та викрутки з пенала АК-74.

З [1–3] відомо, що під час пристрілки АК-74 на відстані 100 м одне обертання мушки зміщує СТВ по вертикалі на 20 см. Припустимо, що мінімальним кроком зміщення мушки є чверть її обертання, що, у свою чергу, зумовлює зміщення СТВ на 5 см. Таке зміщення відповідає радіусу допустимих відхилень СТВ від КТ для автомата АК-74. Тоді мінімальним зміщенням СТВ за чверті обертання мушки на шуканій скороченій дистанції буде відстань 1,25 см, що відповідає колу допустимих відхилень діаметром 2,5 см. Для отримання такої роздільної здатності пробоїна від кулі, випущеної з автомата АК-74, який потребує внесення мінімальних поправок у прицільні пристрої, повинна знаходитися на межі кола допустимих відхилень з радіусом 1,25 см. З пропорції розмірів кіл допустимих відхилень радіусом 5 см та 1,25 см зрозуміло, що для того, щоб отримати таку відстань пробоїни від КТ та мати можливість скорегувати прицільні пристрої мінімальною поправкою, треба віднести КПМ від зрізу ствола зброї на відстань 25 м.

Другий фактор визначається особливостями зовнішньої балістики кулі після виходу зі ствола. Такі особливості можна продемонструвати на рис. 1.

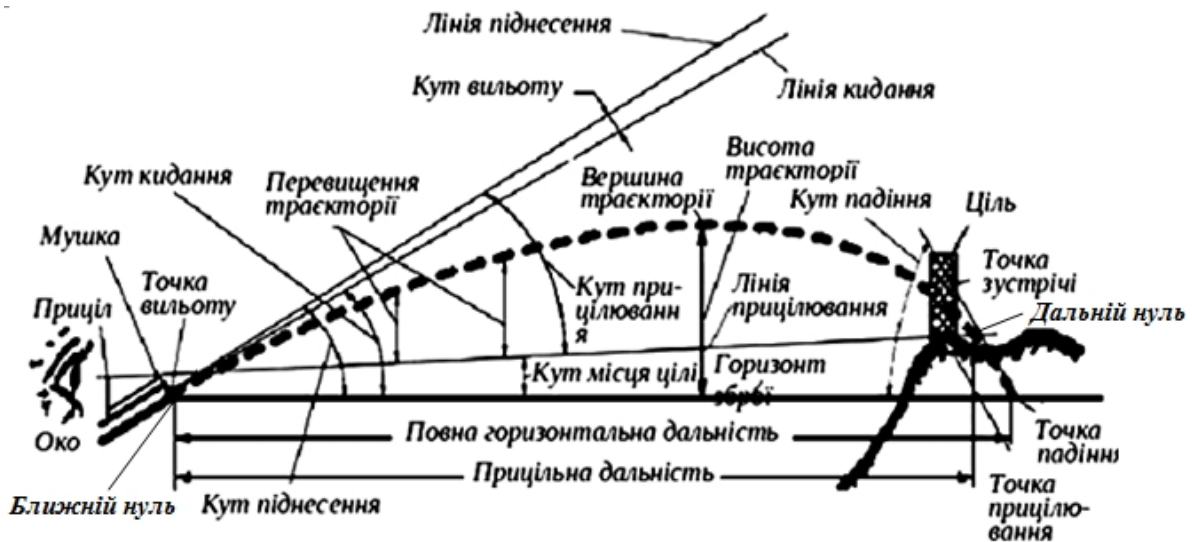


Рис. 1. Траєкторія руху кулі після здійснення пострілу

З рис. 1 видно, що між лінією прицілювання та лінією кидання є кут (кут кидання), через що початкове положення кулі на траєкторії польоту знаходиться нижче лінії прицілювання. Завдяки куту кидання, куля, рухаючись за балістичною траєкторією, перетинає лінію прицілювання на певній відстані від зрізу ствола.

Далі куля піднімається над лінією прицілювання на певну висоту (перевищення траєкторії), досягає максимального значення (вершини траєкторії), а потім під впливом сили тяжіння та сили опору повітря починає знижуватися, перетинаючи лінію прицілювання ще раз. Відстань до найближчої до стрільця точки перетинання траєкторії кулі та лінії прицілювання в літературі отримала назву так званого ближнього нуля, а відстань до дальньої точки такого перетинання – дальнього нуля. Значення ближнього та дальнього нулів, як і траєкторія польоту кулі, залежать від кута кидання кулі та, у свою чергу, від установки прицілу.

На відстані, меншій за ближній нуль, перевищення траєкторії приймають від'ємні значення. Вочевидь, що здійснювати пристрілку зброї з поправками на від'ємні значення перевищення траєкторії незручно, а збільшення відстані понад значення ближнього нуля з погляду економії часу на ПСЗНБ є недоцільним. Разом з тим ПСЗНБ за ближнім нулем зручно виконувати, оскільки на такій відстані СТВ має збігатися з ТП і КТ. Отже, найбільш оптимальною відстанню, на якій доцільно здійснювати пристрілку зброї, є ближній нуль.

Значення ближнього нуля для кожного зразка стрілецької зброї є різним. Наприклад, для 5,56-мм гвинтівки М-16 він дорівнює 25 м [4].

Значення ближнього нуля для автомата АК-74 у літературі неточно визначено. У [8] наведено, що ближній нуль для АК-74 становить 25 м для прицілу "2". У [9] вказано, що значення ближнього нуля для прицілу "3" – 21 м. У [10] для даного зразка зброї та установки прицілу "1" вказано дальність 25 м. Розрахунки за допомогою балістичного онлайн калькулятора Interballist дали результат 15 м, а за допомогою балістичного калькулятора Applied Ballistics – 22 м.

Такі різні результати розрахунку ближнього нуля для автомата АК-74 (як і для інших зразків зброї) пояснюються тим, що дослідники використовують різні вихідні дані для

розрахунків (кути кидання для різних установок прицілу, балістичні коефіцієнти куль, погодні умови тощо). Крім того, балістичні калькулятори, що є в доступі в мережі Інтернет, як правило, спеціалізовано під зразки (та, відповідно, характеристики й особливості) зброї конкретних фірм-виробників зброї та боєприпасів (наприклад, балістичні калькулятори для Remington, Colt тощо).

Тому для пошуку ближнього нуля для автомата АК-74 було проведено експеримент у ході практичних занять із курсантами (мобілізованими офіцерами) Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова, а також під час ПСЗНБ.

Як КПМ використовувався аркуш формату А4, у центрі якого був нанесений чорний квадрат зі стороною 5 см, оскільки такий розмір приблизно відповідає покривній величині мушки зброї на 20–25 м.

Для проведення експерименту щоразу обиралися 5 одиниць зброї, які попередньо було приведено до нормального бою на відстані 100 м відповідно до вимог керівних документів [1–3]. Стрільба виконувалася кращими стрільцями з підрозділу або викладачами вогневої підготовки.

Стрільці з положення "лежачи" з упору вели поодинокий вогонь з прицілом "3" у середину нижнього краю мішені серією з трьох пострілів 5,45-мм патронами з кулею зі сталевим осердям однакових виробничих даних. При цьому КПМ встановлювалася на рівні очей стрільця. Відстань до КПМ послідовно змінювалася від 20 м до 27 м з кроком в один метр. На кожному кроці відстані здійснювалося по 8 серій пострілів по КПМ із перевіркою контролерами результатів стрільби після кожної серії. Вимір між СТВ та ТП проводився з похибкою, яка не перевищувала 1 мм.

Усереднені значення перевищення траєкторії кулі автомата АК-74 на дистанціях 20–27 м, отримані в результаті експерименту, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Усереднені значення перевищення траєкторії кулі автомата АК-74
на дистанціях 20–27 м

Відстань до КПМ, м	Середнє значення перевищення траєкторії за напрямками стрільби, см					Усереднене значення перевищення траєкторії, см
	Номер напрямку стрільби					
	1	2	3	4	5	
20	-1	-1	-1	-1	-1	-1
21	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
22	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6
23	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
24	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
25	0	0	0	0	0	0
26	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
27	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4

З табл. 2 видно, що СТВ на відстанях 20–24 м знаходиться нижче ТП на усіх напрямках стрільби, однак зі збільшенням відстані до КПМ вона поступово піднімається до нижнього краю цілі. На відстані 25 м СТВ збігається з точкою прицілювання на кожному з п'яти напрямків.

Результатом стрільби по КПМ, розташованим на відстанях 26 та 27 м, стало те, що СТВ знаходиться вище ТП.

Отже, практичним експериментом доведено, що ближній нуль для автомата АК-74 з установкою прицілу "3" дорівнює 25 м.

Очевидно, що стандартна КПМ, формат якої визначено у [2, 3], для ПСЗНБ на скороченій відстані не підходить. Насамперед це стосується розміру зафарбованої (чорної) зони КПМ, яка відповідає покривній величині мушки АК-74 на відстані 100 м, а також відображення розмірів габаритів її влучності. Тому необхідно запропонувати інший варіант КПМ, який би відповідав умовам ПСЗНБ на скороченій дистанції.

Покривну величину мушки АК-74 на скороченій відстані можна визначити за таким виразом [11]:

$$K = \frac{D * m}{g};$$

де K – покривна величина мушки, м;

D – відстань до цілі, м;

m – розмір мушки, м;

g – відстань від мушки до ока стрільця, м.

Для проведення розрахунків приймемо, що відстань до цілі $D = 25$ м, розмір мушки АК-74 $m = 0,002$ м [11]; відстань від мушки до ока стрільця $g = 0,65$ м [11]. Тоді покривна величина мушки $K = 0,077$ м. З урахуванням округлення до цілого значення можна вважати, що покривна величина мушки АК-74 на відстані 25 м дорівнює 8 см.

Отже, розмір зафарбованої частини КПМ, по якій буде здійснюватися пристрілка зброї на скороченій відстані, повинна бути 8 см завширшки.

Часто трапляються випадки, коли СТВ у ході стрільби з окремих одиниць зброї відхиляється від КТ більш ніж на метр. Тому для виявлення пробоїн з великим відхиленням від КТ, коли їх СТВ знаходиться поза межами КПМ, її розташовують посередині щита білого кольору розміром 1 x 0,5 м.

У разі пристрілки на скороченій дистанції відхилення навіть для дуже погано пристріляної зброї не виходить за межі КПМ, тому за основу для неї можна використовувати білий папір формату А4 (210 x 297 мм).

Враховуючи те, що під час стрільби на короткій дистанції вимірювання відхилень СТВ від КТ повинне здійснюватися з точністю до декількох міліметрів, то на КПМ доцільно нанести сітку з ліній, розташованих через кожен сантиметр.

Загальний вигляд КПМ наведено на рис. 2. Для даної дистанції стрільби ТП збігається з КТ. Коло з центром у ТП має діаметр 2,5 см та визначає габарит влучності зброї.

Оцінку кучності стрільби в серії з чотирьох пострілів у ході ПСЗНБ автомата АК-74 на скороченій відстані доцільно проводити, виходячи з таких міркувань: кучність бою під час стрільби на 100 м вважається нормальною, якщо всі чотири пробоїни або три (за одного відриву) вміщуються в коло діаметром 15 м [2, 3]. Відповідно, на 25 м нормальна кучність бою становитиме величину, в чотири рази меншу, а саме 3,75 см, яку для зручності доцільно округлити до 4 см.

Отже, на 25 м кучність буде вважатися нормальною, якщо точки влучання від чотирьох пострілів вмістатимуться в коло діаметром 4 см.

Визначення СТВ за серією з чотирьох пострілів на скороченій дистанції пропонуємо здійснювати так, як описано у [2, 3] – методом ділення відрізків.

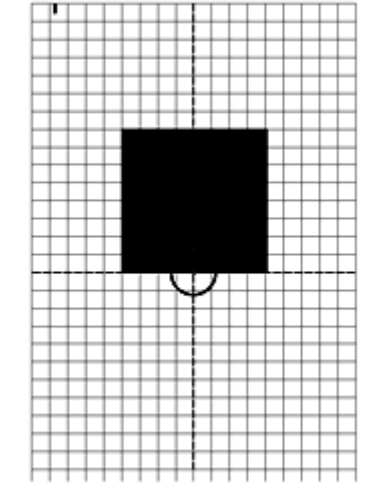


Рис. 2. Вигляд запропонованої КПМ для ПСЗНБ автомата АК-74 на скороченій дистанції

Під час відхилення СТВ відносно КТ на відстань, більшу за габарит влучності (коло діаметром 2,5 см), положення мушки зброї необхідно коригувати за мнемонічним правилом "Куля веде мушку". Це означає, що, коли СТВ знаходиться нижче відносно КТ, то мушку слід закрутити, якщо вище – викрутити. Одне повне обертання мушки приводить до зміщення СТВ на 5 см по вертикалі. Якщо СТВ визначається лівіше від пунктирної лінії на КПМ, мушку треба змістити ліворуч, якщо правіше – праворуч. Один міліметр переміщення ползка мушки дає зміщення СТВ на 6,5 см, тому для ПСЗНБ на скороченій відстані обов'язково треба користуватися ПРБ із мікрометром.

Отже, методика ПСЗНБ для автомата АК-74 на скороченій дистанції передбачає такі обмеження:

1. Стрільці – кращі з підрозділу.
2. Мішень – запропонована КПМ для ПСЗНБ автомата АК-74 (рис. 2).
3. Відстань до мішені – 25 м, встановлена суворо вертикально (за прямовисом) на рівні очей стрільця.
4. Положення для стрільби – лежачи з м'якого упору.
5. Установка прицілу – "3".
6. ТП – середина нижнього зрізу чорного прямокутника КПМ, збігається з КТ.
7. Кількість пострілів – 4 поодиноких постріли, патрони з кулею зі сталевим осердям однієї партії.
8. Допустимий габарит розсіювання – не більше 4 см.
9. Допустиме відхилення СТВ від КТ – не більше ніж 1,25 см.

Для перевірки правильності запропонованої методики було проведено експериментальну перевірку її працездатності шляхом ПСЗНБ на скороченій відстані

50 одиниць автоматів АК-74. Після цього бій цієї зброї було перевірено шляхом серії пострілів по стандартній КПМ, розташованій на відстані 100 м.

Отримано такі результати:

у 37 одиниць зброї СТВ не вийшла за габарит 5 см від КТ, така зброя вважається приведеною до нормального бою;

одна одиниця зброї мала незадовільний габарит кучності після двох серій пострілів та була вилучена як така, що підлягає ремонту (заміні);

12 одиниць зброї мали перевищення у відхиленні СТВ від КТ у 5–7 см (за максимально допустимого відхилення 5 см).

Отже, за запропонованою методикою ПСЗНБ 74% зброї було приведено до нормального бою коректно. Разом з тим, решта автоматів АК-74 (за винятком однієї одиниці зброї, що підлягає заміні) хоча і мала перевищення у відхиленні СТВ від КТ, але незначні.

Середні часові витрати на проведення окремих операцій у ході ПСЗНБ автомата АК-74 на скороченій відстані наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Середній час на виконання операцій у ході ПСЗНБ автомата АК-74
на скороченій відстані

№ з/п	Операція ПСЗНБ	Середній час, (хв, с)
1	Виконання серії з чотирьох поодиноких пострілів по КПМ	1 хв
2	Пересування контролера до КПМ	35 с
3	Визначення пробоїн та знаходження СТВ	22 с
4	Вимір відхилення СТВ від КТ та обрахування поправок	25 с
5	Повернення до РВВ	35 с
6	Внесення поправок у прицільні пристрої зброї	30 с
	Загальний час на ПСЗНБ	3 хв 7 с

З табл. 3 видно, що, з одного боку, значно скоротився час на пересування контролера до КПМ й у зворотному напрямку, а з іншого – збільшився час на вимір відхилення СТВ від КТ та визначення поправок, це пов'язано з тим, що на скороченій відстані вимір відхилень потрібно здійснювати більш точно і ретельно.

Попри це, загальна економія часу на ПСЗНБ порівняно зі стандартною методикою становить більш ніж 50%.

Висновки

1. Запропонована методика є працездатною та такою, що може бути використана у практиці військ. Вона дозволяє скоротити час на пристрілку зброї до 50% та проводити її в закритих тирах, коротших за 100 м, на коротких ділянках місцевості, а в разі стрільби на полігонах та стрільбищах немає необхідності припиняти вогонь на сусідніх ділянках.

2. Запропонований підхід до ПСЗНБ є менш точним порівняно з методикою, викладеною в керівних документах. Є ймовірність перевищення допустимих відхилень СТВ від КТ за розробленою методикою, тому її застосування доцільне в тих випадках, коли є суттєві

обмеження за часом у виконанні процедури ПСЗНБ або відсутні потрібні умови пристрілки зброї (ділянка місцевості довжиною 100 м). Разом з тим, навіть за недостатньої точності пристрілки зброї, такий підхід дозволяє виявляти її зразки із суттєвими відхиленнями від нормального бою та вносити поправки.

3. Після ПСЗНБ автоматів АК-74 на скороченій дистанції доцільно, за можливості, перевірити бій зброї на відстані 100 м.

Запропонована методика не має на меті спростувати (заперечити) або замінити правила ПСЗНБ, викладені в керівних документах. Її реалізація дозволить вирішити загальну проблему підготовки стрілецької зброї як на фронті, так і в тилу в умовах загальної мобілізації.

Напрямами подальших досліджень є пошук аналітичного обґрунтування ближнього нуля з урахуванням балістичних характеристик зброї, значення якого було отримано експериментальним методом, а також обґрунтування способу визначення СТВ у ході ПСЗНБ на скороченій відстані.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Курс стрільб зі стрілецької зброї та бойових машин / Генеральний штаб Збройних Сил України. Київ, 2018. 360 с.
2. Керівництво зі стрілецької справи. 5,45-мм автомати Калашнікова (АК-74, АКС-74, АК-74Н, АКС-74Н) та 5,45-мм ручні кулемети Калашнікова (РПК-74, РПКС-74, РПК-74Н, РПКС-74Н) / Командування Сухопутних військ Збройних Сил України. Київ, 2019. 140 с.
3. Керівництво зі стрілецької справи. Перевірка бою, приведення до нормального бою стрілецької зброї, озброєння бойових машин та вивірки їх прицілів / Командування Сухопутних військ Збройних Сил України. Київ, 2019. 122 с.
4. Rifle marksmanship M16A1, M16A2/3, M16A4, and M4 carbine / Headquarters Department of the Army. Washington, DC, 2006. 116 p.
5. Rifle marksmanship M14-M14A1 / Headquarters Department of the Army. Washington, DC, 1974. 237 p.
6. Таблиця перевищення траєкторії над лінією прицілювання для автомата АК-105. URL: <https://ohotnik1975.livejournal.com/102466.html> (дата звернення: 20.12.2022).
7. Основы стрельбы из стрелкового оружия / Министерство обороны СССР. Москва, 1982. 656 с.
8. Установка прицілу під час перевірки бою стрілецької зброї з механічними прицілами. URL: <https://ipro.ua.com/inv/pdf/0erebmgh-description.pdf> (дата звернення: 10.12.2022).
9. Відстань до ближнього нуля та установка прицілу автомата АК-74. URL: <https://savannaharsenal.com/2016/04/23/how-to-zero-the-kalashnikov-ak-47-ak-74/> (дата звернення: 08.08.2022).
10. Відстань до ближнього нуля та установка прицілу автомата SAR-2 АК-74. URL: <https://www.theakforum.net/threads/ak-74-zero-procedure.117244/> (дата звернення: 15.11.2022).
11. Крупкін А. Б., Барабаш О. М., Яковлев М. Ю. Мнемонічні правила стрільби зі стрілецької

зброї, гранатометів та озброєння бойових машин : навч.-методич. посіб. Львів: Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, 2011. 101 с.

Стаття надійшла до редакції 26.12.2022.

REFERENCES

1. Heneralnyi shtab Zbroinykh Syl Ukrainy [General Headquarters of the Armed Forces of Ukraine]. (2018). *Kurs strilb zi striletskoi zbroi ta boiovykh mashyn [Shooting course with small arms and combat vehicles]*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Komanduvannia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy [Ground Forces Command of the Armed Forces of Ukraine]. (2019). *Kerivnytstvo zi striletskoi spravy. 5,45-mm avtomaty Kalashnikova (AK-74, AKS-74, AK-74N, AKS-74N) ta 5,45-mm ruchni kulemety Kalashnikova (RPK-74, RPKS-74, RPK-74N, RPKS-74N) [Guide to shooting. 5.45-mm Kalashnikov assault rifles (AK-74, AKS-74, AK-74N, AKS-74N) and 5.45-mm Kalashnikov machine guns (RPK-74, RPKS-74, RPK-74N, RPKS-74N)]*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Komanduvannia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy [Ground Forces Command of the Armed Forces of Ukraine]. (2019). *Kerivnytstvo zi striletskoi spravy. Perevirka boiu, pryvedennia do normalnoho boiu striletskoi zbroi, ozbroiennia boiovykh mashyn ta vyvirky yikh prysiliv [Guide to shooting. Checking the battle, bringing small arms to a normal battle, arming combat vehicles and checking their sights]*. Kyiv [in Ukrainian].
4. Headquarters Department of the Army. (2006). *Rifle marksmanship M16A1, M16A2/3, M16A4, and M4 carbine*. Washington, DC.
5. Headquarters Department of the Army. (1974). *Rifle marksmanship M14-M14A1*. Washington, DC.
6. *Tablytsia perevyschennia traiektorii nad liniieiu prysiliuvannia dlia avtomata AK-105 [Table of exceeding the trajectory above the aiming line for the AK-105 machine gun]*. (n.d.). Retrieved from <https://ohotnik1975.livejournal.com/102466.html> [in Ukrainian].
7. Ministerstvo oborony SSSR [Ministry of Defense of the USSR]. (1982). *Osnovy strel'by iz strelkovogo oruzh'ia [Basics of shooting from small arms]*. Moscow [in Russian].
8. *Ustanovka prysilu pid chas perevirky boiu striletskoi zbroi z mekhanichnymy prysilamy [Setting the sight during the combat check of small arms with mechanical sights]*. (n.d.). Retrieved from <https://ipro.ua.com/inv/pdf/0erebmgh-description.pdf> [in Ukrainian].
9. *Vidstan do blyzhnoho nulia ta ustanovka prysilu avtomata AK-74 [The distance to the near zero and setting the sight of the AK-74 machine gun]*. (n.d.). Retrieved from <https://savannaharsenal.com/2016/04/23/how-to-zero-the-kalashnikov-ak-47-ak-74/> [in Ukrainian].
10. *Vidstan do blyzhnoho nulia ta ustanovka prysilu avtomata SAR-2 AK-74 [The distance to the near zero and the sight setting of the SAR-2 AK-74 machine gun]*. (n.d.). Retrieved from <https://www.theakforum.net/threads/ak-74-zero-procedure.117244/> [in Ukrainian].
11. Krupkin, A. B., Barabash, O. M., & Yakovlev, M. Yu. (2011). *Mnemonichni pravyla strilby zi striletskoi zbroi, hranatometiv ta ozbroiennia boiovykh mashyn : navch.-metodych. posib. [Mnemonic rules for shooting with small arms, grenade launchers and arming combat vehicles]*. Lviv: Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy [in Ukrainian].

Y. L. Bondarenko, A. V. Husakiwskij, V. V. Movchan, Y. G. Uvarov

METHODOLOGY FOR CHECKING AND BRINGING THE 5.45-MM AK-74 ASSAULT RIFLE TO NORMAL FIREARM READINESS AT A SHORT DISTANCE

The article substantiates and proposes a methodology for checking of the 5.45-mm AK-74 assault rifle and bringing it to normal firearm readiness at a short distance. There are determined shooting distances with sight settings, requirements for a control target, the order of firing and finding the average point of impact, as well as the adjustment of the front sight based on the results of target shooting. The practical test results of the performance of the proposed method are presented.

As you know, firearm training is one of the main subjects of combat training and an integral part of the troops field craft. Its purpose is to train personnel and units to maintain weapons in constant combat readiness and conduct effective fire to defeat the enemy in the conditions of modern combat in order to perform their combat tasks. It can be said more simply that the task of firearm training is to teach the personnel to hit targets (solve firing tasks) with the least consumption of ammunition in the shortest possible time. However, most often it looks completely different, the personnel spends an excessive amount of ammunition trying to hit the target during firearm training. Of course, this will happen if the serviceman is not trained in the basic rules of shooting: correctness and uniformity in aiming, taking the correct and convenient position for shooting, firing. However, in most cases, this is affected by weapons that are not brought to normal firearm readiness.

One of the most important factors that affects the results of shooting, and in general, the combat readiness of the unit, is checking and bringing the weapons to normal firearm readiness. Shooting weapons does not brought to normal firearm readiness and with uncalibrated sights is prohibited, because it leads not only to poor results in shooting, but also causes harm to the personnel, causing lack confidence in the capabilities of their weapons.

Keywords: *methodology; firearm readiness; bringing; short distance; 5.45-mm AK-74.*

Авсієвич Роман Олексійович – ад'юнкт науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- телекомунікації;
- космічні системи.

Андрєєв Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- космічні та геоінформаційні системи.

Бондаренко Юрій Леонідович – кандидат технічних наук, начальник кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- оптимізація процесів функціонування складних інформаційних і технічних систем.

Гусаківський Андрій Вікторович – викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- військова історія рідного краю (Житомирщини).

Дубина Олександр Федорович – кандидат технічних наук, доцент, викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів;
- космічні та геоінформаційні системи.

Іщенко Дем'ян Андрійович – кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- дослідження складних інформаційних систем;
- моделювання операцій.

Іщенко Сергій Дем'янович – офіцер Збройних Сил України.

Наукові інтереси:

- системи моніторингу.

Кальватинський Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, начальник лабораторії Центру прийому та обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Національного центру управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

- приймальні системи спеціальних радіоліній;
- первинна обробка спеціальної інформації, методи її декодування.

Ковбасюк Сергій Валентинович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- розвідувально-інформаційні засоби системи моніторингу космічного простору;
- оцінка ефективності застосування космічних систем подвійного призначення.

Лобода Вероніка Вікторівна – науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- інформаційні системи спеціального призначення;
- моделювання інформаційно-комунікаційних систем.

Лобода Роман Іванович – науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- людино-машинні системи;
- безпілотні авіаційні комплекси.

Марищук Людмила Мічеславівна – старший науковий співробітник науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- організація наукових досліджень.

Мовчан Валерій Володимирович – старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- історія розвитку стрілецької зброї та боєприпасів.

Наумчак Леонід Михайлович – науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- математичні методи й алгоритми оброблення видової інформації.

Нетребко Руслан Васильович – викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- програмування;
- інформаційні технології;
- інформаційна безпека.

Осадчук Руслан Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- обробка даних дистанційного зондування Землі.

Паламарчук Андрій Семенович – старший викладач кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- моделювання та обробка інформації в електротехнічних системах;
- вторинні джерела живлення.

Пількевич Ігор Анатолійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- системна інженерія;
- проектування складних інформаційних систем.

Пулеко Ігор Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- моделювання та обробка інформації в складних технічних системах;
- інформаційні технології в управлінні групами розподілених динамічних об'єктів;
- штучний інтелект у технічних системах;
- Інтернет речей.

Романчук Микола Петрович – кандидат технічних наук, заступник начальника науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- математичні методи й алгоритми оброблення видової інформації;
- космічні та геоінформаційні системи.

Соболенко Сергій Олександрович – кандидат технічних наук, начальник кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- радіотехнічні системи.

Токар Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- людино-машинні системи;
- космічні системи.

Уваров Юрій Геннадійович – старший викладач – начальник служби ракетно-артилерійського озброєння кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- озброєння та військова техніка.

Федорчук Дмитро Леонідович – кандидат технічних наук, начальник наукового центру Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- дослідження складних інформаційних систем.

Фриз Сергій Петрович – заслужений працівник освіти України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри Житомирського військового інституту імені С. П. Корольова.

Наукові інтереси:

- проблеми планування в космічних системах;
- оптимізаційні моделі процесів у технічних системах.

Чумакевич Віктор Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Національного університету «Львівська політехніка».

Наукові інтереси:

- функціонально-стійкі системи з керуванням, яке відновлюється;
- моделювання і спостереження геотехнічних процесів;
- математичне моделювання складних технічних систем.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ, ВИПРОБУВАННЯ, ЗАСТОСУВАННЯ
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Збірник наукових праць

Випуск 23

Видавничий оригінал виготовлений
у науково-організаційному відділенні ЖВІ

Редактор: **Л. М. Марищук**
Комп'ютерна верстка та макетування **Л. М. Марищук**

Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 7355 від 9 червня 2021 року.

Підписано до друку 26.12.2022. Формат 60 × 84 / 8.

Ум. друк. арк. 12,09. Тираж 100 прим. Зам. 468 офс.

Безкоштовно
Друкарня ЖВІ

10004, м. Житомир, просп. Миру, 22