

ISSN 2706 - 7386

ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЇ  
ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ



ДЕРЖАВНОГО НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ  
ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЇ  
ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Випуск 2(16)

Черкаси

2023



МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ  
ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЇ  
ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

ISSN 2706-7386

# ЗБІРНИК наукових праць

Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки

Випуск 2(16)

**Заснований у жовтні 2019 року**

Відображені проблемні питання наукового та науково-технічного характеру у галузі створення, випробування, оцінки відповідності озброєння та військової техніки і пошук шляхів їх вирішення. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів.

**Засновник і видавець:**

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

**Телефон:**

+38 (068) 303 51 23

**E-mail редколегії:**

niv\_dndi@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

dndivsovt.com

**Адреса:**

18003, м. Черкаси,  
вул. В'ячеслава Чорновола, 164А

Черкаси • 2023

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

### **Головний редактор:**

Певцов Геннадій Володимирович, доктор технічних наук професор,  
Заслужений діяч науки і техніки України,  
Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації ОВТ, Черкаси, Україна.

### **Заступник головного редактора:**

Тристан Андрій Вікторович, доктор технічних наук професор,  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації ОВТ, Черкаси, Україна.

### **Члени редакційної колегії:**

- Бурсала Олександр Леонідович, кандидат технічних наук старший науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації ОВТ, Черкаси, Україна;
- Коломійцев Олексій Володимирович, доктор технічних наук професор, Заслужений винахідник України, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
- Леонт'єв Олексій Борисович, доктор технічних наук професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;
- Малюга Володимир Геннадійович, доктор військових наук старший науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна;
- Нікітченко Віктор Іванович, кандидат технічних наук старший дослідник, Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації ОВТ, Черкаси, Україна;
- Овчаренко В'ячеслав Володимирович, доктор військових наук професор, Київський інститут Національної гвардії України, Київ, Україна;
- Пацек Богуслав, доктор військових наук професор, Ягелонський університет, Краків, Польща;
- Сорока Михайло Юрійович, кандидат технічних наук доцент, Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна;
- Тимочко Олександр Іванович, доктор технічних наук професор, Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна.

### **Відповідальний секретар:**

Ряполов Іван Євгенович, кандидат технічних наук,  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації ОВТ, Черкаси, Україна.

*Затверджений до друку науково-технічною радою Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки  
(протокол від 27 червня 2023 року № 7).*

*Включений до категорії „Б” Переліку наукових фахових видань України  
накази Міністерства освіти і науки України від 15.04.2021 № 420  
технічні та військові науки за спеціальністю 255.*

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
КВ № 23995-13835Р від 19.06.2019 р.*

*Періодичність видання: 4 рази на рік.*

*Усі статті, що публікуються у збірнику, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється  
за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів (подвійне сліпе рецензування).*

*Унікальність текстів публікацій перевіряється за допомогою системи пошуку ознак плагіату Unichesk.*

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.*



**Інформаційний сайт видання:** [dndivsovt.com](http://dndivsovt.com).

**Публічність та доступ:** Збірник зберігається у загальнодержавній базі даних Державної бібліотеки ім. Вернадського „Україніка наукова” та включено у довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA), Index Copernicus.

**Авторські права:** За авторами зберігаються усі авторські права та права на видання без обмежень. Збірник дозволяє користувачам: читати, завантажувати, копіювати, поширювати, друкувати та посилатися на повні тексти статей за умови зазначення авторства. Дозволяється повторне використання змісту збірника у відповідності з ліцензією Creative Commons CC-BY.



**MINISTRY OF DEFENCE OF UKRAINE  
STATE SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE  
OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT  
TESTING AND CERTIFICATION**

ISSN 2706-7386

# **SCIENTIFIC WORKS**

## **of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification**

### **Issue 2(16)**

**Founded in October, 2019**

Problematic issues of a scientific and scientific-technical nature in the field of creation, testing, assessment of the conformity of weapons and military equipment and the search for ways to solve them are reflected. The collection is intended for researchers, teachers, doctoral students, associate professors, and postgraduate students.

**Founder and publisher:**

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification

**Phone:**

+38 (068) 303 51 23

**E-mail:**

niv\_dndi@ukr.net

**Website:**

dndivsovt.com

**Address:**

18003, Cherkasy,  
Vyacheslava Chornovola street, 164A

**Cherkasy • 2023**

## EDITORIAL STAFF

### **Editor-in-Chief:**

Hennadii Pievtsov, Doctor of Engineering Science Professor,  
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,  
The Laureate of State Prize of Ukraine in Science and Technology,  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine.

### **Deputy Editor-in-Chief:**

Andrii Trystan, Doctor of Engineering Science Professor,  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine.

### **Editorial Board:**

- Oleksandr Bursala, PhD in Engineering Senior Researcher,  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine;
- Oleksii Kolomiitsev, Doctor of Engineering Science Professor,  
Honored Inventor of Ukraine,  
National Technical University is the "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
- Oleksii Leontiev, Doctor of Engineering Science Professor,  
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
- Volodymyr Maliuha, Doctor of Military Science Senior Researcher,  
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
- Viktor Nikitchenko, PhD in Engineering Senior Researcher,  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine;
- Viacheslav Ovcharenko, Doctor of Military Science Professor,  
Kyiv Institute of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
- Boguslaw Pacek, Doctor of Military Science Professor,  
Jagiellonian University, Krakow, Poland;
- Myhaylo Soroka, PhD in Engineering Associate Professor,  
Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine;
- Oleksandr Tymochko, Doctor of Engineering Science Professor,  
Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine.

### **Executive Secretary:**

Ivan Ryapolov, PhD in Engineering,  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine.

*Scientific and Technical Council State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment Testing and Certification confirmed for printing  
(record № 7 dated June, 27, 2023).*

*The Journal is inscribed to the category „E” of the List of Scientific Professional Publications of Ukraine  
(Technical and Military Sciences by specialty 255)  
maintained by orders of Ministry of Education and Science of Ukraine № 420 dated April, 15, 2021.*

*The State Registration Certificate of printed mass media  
KB № 23995-13835P dated June, 19, 2019.*

*Frequency of publication: 4 times a year.*

*All the articles that are published in the journal must be peer reviewed.*

*It is conducted anonymous both for authors and reviewers (double blind peer review).*

*The uniqueness of the texts of publications is checked with using the Unichack plagiarism signs search system.*

*The authors take responsibilities for the reliability of stated facts, quotations and other statements.*



**Website:** [dndivsovt.com](http://dndivsovt.com).

**Publicity and access:** The Digest is stored in federal abstract database of Vernadsky National Library „Ukrayinika Naukova” and included with periodical reference book Ulrich’s Periodicals Directory (USA) and the Directory, Index Copernicus.

**Author’s rights:** The authors retained all copyrights and publishing rights with no limited publications. The journal allows users: to read, download, copy, distribute, type and refer to the whole articles upon conditions of affiliation. Repeated recycling of journal contents is allowed according to Creative Commons CC-BY license.

## З М І С Т

## C O N T E N T S

*Бурцев В.В., Воронін В.В., Коломійцев О.В.,  
Волювач С.А., Рисований О.М., Калита О.В.*  
Методика ототожнення даних в системі  
інформаційного забезпечення  
зенітних ракетних підрозділів  
на основі методу інтерполяції..... 7

*Буряк С.П.*  
Перспективи розвитку основних танків Т-64,  
Т-72, Т-80 Збройних Сил України..... 14

*Варакута В.П., Баркатов І.В.,  
Тюрін В.О., Фарафонов В.С., Ряполов Є.І.*  
Тенденції розвитку систем управління військами  
з достатнім рівнем корисності розвідувально-  
управлінської інформації для створення  
інтерактивної тривимірної  
візуалізації бойових епізодів ..... 20

*Давидов І.Г., Козачук В.Л., Хаврич Г.П.*  
Рекомендації щодо вибору сучасних  
будівельних матеріалів для використання  
при відновленні твердих аеродромних  
покривів в умовах збройної агресії ..... 32

*Засядько А.А., Рижков О.В., Юла О.В., Зозуля В.М.*  
Аналіз особливостей алгоритмів обробки  
зовнішньотраєкторної інформації,  
отриманої радарною системою  
MFTR-2100/40..... 37

*Камак Ю.О., Башинський В.Г.*  
Метод прогнозування показників безвідмовності  
безпілотного авіаційного комплексу за даними  
підконтрольної експлуатації ..... 46

*Кожин О.В., Мокринський О.В., Василець Д.О.*  
Результати випробувань броньованої розвідувально-  
дозornoї машини БРДМ-2Л1(сб) з дизельним  
двигуном DOUTZ BF4M1013FC  
під час руху на типових ділянках траси.....54

*Крижанівський Є.С.,  
Перегончук В.П., Печура Д.С., Нікітченко А.О.*  
Методико-технологічні основи досліджень  
бойових частин засобів ураження ..... 60

*Павленко А.Г., Ларін В.В., Гапоненко Г.М.*  
Методичний підхід до визначення  
пріоритетності напрямів розвитку  
системи випробувань  
озброєння та військової техніки  
у контексті оборонного планування ..... 65

*Burtsev V., Voronin V., Kolomiitsev O.,  
Volyuvach S., Rysovanyi O., Kalyta O.*  
Method of data identification in the system  
of information support of anti-aircraft  
missile units based  
on the interpolation method..... 7

*Buryak S.*  
Development prospects of main tanks T-64,  
T-72, T-80 of the Armed Forces of Ukraine..... 14

*Varakuta V., Barkatov I.,  
Tiurin V., Farafonov V., Riapolov Ye.*  
Development tendencies of troop management  
systems with sufficient level of usefulness of  
intelligence information for creating  
interactive three-dimensional  
visualization of combat episodes..... 20

*Davydov I., Kozachuk V., Khavrych H.*  
Recommendations for the selection of modern  
building materials for use in the restoration  
of hard airfield surfaces in conditions  
of armed aggression ..... 32

*Zasjadko A., Ryzhkov V., Yula O., Zozulia V.*  
Analysis of the features of processing  
algorithms of external trajector  
information received of the MFTR-2100/40  
radar system ..... 37

*Kamak Yu., Bashynskiy V.*  
A method of predicting failure rates  
of an unmanned aircraft complex based  
on controlled operation data ..... 46

*Kozhyn O., Mokrynskyi O., Vasylets D.*  
Results of the testing of the BRDM-2L1(sb) armored  
reconnaissance and surveillance vehicle with a  
DOUTZ BF4M1013FC diesel engine while  
driving on typical sections of the road ..... 54

*Kryzhanivskiy Ye.,  
Perehonchuk V., Pechura D., Nikitchenko A.*  
Methodological and technological research  
basics of combat parts of means of defeat ..... 60

*Pavlenko A., Larin V., Haponenko H.*  
A methodological approach  
to determining the priority of directions  
for the development of a system  
of weapons and military technology  
tests in the context of defense planning ..... 65

<i>Собора А.І., Третяк Н.М., Олійник Н.О.</i> Виклики сьогодення щодо вдосконалення процесу мовної підготовки у Збройних Силах України ..... 70	<i>Sobora A., Tretiak N., Oliinyk N.</i> Challenges today in process improvement language training in the Armed Forces of Ukraine ..... 70
<i>Спірін Д.А., Погорілий О.С., Шинкаренко О.М.</i> Обґрунтування шляхів модернізації зенітних ракетних комплексів протиповітряної оборони Сухопутних військ ближньої дії ..... 75	<i>Spirin D., Pohorilyi O., Shynkarenko O.</i> Justification of modernization paths for short-range air defense missile systems of Land forces ..... 75
<i>Худов Г.В., Місюк Д.Л.</i> Метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу на основі алгоритму k-means ..... 82	<i>Khudov H., Misiuk D.</i> The method of segmentation of the images in the remote video monitoring system based on the k-means algorithm..... 82
<i>Чебаков О.М., Гайдак В.П., Дирман Ю.В., Гайдак І.Г.</i> Перспективи створення та використання макетів озброєння та військової техніки ..... 90	<i>Chebakov O., Haydak V., Dyrman Yu., Haydak I.</i> Prospects of creation and use of models of weapons and military equipment..... 90
<i>Чупруна В., Cherednikov O., Fedenko V.</i> Application of decomposition methods in tests of complex military equipment ..... 97	<i>Чуприна В.М., Чередніков О.М., Феденько В.М.</i> Застосування методів декомпозиції при випробуваннях складної військової техніки ..... 97
<i>Ряполов І., Bodnar S., Sylva I.</i> Synthesis of signals for multi-frequency radar with parameters determined by real interference situation ..... 103	<i>Ряполов І.Є., Боднар С.І., Сила І.М.</i> Синтез сигналів для багаточастотних РЛС з параметрами, що визначаються реальною перешкодовою обстановкою ..... 103
<b>Алфавітний покажчик ..... 108</b>	<b>Alphabetical index ..... 108</b>

В.В. Бурцев<sup>1</sup>, В.В. Воронін<sup>1</sup>, О.В. Коломійцев<sup>2</sup>,  
С.А. Волювач<sup>1</sup>, О.М. Рисований<sup>2</sup>, О.В. Калита<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

## МЕТОДИКА ОТOTOЖНЕННЯ ДАНИХ В СИСТЕМІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ПІДРОЗДІЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ

Питання щодо прийняття своєчасних рішень в системі управління зенітними ракетними підрозділами з метою забезпечення швидкого виявлення повітряних цілей (ПЦ) та їх своєчасного обстрілу на великих відстанях потребують постійної уваги від військових фахівців провідних країн світу. В статті приведено результати розробки методики ототожнення даних в системі інформаційного забезпечення зенітних ракетних підрозділів на основі методу інтерполяції. Об'єктом дослідження є процес ототожнення даних в системі інформаційного забезпечення зенітних ракетних підрозділів. Предметом дослідження є методи інтерполяції даних. Метою наукової роботи є розробка методики ототожнення даних в системі інформаційного забезпечення зенітних ракетних підрозділів на основі методу інтерполяції. Розроблено алгоритм, який реалізує методику ототожнення даних цілевказівки пункту управління (ПУ) зенітних ракетних військ (ЗРВ), отриманих за даними від радіотехнічних військ (РТВ), з даними власної або приданої станції розвідки та цілевказівки (СРЦ) підрозділу та дозволяє підвищити точність бойової інформації. Для визначення, що відмітки від цілі, які надійшли від СРЦ та від ПУ військової частини ЗРВ є відмітками однієї цілі, проводиться процедура інтерполяції за умови, що отримані дані з обох джерел є вторинною інформацією вектору спостереження цілі. Сама ж процедура інтерполяції включає у себе формування просторового стробу ототожнення та проведення порівняння траєкторії руху цілі, отриманої за трасовими даними власної (що забезпечує) СРЦ, та інтерпольованими даними руху цілі відносно останніх даних зовнішнього цілевказівки у зворотному напрямку. Даний алгоритм може бути застосовано для реалізації відповідних завдань у комплексі засобів автоматизації ПУ військових частин ЗРВ, автоматизованих робочих місць командирів підрозділів ЗРВ, що дозволить зменшити час на пошук та виявлення ПЦ станцією наведення ракет зенітного ракетного комплексу та безпосередньо підвищити вогневу продуктивність даних підрозділів.

**Ключові слова:** повітряна ціль; радіолокаційна інформація; трасові дані; лінійна екстраполяція; ототожнення даних; інтерполяція; апроксимуюча функція; метод найменших квадратів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз системи інформаційного забезпечення підрозділів зенітних ракетних військ (ЗРВ) показує, що інформація в системі видається з невисокою точністю за рахунок великого часу її запізнення (до декілька десятків секунд) [1–3]. Ряд заходів, що застосовані для підвищення її точності, а саме використання спеціального програмного забезпечення (СПЗ), зменшили час запізнення даної інформації. Однак, цього недостатньо для прийняття своєчасних рішень в системі управління зенітними ракетними підрозділами з метою забезпечення швидкого виявлення повітряних цілей (ПЦ) та забезпечення їх обстрілу на великих дальностях [4].

Пропонується здійснювати ототожнення даних цілевказівок пунктів управління (ПУ) ЗРВ, отриманих від частин або підрозділів радіотехнічних військ (РТВ), з даними власної або приданої станції розвідки та цілевказівки (СРЦ) зенітного ракетного підрозділу.

Результатом ототожнення є забезпечення мінімального часу затримки інформації (до десятка секунд), що забезпечить високу її достовірність та мінімальні затрати часу на виявлення і обстріл ПЦ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] викладено принципи інформаційного забезпечення зенітних ракетних підрозділів при веденні бойових дій в єдиному інформаційному просторі.

У роботі [2] наведено методи обробки радіолокаційної інформації (РЛІ) в автоматизованому робочому місці командира зенітного ракетного підрозділу за даними різних джерел інформації. Запропоновано у якості пріоритетного джерела інформації використовувати СРЦ або придану станцію розвідки.

У роботі [3] розглядаються підходи щодо удосконалення інформаційного забезпечення ПУ військової частини ЗРВ за рахунок зміни основного джерела РЛІ на більш точне або введення додаткового джерела РЛІ за рахунок РЛС 35Д6.

Однак, у розглянутих працях не вирішене

основне завдання – це підвищення точності (достовірності) отриманої від вищестоячого ПУ військової частини ЗРВ РЛІ за даними РТВ. Тобто, підвищення точності РЛІ за рахунок зменшення або усунення часу її запізнення.

**Метою статті** є розробка методики ототожнення даних в системі інформаційного забезпечення зенітних ракетних підрозділів на основі методу інтерполяції.

## Виклад основного матеріалу

Причиною недостатньої точності інформації при її запізненні є застосований у комплексі засобів автоматизації (КЗА) кожного ПУ РТВ та ЗРВ метод лінійної екстраполяції даних трас цілей, які виявлені передовою РЛС РТВ, на момент їх видачі наступному споживачу [5].

ПЦ, що рухається зі швидкістю 300 м/с за 60 с подолає відстань у 18 км, а якщо швидкість цілі (на середніх та великих висотах) 600 м/с, то вона подолає відстань – 36 км (рис.1).

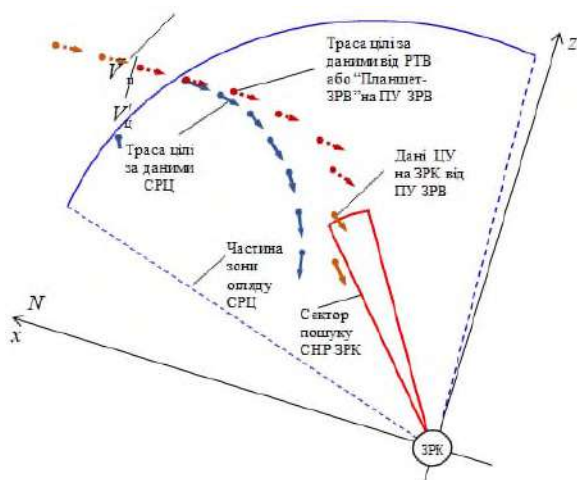


Рис.1. Траси польоту цілі за даними бойової РЛІ від частини РТВ або СПЗ “Віраж-планшет” та за даними СРЦ підрозділу ЗРВ  
Джерело: розроблено авторами.

Перейдемо до розв’язання задачі.

На апаратуру зенітного ракетного комплексу (ЗРК) одночасно надходить цілевказівка від ПУ військової частини ЗРВ за даними РТВ та дані СРЦ підрозділу, що призводить до збільшення кількості відміток і трас від однієї ПЦ на індикаторі робочого місця командира підрозділу ЗРВ, тобто збільшення масивів даних про цілі для їх обробки.

Так, на рис.2 показано траси однієї цілі, отримані від двох джерел:

- за даними СРЦ зенітного ракетного дивізіона (зрди) С-125М1;
- за даними ПУ військової частини ЗРВ або СПЗ “Віраж-планшет”.

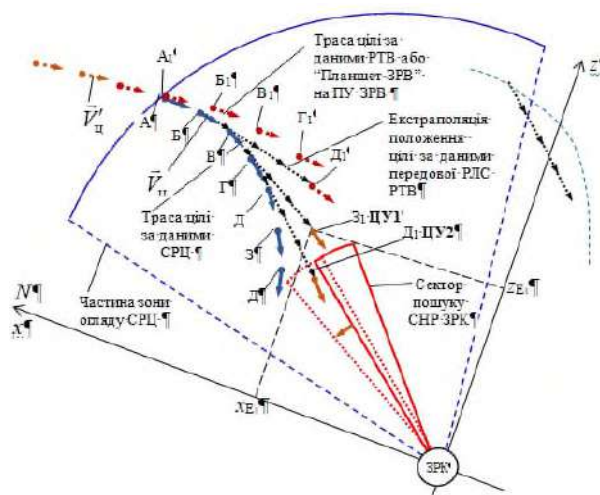


Рис.2. Ототожнення даних РЛІ від декількох джерел шляхом інтерполяції  
Джерело: розроблено авторами.

Найменше запізнення даних (до десятка секунд) забезпечується при відсутності проміжних пунктів обробки РЛІ. Тобто, при їх отриманні безпосередньо від СРЦ підрозділу ЗРВ.

Для того, щоб знати, що відмітки від ПЦ, які надійшли від СРЦ та від ПУ частини ЗРВ (СПЗ “Віраж-планшет”) є відмітками однієї цілі, пропонується провести процедуру інтерполяції за умови, що отримані дані з обох джерел є вторинною інформацією вектору спостереження цілі: координати в прямокутній системі координат (ПСК)  $x_{Ц}, z_{Ц}, y_{Ц}$  та швидкості їх зміни  $\dot{x}_{Ц}, \dot{z}_{Ц}, \dot{y}_{Ц}$ .

Процедура інтерполяції включає в себе формування просторового стробу ототожнення та проведення порівняння траєкторії руху цілі, отриманої за трасовими даними власної (що забезпечує) СРЦ та інтерпольованими даними руху цілі відносно останніх даних зовнішнього ЦУ (точка  $E_1$ , рис.2) у зворотному напрямку.

Задача вирішується у обох площинах: горизонтальній та вертикальній.

Для прикладу розглянуто вирішення задачі ототожнення ПЦ у горизонтальній площині.

Для проведення вказаного порівняння у площині  $XOZ$  будуються рівняння двох трендів:

- інтерпольованої траєкторії руху ПЦ за останніми даними зовнішнього ЦУ;
- траєкторії руху ПЦ за даними СРЦ.

Перше рівняння інтерпольованої траєкторії руху ПЦ в координатах площини  $XOZ$  для будь-якої точки, наприклад, з координатами  $(x_{3l}, z_{3l})$  є прями наступного виду:

$$x - x_{3l} = k(z - z_{3l}), \quad (1)$$

де  $k = \frac{\dot{x}_{3l}}{\dot{z}_{3l}}$  – коефіцієнт пропорційності, який можна знайти як відношення швидкостей зміни координат  $\dot{x}_{3l}$  і  $\dot{z}_{3l}$ , так, що  $k = \frac{\dot{x}_{3l}}{\dot{z}_{3l}}$ .

Тоді, за останніми даними зовнішнього ПУ при  $\dot{z}_{ЦУ} \neq 0$  рівняння (2) має наступний вигляд:

$$x(z) = x_{ЦУ} + \frac{\dot{x}_{ЦУ}}{\dot{z}_{ЦУ}}(z - z_{ЦУ}), \quad (2)$$

а для використання рівняння (3) при  $\dot{z}_{ЦУ} = 0$  слід прийняти  $\dot{z}_{ЦУ} = 0,0001$ .

Друге рівняння тренду траєкторії руху ПЦ за даними власної СРЦ (що забезпечує РЛС) будується на основі процедури апроксимації, яка включає у себе два етапи:

– вибір типу апроксимуючої функції (це може бути багаточлен ступеня  $n$ , зокрема, при  $n = 1$  (це пряма), при  $n = 2$  (це парабола) або більших  $n$ , більш складні функції);

– вибір параметрів (коефіцієнтів) апроксимуючої функції багаточлена, що забезпечують найбільше наближення апроксимуючої функції до початкових даних.

При цьому, обов'язково має бути заздалегідь сформульований критерій оцінювання якості наближення.

Отже, якість апроксимації може бути оцінена двома показниками: точність апроксимації та простота апроксимуючої функції, причому ці показники можуть бути суперечливі.

Апроксимуючою функцією може бути заздалегідь відома і близька за видом функція або, наприклад, ступеневий багаточлен:

$$\begin{aligned} x_{СРЦ}(x) &= a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_n z^n = \\ &= \sum_{j=0}^n a_j z^j \end{aligned}, \quad (3)$$

де  $z$  – змінна координата ПЦ власної СРЦ по осі 0Z;

$x$  – змінна координата ПЦ власної СРЦ по осі 0X;  $a_j, j=0, 1, 2, 3, \dots$ ;

$n$  – коефіцієнти багаточлена.

У більшості випадків достатньо обмежитися трьома або чотирма складовими багаточлена ( $n = 0, 1, 2$ , або 3).

Для знаходження коефіцієнтів багаточлена доцільно скористуватися методом найменших квадратів, приклад використання якого надано у [6].

Будується таблиця бази даних координат, що отримані від СРЦ з моменту виявлення ПЦ, яка наведена у табл.1.

Таблиця 1

Бази даних координат виявлених ПЦ СРЦ

$x_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_k$
$z_i$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	....	$z_k$

Критерій найменших квадратів означає мінімізацію суми  $U_{СРЦ}$  квадратів відхилень значень апроксимуючої функції в  $k$  точках  $x_i$  від значень  $z_i$ :

$$U_{СРЦ} = \sum_{i=1}^k \left( x_i - \sum_{j=0}^n a_j z_i^j \right)^2 \rightarrow \min; \quad n \leq k, \quad (4)$$

де змінними є коефіцієнти багаточлена  $a_j$ .

Необхідний мінімум має місце, коли дорівнюють нулю усі  $(n+1)$  часткові похідні функції (4), тобто при  $\frac{\partial U_{СРЦ}}{\partial a_j} = 0$ .

Часткова похідна при  $j = m, m = 0, \dots, (n+1)$  має наступний вигляд:

$$\frac{\partial U_{СРЦ}}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=1}^k \left( x_{СРЦi} - \sum_{j=0}^n a_j z_i^j \right) z_i^m, \quad (5)$$

і, таким чином, реалізація вибраного критерію зводиться до розв'язання системи  $(n+1)$  лінійних рівнянь з  $(n+1)$  невідомими  $a_j$ :

$$\sum_{i=1}^k \left( x_i z_i^m - \sum_{j=0}^n a_j z_i^{j+m} \right) = 0, \quad m = 0, 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Система рівнянь при  $n=2$  та значень апроксимуючої функції у  $k=5$  точках  $x_i$  має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 \left( x_i z_i^0 - \sum_{j=0}^2 a_j z_i^j \right) = 0; \\ \sum_{i=1}^5 \left( x_i z_i^1 - \sum_{j=0}^2 a_j z_i^{j+1} \right) = 0; \\ \sum_{i=1}^5 \left( x_i z_i^2 - \sum_{j=0}^2 a_j z_i^{j+2} \right) = 0. \end{cases} \quad (7)$$

або:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^5 \left( a_0 + a_1 z_i + a_2 z_i^2 - x_i z_i^0 \right) = 0; \\ \sum_{i=1}^5 \left( a_0 z_i + a_1 z_i^2 + a_2 z_i^3 - x_i z_i^1 \right) = 0; \\ \sum_{i=1}^5 \left( a_0 z_i^2 + a_1 z_i^3 + a_2 z_i^4 - x_i z_i^2 \right) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

Після внесення знаку суми у дужки можливо отримати:

$$\begin{cases} 5a_0 + a_1 \sum_{i=1}^5 z_i + a_2 \sum_{i=1}^5 z_i^2 - \sum_{i=1}^5 x_i z_i^0 = 0; \\ a_0 \sum_{i=1}^5 z_i + a_1 \sum_{i=1}^5 z_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^5 z_i^3 - \sum_{i=1}^5 x_i z_i^1 = 0; \\ a_0 \sum_{i=1}^5 z_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^5 z_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^5 z_i^4 - \sum_{i=1}^5 x_i z_i^2 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

За умови, якщо ввести позначення:

$$\begin{aligned} y_1 &= \sum_{i=1}^5 z_i, \\ y_2 &= \sum_{i=1}^5 z_i^2, \\ y_3 &= \sum_{i=1}^5 z_i^3, \\ y_4 &= \sum_{i=1}^5 z_i^4, \\ y_5 &= \sum_{i=1}^5 z_i^5, \\ v_0 &= \sum_{i=1}^5 x_i; v_1 = \sum_{i=1}^5 x_i z_i^1; v_2 = \sum_{i=1}^5 x_i z_i^2, \end{aligned} \quad (10)$$

то рівняння (9) приймає наступний вигляд:

$$\begin{cases} 5a_0 + a_1 y_1 + a_2 y_2 - v_0 = 0; \\ a_0 y_1 + a_1 y_2 + a_2 y_3 - v_1 = 0; \\ a_0 y_2 + a_1 y_3 + a_2 y_4 - v_2 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Шляхом розв'язання рівняння (11) та наступної підстановки позначень (10) можливо знайти коефіцієнти  $a_0, a_1, a_2$  і отримане перше рівняння у вигляді, наприклад, поліному другого ступеню:

$$x_{CPЦ}(x) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2. \quad (12)$$

Для знаходження коефіцієнтів апроксимуючої функції методом найменших квадратів існують відпрацьовані алгоритми і програми обчислювальних засобів. Наприклад, така підпрограма існує у MS EXCEL.

Ототожнення координат двох траєкторій проводиться через сумісне розв'язання рівнянь (2) і (12) шляхом знаходження значень координат  $x_0$  і  $z_0$ , для яких виконується мінімум різниці функцій:

$$\min |x(z) - x_{CPЦ}(z)| = \Delta_{\min}. \quad (13)$$

Для випадку, що розглядається, рішення (13) може бути знайдено через знаходження мінімуму похідної різниці функцій:

$$\left( (x(z) - x_{CPЦ}(z))' \right)_z = 0. \quad (14)$$

Рішення (14) для рівнянь (2) і (12) дає результат координату  $z_0$  даних інтерполяційного рівняння у районі ототожнення з треком СРЦ:

$$z_0 = \frac{\dot{x}_{ЦУ} - a_1 \dot{z}_{ЦУ}}{2a_2 \dot{z}_{ЦУ}}, \quad (15)$$

а після підстановки результату (15) у (2) знаходиться  $x_0$ :

$$x_0(z_0) = x_{ЦУ} + \frac{\dot{x}_{ЦУ}}{\dot{z}_{ЦУ}} (z_0 - z_{ЦУ}) \quad (16)$$

Таким чином, знайдені координати  $z_0$  і  $x_0$  інтерполяційного рівняння у районі ототожнення, для якої забезпечується мінімальна відстань між траєкторіями ПЦ у горизонтальній площині, отриманими від передової РЛС РТВ та СРЦ підрозділу ЗРВ, а тому різниця рівнянь (12) і (2) у точці з координатою  $z_0$  дає мінімум координат цілі у районі ототожнення у горизонтальній площині:

$$\Delta_{F\min} = |x_{ЦУ_0}(z_0) - x_{CPЦ_0}(z_0)|. \quad (17)$$

Аналогічно (17) визначається різниця висот польоту цілі за даними передової РЛС РТВ та СРЦ підрозділу ЗРВ у районі ототожнення координати  $z_0$ :

$$\Delta_{B\min} = |y_{ЦУ_0}(z_0) - y_{CPЦ_0}(z_0)|. \quad (18)$$

Наступним кроком проводиться перевірка ймовірності того, що мінімум різниці траєкторій  $\Delta_{\min}$  відповідає стробу ототожнення із заданою ймовірністю:

$$\Delta_{F\min} \leq S_F \text{ і } \Delta_{B\min} \leq S_B, \quad (19)$$

де  $S_F$  і  $S_B$  – строби (області) ототожнення для горизонтальної та вертикальної площин.

Розмір стробу ототожнення визначається допустимою ймовірністю попадання координатних даних однієї цілі, отриманих від двох РЛС, у строб [7].

У свою чергу, ця ймовірність обумовлена як похибками оцінки вектору спостереження, так і похибками екстраполяції та інтерполяції.

Враховуючи високу точність передавання інформації за прямокутними координатами ( $\Delta x = \Delta z = \Delta y = 100 \text{ м} \ll 1500 \text{ м}$ ), похибки екстраполяції та інтерполяції можна не враховувати.

Сумісний закон розподілу похибок оцінок вектору спостереження РЛС РТВ та СРЦ за умови однакової координати цілі  $z_0$  може бути записаний у наступному вигляді [9–10]:

$$p(\Delta x / z_0) = \frac{1}{2\pi\sqrt{\sigma_{ЦУx_0}^2 + \sigma_{CPЦx_0}^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[ \frac{(x_{ЦУx_0} - x_{CPЦx_0})^2}{\sigma_{ЦУx_0}^2 + \sigma_{CPЦx_0}^2} \right] \right\}, \quad (20)$$

де  $\sigma_{ЦУx_0}^2$  і  $\sigma_{CPЦx_0}^2$  – дисперсії похибок вимірювання координат ПЦ у РЛС та СРЦ

відповідно у координатах ПСК у горизонтальній площині;  $x_{ЦУ\gamma_0}$  і  $x_{СРЦ\gamma_0}$  – значення оцінок вимірювання координат ПЦ СРЦ та передової РЛС.

Аналогічно для вертикальної площини (для координати  $y$ ) сумісний закон розподілу похибок оцінок вектору спостереження РЛС РТВ та СРЦ за умови однакової координати ПЦ  $z_0$  може бути записаний у наступному вигляді:

$$p(\Delta y / z_0) = \frac{1}{2\pi\sqrt{\sigma_{ЦУ\gamma_0}^2 + \sigma_{СРЦ\gamma_0}^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(x_{ЦУ\gamma_0} - x_{СРЦ\gamma_0})^2}{\sigma_{ЦУ\gamma_0}^2 + \sigma_{СРЦ\gamma_0}^2}\right]\right\}, \quad (21)$$

де  $\sigma_{ЦУ\gamma_0}^2$  і  $\sigma_{СРЦ\gamma_0}^2$  – дисперсії похибок вимірювання координат ПЦ передовою РЛС та СРЦ підрозділу ЗРВ відповідно у координатах ПСК у горизонтальній площині;  $x_{ЦУ\gamma_0}$  і  $x_{СРЦ\gamma_0}$  – значення оцінок вимірювання координат ПЦ передовою РЛС та СРЦ підрозділу ЗРВ відповідно у координатах ПСК у горизонтальній площині.

Розглянемо можливі значення дисперсії похибок вимірювання координат РЛС.

Будь-яка РЛС вимірює координати ПЦ з похибками, дисперсії (або середні квадратичні відхилення) яких не повинні перевищувати встановлених у технічних формулярах величин. Причому, такі дисперсії вказують як на похибки по первинним координатам, так і на похибки даних вторинної інформації вектору спостереження кожної ПЦ: дисперсії похибок в координатах  $\sigma_x^2$ ,  $\sigma_z^2$ ,  $\sigma_y^2$  та дисперсії похибок швидкостей їх зміни  $\dot{\sigma}_x^2$ ,  $\dot{\sigma}_z^2$ ,  $\dot{\sigma}_y^2$ .

Наприклад, у РЛС 35Д6 максимальні середньоквадратичні похибки (СКП) вимірювання азимуту і дальності однакові та для усієї зони становлять відповідно  $\sigma_\beta = 20'$ ,  $\sigma_r = 250$  м, що в перерахунку на координати ПСК у залежності від дальності до ПЦ складають до  $\sigma_x = \sigma_z = (1200 - 1800)$  м.

СКП вимірювання висоти ПЦ  $h$  (координата  $y$ ) залежать ще й від дальності до цілі і можуть змінюватися від 400 м при  $r_u \leq 70$  км і  $\varepsilon_u \leq 6^\circ$  (або при  $r_u \leq 20$  км і  $\varepsilon_u > 6^\circ$ ) та до 1600 м при  $r_u \leq 160$  км і  $\varepsilon_u \leq 6^\circ$  (або при  $r_u \leq 60$  км і  $\varepsilon_u > 6^\circ$ ).

Таким чином, максимальне значення СКП вимірювання висоти ПЦ може складати  $\sigma_y = 1600$  м.

Розрахунки вказують на те, що максимальне значення похибки вимірювання РЛС будь-якої площинної координати ПЦ в ПСК може досягати до 5000 м.

Відомо, що при нормальному законі розподілу похибок вимірювання ймовірності попадання в інтервал, визначений  $\pm \sigma$  відносно математичного сподівання складає 0,68, а в інтервал  $\pm 2\sigma$  – складає 0,95 [9–11].

За умови, якщо для ототожнення ПЦ встановити ймовірність 0,68, то слід встановити розмір строга у межах уточнюючого квадрата сітки протиповітряної оборони (ППО), а саме  $5 \text{ км} \times 5 \text{ км}$ .

За умови, якщо для ототожнення ПЦ встановити ймовірність 0,95, то слід встановити розмір строга у межах малого квадрата сітки ППО, а саме  $10 \text{ км} \times 10 \text{ км}$ .

Моменти знімання даних двома РЛС можуть відрізнятися на час, близький одному оберту антени.

СКП вимірювання координат сучасних РЛС розвідки відповідають розмірам квадратів сітки ППО, яка використовується для передачі та відображення інформації оповіщення про ПЦ.

Так точність передачі та відображення інформації з використанням уточнюючих квадратів досягає  $(3 - 5) \text{ км}$ , а малого квадрата  $(8 - 10) \text{ км}$  [8].

Виходячи з того, що один оберт антени оглядової РЛС може бути 20 с або 10 с за цей час ціль, що летить зі швидкістю 600 м/с може подолати відстань 12 км або 6 км відповідно.

Таким чином, розмір строга ототожнення також можна визначати через швидкості польоту цілі. Так, для цілей, що летять з дозвуковою швидкістю розмір строга ототожнення може бути розмір уточнюючого квадрата сітки ППО  $5 \text{ км} \times 5 \text{ км}$ , а для цілей, що летять з більшими швидкостями розмір строга ототожнення може бути розмір малого квадрата сітки ППО  $10 \text{ км} \times 10 \text{ км}$ .

Для ототожнення даних трека СРЦ та інтерполяційних даних цілевказівки проводиться перевірка результату за формулами (19).

Для підтвердження результату ототожнення проводяться повторні ототожнення траєкторій ПЦ при отриманні кожного наступного цілевказівки через кожні 10 с.

У випадку позитивного результату ототожнення в даних цілевказівки замінюється уся координатна інформація на координатну інформацію за даними СРЦ, що дозволяє скоротити час пошуку ПЦ станцією наведення ЗРК до мінімуму.

Алгоритм інтерполяційного ототожнення ПЦ, включає наступні операції:

а) формування по кожній ПЦ, що виявлена СРЦ, таблиці бази даних про траєкторії польоту цілі;

б) формування рівняння трека з використанням ступеневого багаточлена;

в) формування рівняння інтерполяції руху ПЦ і знаходження району ототожнення за мінімальними відхиленнями між треком та рівнянням інтерполяції руху цілі  $\Delta_{min}$  за формулою (13);

г) визначення значення координат ПЦ за даними СРЦ та із рівняння інтерполяції даних

цілевказівки у районі ототожнення;

д) визначення стробів ототожнення за формулами (20) та (21) (або за розмірами уточнюючого або малого квадрату сітки ППО у залежності від швидкостей польоту цілей), чи через задані ймовірності правильного ототожнення цілей;

е) проведення перевірки попадання координат цілі, визначених за даними СРЦ у районі ототожнення, у строби ототожнення;

є) при позитивному результаті ототожнення проводиться заміна координат ототожненої ПЦ в даних від ПУ ЗРВ, або ПУ частин (підрозділів) РТВ, або СПЗ “Віраж-планшет” даними від СРЦ (що забезпечує РЛС).

## Висновки

1. Таким чином, розроблено алгоритм, що дозволяє покращити точність бойової інформації за рахунок ототожнення даних цілевказівки ПУ ЗРВ, отриманих від РТВ, з даними власної або приданої

СРЦ підрозділу.

2. Для визначення, що відмітки від ПЦ, які надійшли від СРЦ та від ПУ військової частини ЗРВ є відмітками однієї цілі, проводиться процедура інтерполяції за умови, що отримані дані обох джерел є вторинною інформацією вектору спостереження ПЦ. Сама ж процедура інтерполяції включає у себе формування просторового стробу ототожнення та проведення порівняння траєкторії руху ПЦ, отриманої за трасовими даними власної (що забезпечує) СРЦ та інтерпольованими даними руху цілі відносно останніх даних зовнішньої цілевказівки у зворотному напрямку.

3. Даний алгоритм може бути застосовано для реалізації відповідних завдань у КЗА ПУ військових частин ЗРВ, автоматизованих робочих місцях командирів підрозділів ЗРВ, що дозволить зменшити час на пошук та виявлення ПЦ станцією наведення ракет ЗРК та безпосередньо підвищити вогневу продуктивність даних підрозділів.

## Список літератури

1. Галушко Ю. І., Дудуш А. С., Седишев Ю. М., Флоров О. Д. Особливості організації інформаційного забезпечення підрозділів ЗРВ при веденні бойових дій в єдиному інформаційному просторі. *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. Вип. 1(29). С. 12–16.
2. Бурцев В. В., Воронін В. В. Обробка радіолокаційної інформації в АРМК КП зрнд: зб. тез доповідей XII ВНК. Житомир: ЖВІРЕ, 2000. С. 54–55.
3. Воронін В. В., Косенко А. В. Розробка пропозицій щодо удосконалення інформаційного забезпечення КП ЗРС С-300П. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доповідей VIII наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба. Х.: ХУПС, 2012. С. 115.
4. Ярош С. П., Воронін В. В., Єрмошин М. О. та ін. Особливості застосування підрозділів зенітних ракетних військ у ситуації ескалації воєнного конфлікту на території держави: навчальний посібник. Х.: ХУПС, 2015. 140 с.
5. Бурцев В. В. Системотехнічні основи побудови та бойового застосування комплексів і систем зенітного ракетного озброєння: навчальний посібник. Х.: ХНУПС, 2018. 424 с.
6. Бурцев В. В. Основи воєнно-наукових досліджень комплексів і систем зенітного озброєння зенітних ракетних військ: навчальний посібник. Х.: ХУПС, 2012. 204 с.
7. Войтович С. А., Турсунходжаєв Х. А. Траєкторна обробка радіолокаційної інформації: навчальний посібник: 2-ге видання, допрацьоване. Х.: ХУПС, 2008. 112 с.
8. Неупокоев Ф. К. Стрельба зенітними ракетами. м.: Воениздат, 1991.
9. Дулевич В. Е. Теоретические основы радиолокации: учебное пособие для студ. м.: Сов. радио, 1964. 732 с.
10. Запара Д. М., Новіченко С. В., Коломійцев О. В., Пічугін І. М., Воронін В. В., Деменко М. П., Савельєв А. М., Третяк В. Ф., Кривчун В. І., Довгалюк Д. С. Класифікація способів і тактичних прийомів ведення протиповітряного бою. *Science in the Environment of Rapid Changes*: 2 між. наук.-практ. конф.: 6–8 грудня 2023 р.: Брюссель, Бельгія. С. 365–371.
11. Бурцев В. В., Воронін В. В., Волювач С. А., Запара Д. М., Савельєв А. М., Новіченко С. В., Деменко М. П., Третяк В. Ф., Кривчун В. І., Довгалюк Д. С. Принципи формування імітованих сигналів у режимах пошуку цілей в РЛС, що застосовуються для вирішення телеметричних завдань. *Scientific Collection “InterConf+”*. 2023. Вип. 32(151). С. 741–760.
12. Aloslyn, H., Kolomiitsev, O., & Tretiak, V. (2020). Osoblyvosti optimalnoho syntezu bahatoshkalnykh informatsiino-vumirivvalnykh system. *Zbirnyk naukovykh prats LONOS*. 2020. С. 81–84. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.23>.
13. Кудряшов В., Коломійцев О., Машталір В., Опенько П., Олійник Р. Модель протиповітряного бою як елемент системи управління вогнем підрозділами військ протиповітряної оборони сухопутних військ. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2019. Вип. 1(1). С. 93–100. URL: <https://dndivsovt.com/index.php/journal/article/view/193>.

Надійшла до редколегії 01.06.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

**Бурцев Валерій Вікторович**  
кандидат технічних наук професор  
професор кафедри  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8002-4090>

### Information about the authors:

**Valerii Burtsev**  
PhD in Engineering Professor  
Professor of the Department  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8002-4090>

**Воронін Віктор Валерійович**

кандидат технічних наук доцент  
старший науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5511-1080>

**Коломійцев Олексій Володимирович**

доктор технічних наук професор  
Заслужений винахідник України  
професор кафедри  
Національного технічного університету "ХПІ",  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

**Волювач Сергій Анатолійович**

кандидат технічних наук  
науковий співробітник  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4228-5043>

**Рисований Олександр Миколайович**

кандидат технічних наук доцент  
професор кафедри  
Національного технічного університету "ХПІ",  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0616-1617>

**Калита Олександр Вікторович**

старший викладач кафедри  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0638-4282>

**Viktor Voronin**

PhD in Engineering Associate Professor  
Senior Research  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5511-1080>

**Oleksii Kolomiitsev**

Doctor of Engineering Science Professor  
Honored Inventor of Ukraine  
Professor of Department  
of the National Technical University "KhPI",  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

**Serhii Volyuvach**

PhD in Engineering  
Researcher  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4228-5043>

**Oleksandr Rysovanyi**

PhD in Engineering Associate Professor  
Professor of Department  
of the National Technical University "KhPI",  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0616-1617>

**Oleksandr Kalyta**

Senior Lecturer of the Department  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0638-4282>

**METHOD OF DATA IDENTIFICATION IN THE SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE UNITS BASED ON THE INTERPOLATION METHOD**

Burtsev V., Voronin V., Kolomiitsev O., Volyuvach S., Rysovanyi O., Kalyta O.

*The issue of making timely decisions in the control system of anti-aircraft missile units in order to ensure the rapid detection of air targets and their timely firing at long distances requires constant attention from military specialists of the leading countries of the world. The article presents the results of developing a methodology for identifying data in the information support system of anti-aircraft missile units based on the interpolation method. The object of research is the process of data identification in the information support system of anti-aircraft missile units. The subject of research is data interpolation methods. The purpose of the research is to develop a methodology for identifying data in the information support system of anti-aircraft missile units based on the interpolation method. Conclusions. An algorithm has been developed that implements a methodology for identifying the targeting data of the air defense missile control center, obtained from data from radio engineering troops, with the data of the unit's own or attached reconnaissance and targeting station and allows to increase the accuracy of combat information. To determine that the marks from the target received from the reconnaissance and targeting station and from the control center of the air defense missile unit are marks of the same target, an interpolation procedure is performed, provided that the data received from both sources is secondary information of the target observation vector. The interpolation procedure itself involves the formation of a spatial identification strobe and a comparison of the target trajectory obtained from the trace data of the own (supporting) reconnaissance and targeting station and the interpolated data of the target's movement relative to the latest external targeting data in the opposite direction. This algorithm can be used to implement the relevant tasks in the complex of automation tools for the control center of military units of air defense missile forces, automated workstations of commanders of air defense missile forces, which will reduce the time for searching and detecting air targets by the missile guidance station of the air defense missile system and directly increase the firepower of these units.*

**Keywords:** air target; radar information; trace data; linear extrapolation; data fitting; interpolation; approximation function; least squares method.

С.П. Буряк

Національний університет оборони України, м. Київ

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОСНОВНИХ ТАНКІВ Т-64, Т-72, Т-80 ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В статті обґрунтовуються рекомендації щодо можливих напрямів модернізації основних танків, що перебувають на озброєнні Збройних Сил України. Експлуатуючи техніку, військовий не повинен думати про гарантійні зобов'язання, якщо вона вийде з ладу. Він має бути впевненим у машині і почувати захищеним.

Для обґрунтування вибору найбільш раціональних варіантів модернізації основних танків ("Ятаган", "Оплот", "Булат") з урахуванням як потреб Збройних Сил України, так і можливостей вітчизняної танкобудівної і танкоремонтної промисловості, автором запропоновано методика порівняльного оцінювання однотипних альтернатив танків та визначення перспектив їх розвитку, призначена для порівняння та дає змогу визначити комплексний показник, що враховує усі існуючі властивості, оцінити відповідність існуючої системи технічних вимогам та державних стандартів, а також порівняти вітчизняні й зарубіжні варіанти альтернатив танків. Для проведення порівняння варіантів альтернатив основних (бойових) танків пропонується комплексно застосовувати методи ранжирування та прогресуючого еталону, що покладені в основу методики.

Запропоновані заходи дадуть змогу підвищити бойові спроможності танкових військових частин і підрозділів, зменшити у військах кількість модифікацій основних танків, що спростить їх експлуатацію, забезпечити завантаження державним оборонним замовленням підприємства вітчизняної оборонної промисловості, нароцувати досвід міжнародної кооперації при виробництві ОБТ, вкрай потрібний для подальшої інтеграції України в Євроатлантичний безпековий простір, раціонально використати наявні обмежені ресурси в інтересах підвищення спроможностей ЗС України в умовах війни з противником, що кількісно переважає нашу країну за більшістю показників.

**Ключові слова:** основний (бойовий) танк; модернізація; спроможність озброєння і військової техніки; танкобудівна та танкоремонтна галузь; бойовий потенціал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід воєнних конфліктів ХХ – ХХІ століть свідчить про зростання ролі танкових військ як основної ударної сили сухопутних військ. Ця теза в черговий раз була підтверджена під час відсічі повномасштабної агресії російської федерації у 2022 році. Відомо, що воєнно-політичне керівництво України приклало значні зусилля для отримання згоди від своїх західних союзників щодо надання сучасних танків. Водночас, у світі та в Україні ще не вичерпані запаси основних танків, розроблених в СРСР. Ці танки, розроблення яких почалось наприкінці 1950-х років, потребують суттєвої модернізації та приведення до вимог сучасного бою. Виконання цього завдання потребує обґрунтування раціональних варіантів їх модернізації та аналізу можливостей щодо її проведення. Вибору варіантів модернізації сприятиме, зокрема, й вивчення та узагальнення історичного досвіду їх розвитку. Однак, аналіз вітчизняної та іноземної літератури, присвяченої історії танкобудування, свідчить про те, що проблематика розвитку основних типів танків в Україні у пострадянський період на сьогодні практично досліджена не повністю, що не дає змогу розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо

обрання раціональних шляхів оновлення танкового парку Збройні Сили України. Водночас, результати, одержані під час проведення воєнно-історичного дослідження розвитку озброєння і військової техніки можуть суттєво залежати від позиції автора, його особистих поглядів та вподобань. Таким чином, пошук підходів до обґрунтування раціональних варіантів модернізації основних танків ЗС України на даний час залишається актуальним. На нашу думку, поєднання історичних та математичних методів, перевірка результатів воєнно-історичного дослідження методами математичного моделювання дасть змогу одержати більш об'єктивні результати. Такий підхід є відносно новим при проведенні воєнно-історичного дослідження, але він вже підтвердив свою життєздатність [1–2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню історичних аспектів та перспективних напрямків розвитку бронетанкової зброї присвячена велика кількість наукових робіт та публікацій як вітчизняних так і закордонних фахівців [3–6]. У цих працях завдання щодо наукового обґрунтування перспективних напрямків розвитку основних типів танків із використанням математичного апарату не ставилось, а отже і не вирішувалось.

Наукові методи, що використовуються для

дослідження складних систем воєнного призначення розглянуті в [7–9]. Прикладний аспект застосування методів порівняльного аналізу досить повно викладено в публікаціях вітчизняних науковців [10–13] Коцюруби В.І., Ковалю В.В., Сахно В.М., Даценко І.П., Шишанова М.О. Однак, в цих працях запропоновано науково-методичні підходи стосовно озброєння та військової техніки за номенклатурою сил підтримки [10–11], а також порівняльної оцінки матеріалів корпусів панцерних спеціалізованих автомобілів [12–13].

Отже, вказані методики можуть бути використані, як базові, для обґрунтування перспективних напрямків розвитку основних типів танків. При цьому, потребує уточнення сукупність показників, які відповідають характеристикам сучасних танків, а також їх важливість стосовно формування бойових можливостей перспективних зразків вказаних бойових одиниць.

**Метою статті** є вибір сукупності показників та критеріїв, удосконалення методики та обґрунтування перспективних напрямків розвитку основних типів танків за умов відсутності визначених тактико-технічних вимог.

## Виклад основного матеріалу

В результаті проведеного дослідження встановлено, що в Україні відбувався доволі активний процес модернізації всіх типів основних танків на основі базових платформ, створених в СРСР. Цьому сприяли наявність власної конструкторської школи, виробничої та ремонтної бази, наявність розвиненої оборонної промисловості, спроможної у стислі терміни освоїти виробництво більшості необхідних складових. Геополітичні зміни, що відбулися після розпаду СРСР і завершення “холодної війни”, сприяли можливості застосування окремих виробів, вузлів, агрегатів та комплектуючих, які вироблялись у провідних європейських країнах-членах НАТО, що для радянської промисловості було майже неможливо. Водночас, також враховувався і досвід

модернізації основних танків, що залишилися у спадок від СРСР в інших країнах та досвід їх застосування у воєнних конфліктах кінця XX – початку XXI ст.

Враховання історичного досвіду розвитку основних танків дало змогу створити необхідну базу, спираючись на яку є можливість сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо вибору найбільш раціональних шляхів оновлення танкового парку ЗС України шляхом модернізації наявних танків, тих, що можуть бути поставлені із запасів європейських країн-членів НАТО, колишніх членів ОВД, а також тих, що були захоплені в якості трофеїв, потребують відновлювального ремонту, під час якого може бути проведена також і їх модернізація за визначеною програмою.

Для обґрунтування рекомендацій щодо вибору оптимальної програми модернізації різних типів танків необхідно провести порівняльний аналіз їх комплексних спроможностей. При цьому, на відміну від порівняння окремих ТТХ, аналіз їх комплексних спроможностей дасть змогу обрати найбільш перспективний варіант модернізації, спираючись на інтегральну характеристику, що характеризує конкретний зразок ОВТ всебічно, з урахуванням всієї сукупності його ТТХ.

З метою всебічної та об’єктивної оцінки різних варіантів програм модернізації основних танків типів Т-64, Т-72 та Т-80, доступних ЗС України як в теперішній час, так і у найближчій перспективі, дисертантом був застосований програмний продукт, розроблений групою фахівців Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України під керівництвом д.т.н. старшого наукового співробітника В.В. Биченкова під час виконання науково-дослідної роботи шифр “Розподіл-2”. Для проведення порівняльного аналізу було використано підпрограму “Винайдення загальних формульних виразів оцінки комплексної спроможності типових зразків ОВТ, зброї, пострілів” [14] (рис.1).

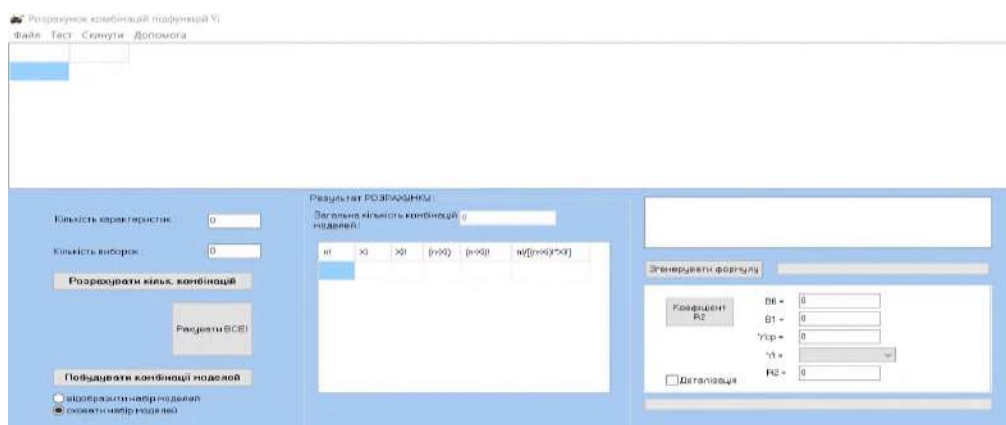


Рис.1. Загальний вигляд інтерфейсу підпрограми “Спроможність ОВТ”, НДР “Розподіл-2”

Для оцінки комплексних спроможностей вони були попередньо розділені на окремі функціональні групи.

До групи “Керівництво та управління” увійшли такі характеристики, як дальність зв’язку, що забезпечувала наявна радіостанція та наявність приймальної апаратури КРНС.

До групи “Розвідка” увійшли дальність виявлення цілі прицілом-далекоміром у денний час та наявність тепловізору.

До групи “Розгортання та мобільність” увійшли потужність двигуна, питома потужність, максимальна швидкість по шосе, бойова маса, прохідність, що характеризувалась шириною рову, що долається.

До групи “Застосування” увійшли калібр основної зброї, темп ведення вогню за хвилину, наявність додаткового озброєння, а саме 12,7-мм кулемета, наявність комплексу ведення вогню протитанковою керованою ракетою, ефективна

дальність ведення вогню з танкової гармати БПС.

До групи “Захист та живучість” увійшли наявність КДЗ і КАЗ, багатопарова броня (від БПС).

До групи “Забезпечення” увійшли запас ходу, ємкість боєкомплекту до основної зброї, кількість членів екіпажу танків.

За результатом математичного моделювання, найвищі комплексні спроможності продемонстрували танки Т-64БМ “Булат” (Україна), М-84АS (Югославія), БМ “Оплот-М” (Україна) (рис.2). Водночас, слід враховувати, що М-84АS – югославська версія модернізації танку Т-72 – існував лише у вигляді проекту та серійно не виготовлявся. Водночас, в Україні було розроблено і випробувано проект модернізації Т-72 до рівня Т-72АГ. При цьому різниця їхніх комплексних спроможностей не є критичною. Серед лінійки танків типу Т-72, реальні високі комплексні спроможності продемонстрував український танк Т-72АГ.

№ вибірки	Коефіцієнт бойового застосування	Керівництво та управління		Розвідка		Розгортання та мобільність					Застосування					Захист та живучість			Забезпечення		
		Радіостанція, (км)	Супутникова навігація	Приціл-далекомір, м	Тепловізійний приціл	Потужність двиг. к.с. – тимчасової	Питома потужність	Максимальна швидкість шосе км/год	Бойова маса, т	Прохідність подолання рову, м	Калібр осн. зброї	Темп вогню осн. зброї	Додаткове озброєння, кулемет 12,7 мм	ІТКР	Ефективна дальність осн зброї (БПС), км	Багатопарова броня від (БПС), мм	Динамічний захист	Активний захист	Запас ходу, км	Боєкомплект, (поєтр)	Екіпаж, (о)
У	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	
T-80 БВММ	3,43	30	0,1	5000	1	1250	27,4	80	45,7	2,8	125	8	1	1	4	700	1	1	500	45	3
T-84 “ОПЛОТ-М”	3,73	25	1	5000	1	1200	23,5	70	51	2,85	125	8	1	1	4	700	1	1	500	46	3
M-95 Дегман	3,03	35	1	4000	1	1000	22,5	70	44,5	2,8	125	8	1	0,1	4	750	1	0,1	450	42	3
M-84AS	3,53	30	1	4000	1	1200	26,7	70	45	2,8	125	8	1	1	4	1300	1	1	650	36	3
PT-91 Twardy	3	30	1	4000	1	850	18,5	60	45,9	2,8	125	8	1	0,1	4	490	1	0,1	480	42	3
T-72M4 CZ	2,93	30	1	4000	1	1000	20,8	61	48	2,7	125	8	1	0,1	4	700	1	0,1	700	40	3
T-72Б3	3,17	30	0,1	5000	1	840	18,1	65	46,5	2,8	125	8	1	0,1	4	1000	1	0,1	500	41	3
T-72АГ	3,45	25	1	3000	1	1000	21,7	70	46	2,85	125	8	1	1	5	410	1	0,1	650	39	3
T-64БМ2	3,06	20	0,1	4000	0,1	700	16,7	60	42	2,85	125	8	1	1	1,5	410	1	0,1	385	36	3
T-64БМ “БУЛАТ”	3,46	30	1	5000	1	850	18,9	60	45	2,85	125	8	1	1	2,5	700	1	0,1	385	36	3
T-64E	3,35	30	1	5000	1	850	19,9	65	42,7	2,85	125	8	1	1	2,5	700	1	1	500	37	3
T-64 зр. 2017	3,29	30	1	5000	1	700	16,9	60	41,5	2,85	125	8	1	1	3	650	1	0,1	500	36	3

Рис.2. Загальні ТТХ основних (бойових) танків для введення до програми

Варто також відзначити, що, незважаючи на певні системні недоліки, характерні для радянського концептуального підходу до обрисів основного танку, деякі модернізовані танки за своїми характеристиками наближаються до танків низки країн-членів НАТО та Ізраїлю, які вважаються одними із лідерів світового танкобудівництва і наведені у табл.1.

Виходячи з оцінки комплексних спроможностей, наявних у розпорядженні України виробничих потужностей, можливостей щодо воєнно-технічної співпраці та міжнародної

кооперації з європейськими країнами та враховуючи тенденції розвитку світового танкобудівництва, дисертант сформулював пропозиції щодо напрямів оновлення та підтримання у боєздатному стані парку основних танків ЗС України.

Серед всіх танків, що випускались або модернізувались українською оборонною промисловістю, найкращі комплексні спроможності має танк БМ “Оплот”, що являв собою глибоку модернізацію танку Т-80УД. Танки Т-80УД були сконструйовані українським КБ ім. О.О. Морозова, їх виробництво було освоєно заводом ім. Малишева.

Таблиця 1

## Розрахунок комплексних спроможностей зразків ОВТ основних (бойових) танків

№ з/п	Назва зразку	Комплексна спроможність зразка ОВТ	Рік прийняття на озброєння	Бойова маса, т	Екіпаж	Калібр гармати, мм	Боекомплект, пострілів	Потужність двигуна, к.с.	Максимальна швидкість, км/год	Запас ходу по шосе, км
1.	Abrams M1 A2	3,52	2000	63,0	4	120	42	1500	67	425
2.	Leclerc AMX-56	3,38	1992	54,6	3	120	40	1500	72	550
3.	Leopard 2 A4	3,48	2004	62,5	4	120	42	1500	72	550
4.	Challenger 2	3,36	2002	62,5	4	120	52	1200	56	400
5.	Merkava Mk.4M	3,34	2009	65,0	4	120	48	1500	70	500
6.	Arjun Mk.1	2,96	2011	58,5	4	120	39	1400	70	500
7.	Al-Khalid	3,12	2001	48,0	3	125	39	1200	70	500
8.	M-95 Degman	3,03	1991	48,5	3	125	39	1200	70	500
9.	M-84AS	3,53	2004	45	3	125	42	1200	70	500
10.	PT-91M	2,8	2010	45,5	3	125	40	1000	65	480
11.	PT-91 Twardy	3	1995	45,9	3	125	42	850	60	480
12.	T-72M4 CZ	2,93	2006	48	3	125	40	100	61	430
13.	T-72B3	3,17	2011	46,5	3	125	40	1130	45	400
14.	T-80 БВМ	3,43	2018	45,7	3	125	45	1250	80	500
15.	T-90 Владімір	3,50	2005	46,5	3	125	42	1000	60	550
16.	T-64БМ Булат	3,46	2005	45,0	3	125	36	850	60	385
17.	T-64E	3,35	2010	42,7	3	125	37	850	65	500
18.	T-64БМ2	3,06	2021	45	3	125	36	1000	60	500
19.	T-64 зр. 2017	3,29	2017	44	3	125	36	1000	60	500
20.	T-72АГ	3,45	2000	46	3	125	45	1200	60	700
21.	T-84У Оплот	3,51	2009	51.0	3	125	46	1200	70	500

Проте, натепер і у найближчій перспективі, принаймні до закінчення війни, в умовах, коли м. Харків перебуває у зоні досяжності вогневих засобів противника, серійне виробництво танків на заводі фізично неможливо. Крім того, виробництво танків пов'язане з великими витратами фінансових і матеріальних ресурсів, а також потребує доволі багато часу (близько дев'яти місяців). Тому, незважаючи на явну перевагу БМ "Оплот" над танками противника, його виробництво в даних умовах недоцільно. Модернізація танків Т-80 різних модифікацій до рівня БМ "Оплот" неможлива з технологічних причин. Тому, цей проєкт не може розглядатись як перспективний. По завершенні війни найбільш раціональним шляхом буде розроблення концептуально нового танку, в міжнародній кооперації із врахуванням стандартів НАТО, особливо враховуючи незворотній зовнішньополітичний курс України на євроатлантичну інтеграцію.

Що стосується танків Т-80 різних модифікацій,

незначна кількість яких залишилась у складі ЗС України, зокрема й тих, що були захоплені як трофеї, доцільно обмежитись їх відновлювальним ремонтом та експлуатацією до повного вичерпання. Розгортання програми їх модернізації потребуватиме додаткових витрат фінансових та матеріально-технічних ресурсів, що не виправдовується їх незначною кількістю.

У складі ЗС України досі перебуває доволі значна кількість танків Т-72 різних модифікацій. Слід також мати на увазі значний обсяг постачання танків, створених на платформі Т-72 з європейських країн – колишніх членів Організації Варшавського договору, що наразі є членами НАТО. Також значну кількість танків Т-72, які було захоплено в якості трофеїв, можна буде відремонтувати та використати в подальшому у військах. Частково вони стануть джерелом запасних частин, вузлів та агрегатів, придатних для використання. Все це є ресурсом, що можна використати в інтересах ЗС України [15]. Модернізація танків сімейства Т-72 можлива в

Україні на Київському і Львівському танкоремонтних заводах. Слід врахувати, що завод у Києві потенційно перебуває у зоні досяжності вогневих засобів противника (авіаційні тактичні ракети Х-59М, зенітні ракети С-300, балістичні ракети ОТРК “Іскандер-М”, БПЛА “Герань-2”). Водночас, доволі вдалу програму модернізації було реалізовано у Польщі. Її довели до серійного виробництва під найменуванням РТ-91 “Twardy” та поставили на озброєння Війська Польського.

Виходячи із зазначеного, можемо зробити припущення, що доцільними шляхами відновлення та поповнення танкового парку ЗС України найближчим часом будуть:

- закупівля у Польщі, що поступово замінює свій танковий парк на танки виробництва ФРН та США, танків РТ-91 “Twardy”, укладання контракту на капітальний ремонт та одночасну модернізацію до його рівня на польських підприємствах пошкоджених українських та трофейних російських танків Т-72 різних модифікацій;

- за сприятливих обставин на визначених українських танкоремонтних підприємствах проведення під час капітального ремонту танків Т-72 різних модифікацій їх модернізації до рівня Т-72АГ.

Проте, на наш погляд, основні зусилля варто зосередити на модернізації основних танків типу Т-64. Це найбільш реалістичний шлях, враховуючи їх велику кількість у складі ЗС України та наявність великої кількості корпусів танків на підприємствах України, які можуть бути використані для подальшої модернізації. За результатами порівняльного аналізу комплексних спроможностей танків, найкращою версією Т-64 є модифікація Т-64БМ “Булат”. За цією програмою, було модернізовано загалом 100 танків для ЗС України. Водночас, досвід їх експлуатації та бойового застосування (під час АТО, ООС та відсічі повномасштабного вторгнення Росії в Україну у 2022 – 2023 рр.) дає підстави стверджувати, що цей танк має низку недоліків. Зокрема, вбудований ефективний КДЗ, може бути, на відміну від навісного, замінений лише у заводських умовах. Внаслідок модернізації бойова маса танку зросла до рівня, що знаходиться на межі можливостей двигуна та інших складових ходової частини щодо забезпечення потрібних динамічних характеристик та надійності. Водночас, цих недоліків позбавлена розроблена і підготовлена до впровадження версія модернізації танку Т-64 зразка 2017 р.

Враховуючи те, що основною спеціалізацією Київського та Львівського танкоремонтних заводів

упродовж тривалого часу є виконання капітального ремонту та модернізації саме танків Т-64, пропонуємо зосередити основні їх зусилля на модернізації танків Т-64 у версії 2017 р. під час проведення капітального ремонту. Також наявні запаси танкових корпусів танків Т-64, що зберігались на Харківському танкоремонтному заводі, доцільно використати для їх “наповнення” за програмою Т-64 зразка 2017 р., що дасть змогу у відносно стислі терміни поповнити танкові підрозділи сучасною та ефективною бойовою технікою. Незважаючи на те, за своїми спроможностями вона поступається найкращим сучасним танкам західних країн, проте знаходиться приблизно на одному рівні, а за окремими показниками і переважає сучасні танки противника. У порівнянні із застарілими модифікаціями радянських танків, які активно знімають з тривалого зберігання у росії і часто без належної підготовки та необхідної модернізації відправляють у райони бойового призначення, Т-64 зразка 2017 р. є значно ефективнішим. У перспективі це може певним чином нівелювати чисельну перевагу противника, яка зберігатиметься ще тривалий час.

Запропоновані заходи сприятимуть підвищенню бойових спроможностей танкових військових частин і підрозділів, дозволять зменшити у військах кількість модифікацій основних танків, що спростить їх експлуатацію, також такі заходи забезпечать завантаження державним оборонним замовленням підприємства вітчизняної оборонної промисловості, дадуть змогу нарощувати досвід міжнародної кооперації у виробництві ОБТ, вкрай потрібний для подальшої інтеграції України в євроатлантичний безпековий простір, раціонально використати наявні обмежені ресурси в інтересах підвищення спроможностей ЗС України в умовах війни з противником.

## Висновки

Таким чином, у статті наведено результати щодо сукупності показників та критеріїв, які набули подальшого розвитку; удосконаленої методики та обґрунтованих перспективних напрямків розвитку основних типів танків, що стоять на озброєнні Збройних Сил України. Крім того, побудовано пріоритетний ряд рівня технічної досконалості вітчизняних та закордонних зразків танків.

Як напрямок подальших досліджень може бути додаткове врахування у сукупності обраних показників додаткових технічних характеристик, що впливають на вогневі можливості танків, а також вартісних показників.

## Список літератури

1. Дрог Л. В. Комплектування офіцерським складом Збройних Сил України (1991 – 2016): історико-статичний аналіз: автореф. дис. ... канд. іст. наук: 20.02.22. Київ, 2021. 20 с.

2. Гайдарли Г. С. Розмінування території і об'єктів інженерними підрозділами Збройних Сил України у міжнародних операціях з підтримання миру і безпеки (1992 – 2018): автореф. дис. ... канд. іст. наук: 20.02.22. Київ, 2020. 30 с.
3. Больных А. Г. XX век танков. м.: Яуза: Эксмо, 2009. 368 с.
4. Ильин В. Е. Боевые танки России последнего поколения. м.: ООО “Издательство АСТ”: ООО “Издательство Астрель”, 2001. 96 с.
5. Kucharski B. Modernizacja T-72 i PT-91: ocena zasadności i potencjalnych kierunków podsumowanie. EY Creative Services Варшава. URL: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pulaski.pl/wp-content/uploads/2015/02/Raport\\_Modernizacja\\_T72\\_PT91\\_FKP.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://pulaski.pl/wp-content/uploads/2015/02/Raport_Modernizacja_T72_PT91_FKP.pdf) (дата звернення: 12.08.2020).
6. Brent M. Russia's Forgotten T-80 Tank Is Dying a Fiery Death in Ukraine. URL: <https://www.19fortyfive.com/2022/04/russias-forgotten-t-80-tank-is-dying-a-fiery-death-in-ukraine/> (дата звернення: 01.04.2020).
7. Загорка О. М., Мосов С. П., Сбитнев А. І. Елементи дослідження складних систем військового призначення: навч. посіб. К.: НАОУ, 2005. 99 с.
8. Барабаш Ю. Л., Солонников В. Г. Основы теории оценивания эффективности сложных систем. Кам'янець-Подільський: ВП ПДАТА, 2001. 56 с.
9. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения: монография в 4 т. Т.1 Синтез систем вооружения и военной техники / под ред. А. П. Ковтуненко. К., 2011. 504 с.
10. Коцюруба В. І., Коваль В. В., Шаповалов А. П. Методика порівняльної оцінки однотипних зразків озброєння і військової техніки оперативного (бойового) забезпечення та визначення перспектив їх розвитку. *Труди академії: зб. наук. праць Національної академії оборони України*. К.: НАОУ, 2008. № 6(86). С. 170–174.
11. Коваль В. В., Коцюруба В. І. До питання обґрунтування оперативно-тактичних вимог до зразків озброєння і військової техніки. *Наука і техніка Повітряних Сил*. Харків: ХУПС, 2009. № 2(2). С. 15–17.
12. Шишанов М. О., Коцюруба В. І., Даценко І. П., Сахно В. П., Деркач І. І. Методичний підхід щодо порівняльної оцінки матеріалів корпусів панцерних спеціалізованих автомобілів. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки і оборони*. К.: НУОУ, 2015. № 1(22). С. 136–139.
13. Коцюруба В. І. Основні положення методики порівняльної оцінки однотипних зразків озброєння і військової техніки оперативного (бойового) забезпечення. “Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: матеріали 9-ї науково-практичної конференції. 10 – 11 вересня 2009. Феодосія: ДВНЦ ЗСУ, С. 58.
14. Розроблення спеціального програмного математичного забезпечення для раціонального розподілу фінансових оборонних ресурсів для ефективного розвитку спроможностей ЗС України (сил оборони): звіт про науково-дослідну роботу (шифр “Розподіл-2”). НУОУ, 2019. 214 с.
15. Attack on Europe: Documenting russian Equipment Losses During The 2022 russian Invasion of Ukraine. URL: <https://www.oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html> (дата звернення. 19.11.2022).

Надійшла до редколегії 17.05.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

**Відомості про автора:****Буряк Сергій Петрович**

ад'юнкт

Національного університету

оборони України,

Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-2847-0595>**Information about the author:****Serhii Buryak**

Adjunct

of National University

of Defense of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2847-0595>

## DEVELOPMENT PROSPECTS OF MAIN TANKS T-64, T-72, T-80 OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

S. Buryak

*The article presents the results regarding the set of indicators and criteria that have undergone further development; improved methodology and well-founded promising directions for the development of the main types of tanks in service with the Armed Forces of Ukraine. In addition, a priority series of the level of technical excellence of domestic and foreign tank models has been built.*

*The proposed measures will make it possible to increase the combat capabilities of tank military units and units, reduce the number of modifications of the main tanks in the troops, which will simplify their operation, ensure the loading of the state defense order by enterprises of the domestic defense industry, build up the experience of international cooperation in the production of anti-tank weapons, which is extremely necessary for the further integration of Ukraine in the Euro-Atlantic security space, to rationally use the available limited resources in the interests of increasing the capabilities of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of war with an enemy that numerically outnumbers our country by most indicators.*

*As a direction of further research, there may be additional consideration in the set of selected indicators of additional technical characteristics that affect the fire capabilities of tanks, as well as cost indicators.*

**Keywords:** main (battle) tank; modernization; capability of weapons and military equipment; tank building and tank repair industry; combat potential.

В.П. Варакута<sup>1</sup>, І.В. Баркатов<sup>1</sup>, В.О. Тюрін<sup>1</sup>, В.С. Фарафонов<sup>1</sup>, Є.І. Ряполов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Військовий інститут танкових військ НТУ “ХПІ”, Харків

<sup>2</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ З ДОСТАТНІМ РІВНЕМ КОРИСНОСТІ РОЗВІДУВАЛЬНО-УПРАВЛІНСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТРИВИМІРНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ БОЙОВИХ ЕПІЗОДІВ

Як свідчить практика російсько-української війни, основу досягнення підрозділами та частинами Збройних Сил (ЗС) України успішного результату в бойових діях, становить: завчасне або в реальному часі моделювання сценарію (тактики) майбутніх бойових дій; завчасна й обґрунтована їх прогнозування відносно матеріально-технічних витрат, втрат серед особового складу та озброєння й військової техніки (ОВТ); визначення логістичної інфраструктури противника на всю глибину тактичної й оперативної побудови його бойових порядків, що потребує вогневого впливу; прояв повної ініціативи під час безпосереднього зіткнення з ворогом у всіх видах бойових дій.

Для зручності та об'єктивності, процес прогнозування дій противника та моделювання дій своїх військ на місцевості завчасно або в реальному часі, досягається їх візуалізацією за допомогою програм з 3D технологіями. Візуалізація (комп'ютерна анімація) дозволяє відображати в деталях рельєф (ландшафт) місцевості майбутніх бойових дій та сприяє грамотній побудові бойових порядків частин (підрозділів) своїх військ відносно розташовування противника та його ОВТ, аж до тактичної одиниці: гармати, танку, бійця тощо.

В результаті це суттєво спрощує процес прийняття ефективного рішення, визначення достатньої кількості сил та засобів, які потрібно залучити, та вибору сценарію (тактики) ведення бойових дій, властивого саме даній ситуації. Крім того, візуалізацію бойових епізодів в зоні бойових дій, що вже відбулися, доцільно створювати з метою професійного аналізу дій протидіючих сторін для виявлення недоліків (або позитивних, корисних моментів) в діях наших військ чи противника. В навчальному процесі візуалізація бойових епізодів сприяє набуванню бойового досвіду, врахуванню його в подальших діях відповідних посадових осіб частин (підрозділів) та підлеглих частин (підрозділів).

Результат бойових дій залежить від спроможності відповідної системи управління, в умовах надзвичайно складної та високодинамічної мережевоцентричної війни, забезпечити ведення всебічної військової, повітряної, космічної розвідки, обробки цих розвідувальних відомостей з достатнім рівнем достовірності та корисності для вироблення ефективної управлінської інформації та доведення її до відповідних органів управління (штабів або центрів прийняття рішень) з метою завчасного планування та прийняття обґрунтованих рішень на бойове застосування визначених сил і засобів.

Тому, дослідження характеристик змістовності розвідувально-управлінської інформації (РУінф), що надходить до систем управління для інтерактивної тривимірної візуалізації сценаріїв і бойових епізодів та визначення тенденцій розвитку таких систем є надзвичайно актуальним.

**Ключові слова:** система управління; рівень достовірності і повнота інформації; розвідувальні відомості; управлінська інформація; рішення; бойові дії; мережево-центрична війна; інформаційно-комунікаційні мережі.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Російсько-українську війну деякі вітчизняні та закордонні військові фахівці називають “артилерійською війною”, наголошуючи на масоване застосуванні артилерії, особливо з боку ворога, де від з початку (березень-квітень 2022 р.) широкомасштабного вторгнення зс рф в Україну співвідношення складало 1:60 на користь противника, тобто 70-80 тис. пострілів на добу. Проте в грудні, в середньому, 1:20 (30) – 20 тис. пострілів на добу, а вже в середині лютого 2023 р. – до 15 тис. пострілів на добу. Використовуючи тактику “вогневого валу” і знищуючи вогнем

артилерії все на своєму шляху, ворог поступово заглиблювався на територію країни. Давалася взнаки відсутність в ЗС України достатньої кількості ОВТ, перш за все, артилерії. Середній показник активності української артилерії з лютого 2022 р. по березень 2023 р. – 5 – 6 тис. пострілів за добу.

З досвіду російсько-української війни авіаційні, масовані вогневі ракетно-артилерійські чи мінометні удари з боку окупантів, як правило, завдаються раптово вдень чи вночі та тривають від декількох хвилин до декількох десятків хвилин або годин. Основна мета цих ударів нащупати слабкі місця в обороні українських військ, відволікти їх увагу та під прикриттям вогню здійснити спроби

прориву штурмових груп в глибину оборони або стрімкою атакою вибити українських військових з їх позицій.

Військовим керівництвом ЗС України було вирішено компенсувати кількісну перевагу ворога в артилерії за допомогою засвоєння й активного застосування ракетно-артилерійського озброєння, керованих снарядів та БПЛА (дронів) західних зразків з дистанційним точковим наведенням та впровадження новітніх систем прийняття рішень і управління. Іншими словами якщо російська сторона застосовувала тактику масованого вогневого валу, тобто ударів по площі, то українська – точкове знищення об'єктів ворога.

Щоб досягти відносного паритету в ракетно-артилерійських вогневих можливостях, незважаючи на кількісну перевагу противника, доцільно володіти повною й достовірною інформацією про визначений об'єкт (ціль) удару противника. Тобто на першому етапі прийняття рішення на вогневе ураження об'єкта противника, доцільно мати якісні розвідувальні відомості для подальшого вироблення відповідної управлінської інформації для прийняття остаточного рішення на бойове застосування. Для недопущення помилок (або позитивних моментів), які були зроблені під час бойових дій або для набуття досвіду, бажано мати апарат, завдяки якому можна більш ефективно спланувати майбутні бойові дії або провести ретельний аналіз бойових епізодів, що сталися, для подальшого врахування й впровадження в практику дій.

Тому, розгляд характеристик РУінф та тенденцій й закономірностей розвитку систем управління бойовими діями військ з використанням механізму майбутнього планування бойових дій та аналізу бойових епізодів, що здійснилися є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вітчизняні й закордонні воєнні фахівці багато уваги приділяють дослідженню інформаційної складової в процесі прийняття рішень в системах управління. Досвід російсько-української війни та збройних конфліктів в Сирії, Нагорному Карабаху показує, що успіх військових дій визначається не скільки співвідношенням в силах і засобах сторін, скільки ефективністю та спроможністю практично управляти військами й ефективно (точково) наносити вогневі удари. Для цього система управління військами (СУВ) повинна забезпечуватися відповідною РУінф для прийняття рішення.

Існує низка фундаментальних і прикладних наукових робіт [1–5] вітчизняних дослідників, які стосуються досліджень інформаційних потоків та інформаційно-аналітичних підсистем для органів управління в системах управління бойовими діями

військ. Проте дослідженню характеристик якості змістовності РУінф, які в процесі прийняття рішення циркулюють в даній системі управління, їх впливу на ефективність кінцевого результату бойових дій, військовими фахівцями приділяється недостатня увага.

Крім того, вітчизняними та закордонними військовими фахівцями в наукових працях недостатньо приділяється уваги механізмам аналізу бойових дій, що базуються на сучасних технологіях візуалізації бойових епізодів в часі й просторі, які за своїми характеристиками й показниками відповідають реальній дійсності, що суттєво спрощує розуміння та осмислення обстановки, що розглядається.

**Мета статті** – розглянути та проаналізувати характеристики якості РУінф та її впливу на тенденції й закономірності розвитку систем управління військами та дослідити специфіку планування майбутніх бойових дій або здійснення аналізу бойових епізодів, що відбулися, за допомогою принципів візуалізації даних процесів.

## Виклад основного матеріалу

Під час бойових дій часто виникають різкі зміни в оперативно-тактичній обстановці. Через постійні зміни способів ведення бойових дій та непередбачені дії противника, суттєво зростає рівень невизначеності ситуації, що складається. У зв'язку з цим в органах управління (ОрУ) усіх рівнів систем управління циркулюють значні обсяги різномірних, недостовірних, суперечливих та слабо структурованої РУінф. В таких умовах оперативне реагування на будь-які зміни в обстановці та прийняття адекватних (раціональних) рішень стає надзвичайно складним завданням. Адже під час процесу прийняття обґрунтованого рішення на вогневий удар по об'єкту (позиції) противника, необхідні всеосяжні розвідувальні відомості про нього. Як правило, основними характеристиками таких відомостей є їх достовірність, повнота й рівень корисності [6, С. 29; 7, С. 78; 8, С. 11].

Що стосується достовірності, то існує два критерія її оцінки: достовірність РУінф чи не достовірність, тобто хибна або помилкова, що не відповідає дійсності. Якщо розвідувальні відомості про противника були не достовірні, значить управлінська інформація для вироблення й прийняття рішення на бойове застосування (вогневого удару) буде також не достовірною.

Повнота достовірної РУінф характеризується накопиченням буквально всіх розвідувальних відомостей, що стосуються визначеного об'єкта ураження противника. Проте показник повноти відомостей, передбачає їх надлишковість, яка зайва й може завадити або ускладнити процес прийняття

рішення на бойове застосування. Тому, виникає такий показник як рівень достатності інформації з відповідним рівнем їх корисності.

Отже, повна РУінф може перетворюватися в часткову, що має достатній рівень корисності. Якщо цей рівень не достатній – РУінф не повна й недостовірна.

Наприклад, розглянемо ситуацію, в якій орган управління (ОрУ)  $m$ -ї системи управління бойовими діями  $n$ -го військового формування отримав РУінф про виявлену колону бронетехніки противника. Для ефективного її знешкодження доцільно [6, С. 30; 8, С. 10] мати повну інформацію про:

- час ( $t_{\text{вияв}}$ ) виявлення і координати ( $x, y$ ) знаходження противника на місцевості;
- напрямок ( $\beta$ ) руху і час входження колони в зону поразення своїх засобів ураження ( $t_{\text{вх}}$ );
- відстань до колони ( $D$ ) і швидкість її руху ( $V$ );
- довжину колони ( $L_k$ ) і тип бронетехніки (танки, БТР, БМП або САУ);
- кількість одиниць бойової техніки в колоні ( $S$ ) і виявлені засоби її прикриття ( $Q$ ) тощо.

Із усього обсягу РУінф, що надійшла до ОрУ системи управління, залишковими є:

- відстань до колони ( $D$ ), швидкість руху ( $V$ ) й довжина колони ( $L_k$ ) немає значення, якщо вона знаходиться в зоні поразки вогневих засобів;
- тип бронетехніки, тому що для ударних вогневих засобів немає значення який зразок бронетехніки: танки, БТР, БМП або САУ. Усі вони однаково піддаються вогневому впливу;
- засоби прикриття, тому що вони знаходяться в єдиній колоні.

Відсутність цієї інформації не вплине на кінцевий результат бойових дій. Проте її надходження збільшує час на її обробку й усвідомлення, а так, на прийняття кінцевого рішення на бойове застосування, що може дати можливість противнику випередити в нанесенні вогневого удару або виходу з зони ураження.

Отже, часткова РУінф з достатнім рівнем корисності про час ( $t_{\text{вияв}}$ ) виявлення та координати ( $x, y$ ) знаходження противника на місцевості, напрямок ( $\beta$ ) його руху та час входження колони в зону ураження ( $t_{\text{вх}}$ ), достатня для успішного виконання бойового завдання щодо його знищення. При цьому скорочується час на усвідомлення інформації та на прийняття рішення на бойове застосування. Відсутність хоча б одної відомості корисної інформації, суттєво ускладнить виконання бойового завдання.

Ймовірність позитивного результату бойових дій значно збільшується завдяки візуалізації подій в реальному часі за допомогою відеозйомок БПЛА або дронів.

В ситуації повної відсутності чи недостатнього рівня корисності РУінф, війська (підрозділи, частини) змушені діяти децентралізовано, тобто вести автономні дії. При цьому, залежно від ситуації, відповідний командир самостійно (на свій професійний досвід і розсуд) приймає рішення на подальші дії своєї частини (підрозділу) [9, С. 19]. Виникає необхідність дослідження відповідності й залежності кінцевого результату виконання бойового завдання від якості (характеристик) РУінф, що надходить від різних джерел і, які за своєю суттю, повинні забезпечувати процес прийняття рішення на бойові дії. В якості критерію спроможності системи управління щодо забезпечення РУінф процесів управління військами, може служити співвідношення змістовності ( $I_g$ ) РУінф, що надходить, до ефективності прийнятого рішення на бойові дії. Ефективність рішення, прийнятого відповідним командиром на бойові дії, вважається такою, що сприяє знищенню засобів противника з ймовірністю не нижче заданої [9, С. 22].

У зв'язку з тим, що якість управлінської інформації для виробки й прийняття рішення на бойове застосування знаходиться в прямій залежності від якості розвідувальних відомостей про противника, тому розглянемо основні показники якісного рівня змістовності *цих відомостей*: повні (достатні) розвідувальні відомості ( $I_{\text{пов}}$ ); часткові розвідувальні відомості з достатнім рівнем корисності ( $I_{\text{чдовк}}$ ); часткові розвідувальні відомості з недостатнім рівнем корисності ( $I_{\text{чндовк}}$ ); недостатні розвідувальні відомості (або їх відсутність) ( $I_n$ ) для прийняття рішення на бойові дії [6, С. 32; 8, С. 13].

При централізованому (безпосередньому) управлінні та при надходженні повних (достатніх) розвідувальних відомостей ( $I_{\text{пов}}$ ) відповідні посадові особи ОрУ системи управління можуть прийняти як правильне (вірне) рішення на бойові дії, так і помилкове (невірне). Тому, наявність якісних розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності не гарантують успішного виконання бойового завдання, якщо відповідні посадові особи ОрУ не мають достатнього фахового та практичного досвіду в прийнятті рішень на бойові дії, тобто мають низькі професійні навички та вміння.

Важливим у процесі надання розвідувальних відомостей є визначення граничного моменту часу готовності військ до бойового застосування зброї. Від нього залежить, чи встигнуть війська виконати бойове завдання до моменту завдання противником вогневого удару у відповідь. Для цього необхідно визначити очікувані моменти часу готовності військ до бойового застосування зброї, як при отриманні

повних (достатніх), так і часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності.

Момент часу готовності військ до застосування зброї при отриманні часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності розраховується як  $k_{\text{чдв}} = \Delta_{\text{чдв}} + \Delta_{\text{т'усвв}}$ , а при отриманні повних (достатніх) розвідувальних відомостей – як  $k_{\text{нв}} = \Delta_{\text{нв}} + \Delta_{\text{т'усвв}}$ . Тоді очікуваний момент часу готовності військ до бойового застосування при отриманні часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності дорівнює [6, С. 31; 8, С. 14]:

$$\begin{aligned} Z_{\text{чдв}} &= \Delta I_{\text{чв}} + \Delta_{\text{т'усвв}} + \Delta_{f^*_{\text{вк}}} = \\ &= \Delta I_{\text{чв}} + \Delta_{\text{т'усвв}} + \Delta_{\xi_{\text{в}}} + \Delta_{f_{\text{в}}}, \end{aligned}$$

а при отриманні повних (достатніх) розвідувальних відомостей:

$$Z_{\text{нв}} = \Delta I_{\text{нв}} + \Delta_{\text{т'усвв}} + \Delta_{f_{\text{в}}}.$$

При цьому очікуваний інтервал часу надання повних (достатніх) розвідувальних відомостей буде:

$$\Delta_{\text{нв}} = \Delta_{\text{чдв}} + \Delta_{\text{т'усвв}} + \Delta_{s_{\text{в}}} - \Delta_{\text{т'усвв}},$$

тоді

$$Z_{\text{нв}} = \Delta_{\text{чдв}} + \Delta_{\text{т'усвв}} + \Delta_{s_{\text{в}}} + \Delta_{f_{\text{в}}},$$

де  $\Delta_{\text{т'усвв}}$  – очікуваний середній інтервал часу усвідомлення й прийняття рішення ОрУ на бойове застосування військ при отриманні достатніх розвідувальних відомостей;

$\Delta_{\text{т'усвв}}$  – очікуваний середній інтервал часу усвідомлення й прийняття рішення ОрУ на бойове застосування військ при отриманні часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності;

$\Delta_{\xi}$  – середній інтервал часу нанесення противником вогневого удару;

$k_{\text{нв}}$  – очікуваний момент часу готовності військ до бойового застосування при отриманні повних розвідувальних відомостей;

$k_{\text{чдв}}$  – очікуваний момент часу готовності військ до бойового застосування при отриманні часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності;

$t_{\text{в}}$  – очікуваний момент часу готовності військ до бойового застосування при отриманні повних (достатніх) розвідувальних відомостей;

$Z_{\text{нв}}$  – очікуваний граничний момент часу готовності військ до бойового застосування при отриманні повних (достатніх) розвідувальних відомостей;

$\Delta_{f_{\text{в}}}$  – очікуваний інтервал часу готовності

військ до бойового застосування при отриманні повних (достатніх) розвідувальних відомостей;

$\Delta_{f^*_{\text{вк}}}$  – очікуваний інтервал часу готовності військ до бойового застосування при отриманні часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності;

$\Delta_{\text{нв}}$  – очікуваний інтервал часу надання повної (достатньої) управлінської інформації;

$\Delta_{\text{чдвк}}$  – очікуваний інтервал часу надання часткових розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності.

Отже, граничний момент часу готовності військ до бойового застосування зброї при отриманні повної (достатньої) або часткової управлінської інформації з достатнім рівнем корисності не повинен перевищувати значення загального граничного моменту часу, після якого починаються бойові дії з боку противника, тобто

$$Z_{\text{чдв}} \leq Z_{\text{нв}}, \text{ при } \Delta_{f^*_{\text{вк}}} = \Delta_{f_{\text{в}}}.$$

Таким чином, рівень якості змістовності розвідувальних відомостей завжди зберігає свою актуальність (позитивний ефект) при достатньому рівні корисності.

Для забезпечення надходження високої якості розвідувальних відомостей з достатнім рівнем корисності, в системах управління бойовими діями військ доцільно створювати інформаційно-комунікаційні мережі, що об'єднують джерела надходження розвідувальних відомостей до ОрУ. Такий підхід дозволить доводити до усіх учасників, які приймають участь в процесі прийняття рішень і управління бойовими діями військ, отримувати достовірну і повну (або часткову з достатнім рівнем корисності) інформацію про бойову обстановку в реальному часі. Досягається це впровадженням в систему управління концепції мережеве-центричної війни, яка являє собою сталу систему поглядів на військово-технічне забезпечення та ведення бойових дій в умовах тотальної комп'ютеризації сил і засобів збройної боротьби. Головний зміст концепції “мережеве-центричної війни” у роботах [10–15] полягає не в нових формах і видах ведення бойових дій, а в зміні способу управління військами. Ця концепція, передбачає збільшення бойової потужності військ, завдяки створенню інформаційно-комунікаційної мережі, яка, в свою чергу, сприяє прискоренню управління військами, підвищенню темпу бойових дій, ефективності ураження сил противника, підтриманню рівня самосинхронізації бойовими діями, що збільшує живучість своїх військ [14, С. 67]. Теорія мережеве-центричної війни містить у своїй гіпотезі три основних принципи [15, С. 7]:

– системи управління, об'єднані надійними

мережами, мають змогу покращеного обміну розвідувальними відомостями та досягають інформаційної переваги над ворогом.

– обмін розвідувальними відомостями підвищує якість інформації та загальної ситуаційної поінформованості Ору;

– загальна ситуаційна обізнаність дозволяє забезпечувати співробітництво та самосинхронізацію, підвищує стійкість і швидкість управління військами, що суттєво підвищує ефективність їх бойових дій.

Тенденції та закономірності розвитку систем управління військами, повинні йти шляхом удосконалення та уніфікації цих систем не тільки завдяки розвитку технічної складової засобів приймання й обробки та надання розвідувальних відомостей, а й оптимізації самої інформації, що сприяє мережеве-центричним принципам побудови інформаційних мереж.

Так, українські військові проявили кмітливості й завзятість та й у ході боїв на Херсонському напрямку нанесли на бортах своєї техніки російсько-нацистські символи “V” і “Z”, що ворога збентежило. Вони не спромоглися розпізнати де своя техніка, а де українська. Це говорить про те, що українці використали американську “мережеве-центричну систему” управління боєм, позначивши усіх хто приймав участь у бою в комп’ютері, що допомагала визначати де знаходиться противник, а де свої підрозділи, включно до танка (БМП, БТР, гармати, опорного пункту тощо), що принесло ефективний результат боїв. Успіх бою завжди залежав від якості управління військами, а уміле керування військами, як в цьому прикладі, сприяло розгромленню противника з найменшими втратами та досягненню перемоги за короткий час.

Теорія й практика управління військами розвивалася та удосконалювалася водночас із зміною озброєння, техніки, організації військ і способів ведення бойових дій.

Тому, в умовах повномасштабної російсько-української війни набуло актуальності та гострої необхідності створення сучасних систем управління бойовими діями військових формувань різних рівнів: від батальйону до ЗС України в цілому.

З класичного визначення, СУВ – це взаємопов’язана сукупність засобів обробки інформації, передачі даних та зв’язку, яка забезпечує автоматизацію процесів збору, аналізу й оцінки обстановки, прийняття рішень, планування, доведення цих рішень до військ (сил) та контроль за ходом їх виконання [16–17].

ЗС України постійно вдосконалюються, еволюціонують, в той же час, завдяки науково-технічному прогресу – ускладнюються. З’являється нове озброєння, формуються нові підрозділи,

виникають нові завдання, змінюються методи та концепції ведення війни. Нині для успішного здійснення управління бойовими діями військ важливе значення має процес швидкого отримання, обробки і перетворення, передачі та використання розвідувальних відомостей, а також спосіб їх зберігання [18]. А це може забезпечити автоматизація цього процесу. До того ж автоматизація системи управління військами (АСУВ) нівелює бюрократію з об’ємними обсягами паперової роботи, вивільняє часовий ресурс на підготовку й прийняття додаткових рішень та дає змогу ретельніше виважити їх. Особливо це важливо під час ведення бойових дій в умовах обмеження матеріальних та людських ресурсів, коли на одну одиницю бронетехніки або на один снаряд, противник може виставити десятки, як це було під час оборони Києва, Чернігова, Сум, Харкова, Сєвєродонецька та Лисичанська. Крім цього АСУВ покликана мінімізувати людський фактор у контексті прорахунків та помилок. Тому, питання АСУВ – це вихід ЗС України на новий якісний технічний рівень. При цьому треба розуміти, що АСУВ – це не окремий елемент в процесі управління військами, а елемент який взаємодіє з декількома АСУ тактичного, оперативного й стратегічного рівня різних родів і видів ЗС [19, С. 17].

Треба зауважити, що кожному типу АСУВ характерні суцільно свої розвідувальні відомості. Якщо для АСУ ППО головним є відомості про характер польоту цілей ( $S$  – кількість,  $V$  – швидкість,  $D$  – дальність,  $\beta$  – азимут і  $H$  – висота польоту повітряної цілі), то для АСУ артилерії чи ракетної системи залпового вогню (РСЗВ) – координати об’єкту ураження на місцевості.

Отже, в найближчий перспективі в ЗС України повинний створитися єдиний контур управління всіма військами (павутинна мережа АСУ різних рівнів), що входять до складу ЗС України для повного охоплення й спрощення управління різними за призначенням військами.

За експертними оцінками, проблема створення відповідних АСУ виникає з багатоплановості завдань, що існують, та пов’язаних з цим умов, які вже перевищують можливість їх охоплення людиною й навіть групою людей [20, С. 68].

На даний час у ЗС України практично використовуються АСУ:

– “Дзвін” – для управління та контролю на стратегічному рівні;

– “Дельта” – спостереження та рекогносцювання;

– “Ореанда ПС” – для управління авіацією та вогнем зенітно-ракетних військ;

– “Віраж-планшет” – для спостереження повітряного простору;

– “Кропива” – для управління військами тактичного рівня;

– “Гермес-С2” – для управління військами тактичного рівня та ряд інших перспективних розробок.

Однак треба зазначити, що на озброєння прийнята лише АСУ “Ореанда ПС”, АСУ “Дзвін-АС” та АСУ “Дельта”. Інші АСУ використовуються в якості експерименту або волонтерської допомоги.

Автоматизована система Центру оперативного керування “Дзвін-АС” прийнята на озброєння ЗС України 6.12.2022 р. і є базовою частиною єдиної АСУ ЗС України [21]. Ця АСУ високоінтегрована та спроможна контролювати бойові дії стратегічного, оперативного і частково тактичного (бригадного) рівня, що дозволяє:

– у напіваавтоматичному та автоматичному режимах генерувати документи бойового управління;

– створювати та відслідковувати картографічну інформацію;

– отримувати вичерпні дані про власні війська;

– отримати наявні розвіддані;

– отримати дані про війська противника, їх поточне і перспективне забезпечення;

– проводити розрахунки співвідношення сил і засобів, оптимальності їх застосування у різних сценаріях.

2019 р. Генеральний штаб (ГШ) ЗС України вперше продемонстрував стан роботи у сфері створення та впровадження на озброєння АСУ.

Також була створена мобільна версія “Дзвін-АС”, яка була розгорнута в розташуванні ГШ в межах польового пункту управління оперативного рівня. Мобільна версія використовувалася для демонстрації можливостей АСУ й одночасно забезпечувала підготовку військових фахівців.

4.02.2023 р. в ЗС України була впроваджена АСУ “Дельта” [22]. Ця система представляє “платформу з ситуаційною обізнаністю”, тобто онлайн-систему, яка дає уявлення про тактичну і оперативну ситуацію на полі бою в конкретний момент часу. Така інформація важлива для командирів середньої та вищої ланки (від командира батальйону й вище), щоб уявляти реальний стан своїх та чужих військ. АСУ “Дельта”, яка працює на основі спеціальної бази ISTAR, показує цілком реальну ситуацію на фронтах ЗСУ, а сама система удосконалювалася під час важких боїв, як, наприклад, оборона Києва навесні 2022 року.

Акронім ISTAR пояснює суть процесу, який за ним стоїть: I – intelligence (розвідка), S – surveillance (огляд), TA (target acquisition) – вказування цілі, і Recognizance – розвідка.

Управління військами на основі єдиної АСУ,

доступ до якої мають всі командири на полі бою – це сучасний підхід за стандартами НАТО, де головна ідея – це бачити поле бою в режимі реального часу, обмінюватися інформацією в межах підрозділу, бригади, угруповання, приданими військами, а при потребі – і з союзниками.

За таких умов такий командир як, наприклад, відділення (взводу чи роти), перебуваючи в окопі, в реальному часі бачить, що відбувається у нього на позиції, яка ситуація на флангах, де йде бій, де потрібна підтримка, а де ситуація більш стабільна. А командир бригади розуміє ситуацію на довіреній йому ділянці фронту у 20 – 30 км і суміжних з ним територіях [22]. Це дозволяє командирам, які беруть безпосередню участь у боях, об’єктивно усвідомлювати, наскільки критичною є ситуація в їхніх підрозділах, де потрібна підтримка, а де є потенціал для контрнаступу.

Завдяки використанню стандартизованих інструментів, війська отримують об’єктивну картинку, наприклад, полю бою й все, що на ньому знаходиться (танки, опорні пункти, БМП, БТР тощо), яка повністю співпадає з реальністю. До того ж АСУ досить гнучка, тому використовувати її може будь-хто, хто має доступ до інтернету, а також логін та пароль. Отже, в “Дельта” можна увійти з будь-якого пристрою, де є браузер та підключення до інтернету. Тому є ризики несанкційного підключення до неї, що є єдиною проблемою цієї системи.

За інформацією французького видання L’Express, американська компанія Palantir надала ЗС України бойову алгоритмічну систему з програмним забезпеченням Gotham та системою забезпечення розвідувальними відомостями. Іншими словами, українські військові отримали автономні розвідувальні центри Skykit, які дозволяють стежити за розвитком бойових дій в реальному часі [23]. Програмне забезпечення аналізу даних і бойові алгоритмічні системи Palantir – це поєднання статистики й методів машинного навчання, які виявляють закономірності, приховані глибоко в наборах даних (відомостях). Це обумовлено тим, що система Palantir спроможна збирати великі об’єми розвідувальних відомостей та перетворювати їх в прості для розуміння візуалізації [24]. Компанія Palantir надала Україні технології, завдяки яким ЗС України отримують перевагу в обізнаності на полі бою, про що повідомило The Washington Post. Технологія супутникової мережі розвідки та систем штучного інтелекту, дозволяє прибрати “туман війни” та відстежувати за допомогою штучного інтелекту та супутникових зображень, усі переміщення й вогневі удари з боку військ РФ.

Під час українських контрнаступів у Київській, Харківській та Херсонській областях, ОрУ ЗС

України відповідних рівнів отримували інформацію про розстановку сил, російські позиції, а також куди, якими силами та як рухаються російські загарбники. Завдяки цьому українська армія була спроможна ефективно просуватися та швидко пристосовуватися до маневрів і контратак по зс рф та **моделювати в реальному часі стратегію або тактику майбутніх битв та боїв**. Дані, які обробляє Palantir дуже різноманітні: від традиційних оптичних зображень до радіолокаційних відображень (відміток) на екранах радарів із синтезованою апертурою та теплових зображень. Точкове наведення вогневих засобів (далекобійної артилерії, РСЗВ тощо) на ціль, забезпечується завдяки GPS (супутниковому) наведенню чи БПЛА (або дронів), оснащених відеокамерами та іншою відповідною апаратурою. Після закінчення бойового епізоду програма дає можливість проаналізувати ефективність нанесених вогневих ударів, підрахувати втрати, виявити помилки і визначити позитивні фактори. До речі, частину цих технологій було розроблено фахівцями в Україні. Palantir працює в реальному часі, проте не може використовуватися для планування й моделювання майбутніх дій.

Взагалі система Palantir представляє собою БПЛА, невелику антену й програмне забезпечення останнього покоління Gotham. До речі, цією системою користуються генеральний директор внутрішньої безпеки Франції та компанія Airbus, яка використовує її для управління своїми промисловими мережами. Завдяки власному програмному забезпеченню Meta-Constellation український військовий може підключитися до одного з 40 комерційних супутників, які щодоби пролітають над Україною, проаналізувати дані, зібрані різними модулями штучного інтелекту, й таким чином “побачити” ворога. Skykit також може отримати доступ до “суверенних” штучних військових супутників, таких як супутники Пентагону.

Отже, “потужність алгоритмічних систем ведення війни настільки велика, що це можна порівняти до тактичної ядерної зброї”, – відмітив виконавчий директор компанії Алекс Карп. З його слів система Palantir відповідає за більшість наведень на цілі у бойових діях. Наприклад, під час контрнаступальних дій на Херсонському напрямку, командування ЗС України мали точні розвідувальні відомості про те, куди рухаються російські військові формування, тому наносили по ньому дальні точкові вогневі удари.

Усе вище викладене наголошує на необхідності створення та впровадження в ЗС України ієрархічної системи на чолі з АСУВ-матрицею (наприклад, АСУ ГШ ЗС або МО), до якої доцільно

підключити діючі та перспективні АСУВ аж до окремих підрозділів та окремих одиниць зброї з різним призначенням (РСЗВ, артилерія тощо) в якості підсистем (рис.1).

Впровадження АСУВ-матриці є питанням збільшення можливостей ЗС України ефективніше знищувати переважаючого за ресурсами ворога. Для формування єдиної АСУВ-матриці, система повинна володіти наступними найбільш загальними характеристиками [18]:

- включати в себе такі елементи як управління й контроль, комунікації (зв'язок), інформаційні технології (комп'ютери, устаткування тощо), можливістю ведення радіо, відео-, аудіо- розвідки й спостереження та рекогносрування;

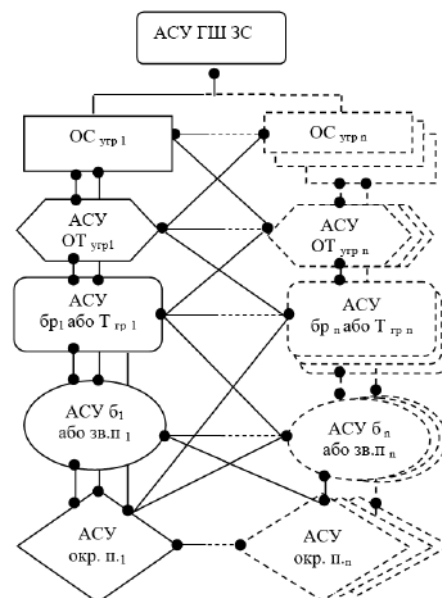
- мати здатність інтегруватися в загальній системі управління та ефективно й оптимально взаємодіяти з іншими АСУВ, що знаходяться на рівні підсистем;

- безперервно виконувати свої функції, особливо в умовах ведення бойових дій;

- бути зручною для серійного виробництва, достатньою для забезпечення потреб ЗС України в оптимальний час;

- мати сумісність з АСУВ країн НАТО для обміну інформацією;

- мати сертифіковані комплексні системи захисту інформації та відповідати законодавству України у сфері охорони державної таємниці.



ОС<sub>утр</sub> – оперативно-стратегічне угруповання військ; ОТ<sub>утр</sub> – оперативно-тактичне угруповання військ; бр – військове формування бригадного рівня; Т<sub>гр</sub> – тактична група із зведених підрозділів; зв.п. – зведений підрозділ; окр.п. – окремий підрозділ.

Рис.1. Ієрархічна структура АСУ бойовими діями військ (варіант)

Джерело: розроблено авторами.

На даний час, поки що існують проблемні питання, що потребують вирішення при розробці єдиної АСУВ, в умовах побудови єдиного інформаційного простору, оперативної обробки розвідувальних відомостей щодо об'єктів розвідки та вогневого ураження й постановки вогневих завдань (команд) військам. Для цього під час створення АСУВ необхідного рівня управління, потрібні нові принципи й технології розподілу повноважень, функцій, завдань, обов'язків і відповідальності у межах сучасних принципів ведення бойових дій [25, С. 63]. Впровадження АСУВ на рівні військової частини та підрозділу (на рівні батальйону, роти, взводу, аж до окремого засобу вогневого ураження), яка б стала базою даних для АСУ в рамках систем бойового управління і управління оборонними ресурсами та забезпечила єдине інформаційне середовище для всіх служб, автоматизацію роботи усіх посадових осіб даного військового формування, подання звітності, узгодженої з табелем термінових донесень та бухгалтерським обліком, створить передумови для розробки й впровадження спеціальних комп'ютерних програм [2, С. 60; 26, С. 40].

Проте цього не достатньо. Зібрані, оброблені й проаналізовані РУінф в системі управління про противника та про бойові дії, що плануються або бойовий епізод, який вже відбувся, не дають повної картини й повного аналізу факторів для прийняття рішення на майбутні дії або професійного аналізу дій протидіючих сторін. А це, в свою чергу, зменшує можливості для розробки ефективних методів і способів ведення бойових дій [26, С. 40; 27, С. 144].

Тому, на порядку денному стоїть питання планування майбутніх бойових дій або відтворення бойового епізоду у всіх деталях часу й простору, що вже відбувся, за допомогою візуалізації. У майбутньому це дозволить уникнути помилок, прийняти правильні рішення та навчити війська діям у подібних ситуаціях.

Із зазначеною метою в країнах НАТО використовується методика After action review – аналіз проведених дій (АПД) [27, С. 144]. Одним із ефективних засобів АПД – є інтерактивна тривимірна візуалізація, яка включає в себе моделі місцевості й розташування на ній підрозділів (екіпажів, бійців) та з високою точністю й деталізацією відтворює хід бойових дій, що досліджуються у просторі й часі на загальному тактичному фоні [28, С. 144]. Для наукового дослідження й аналізу бойових епізодів, що вже сталися, та прогнозування можливих дій сторін в той чи інший бойовій ситуації, пропонується використання автоматизованого способу вибору раціонального сценарію бойових дій військових

формувань сторін з однорідними або різнорідними бойовими засобами (наприклад, механізовані, танкові екіпажі та придані підрозділи РСЗВ, артилерії тощо) [29, С. 32–43].

Однією з найважливіших характеристик програми з 3D технологіями, є ступінь адекватності оцінки та висновків по етапах, часу, простору (місцевості) й т. н. вибраного бойового епізоду (або його елементів), який розглядається. Візуальна інформація, що утворюється під час відновлення, є основою візуалізації бойового епізоду. При цьому для формування необхідних елементів бойового епізоду доцільно створити візуальний ряд, максимально наближений до реальності. Це означає, що потрібно в АСУВ не тільки створити 3D зображення, що імітує реальну місцевість та військову техніку сторін, а й змінювати їх в імітаційному середовищі відповідно до динаміки реальних бойових дій в просторі й часі, що плануються або вже відбулися.

Система візуалізації повинна надавати такі можливості: експорт тривимірних моделей з пакетів тривимірного моделювання, відображення тривимірних моделей, програмний інтерфейс для управління внутрішнім станом і параметрами відображення, різні спеціальні ефекти [29, С. 32–43].

Система візуалізації, як правило, складається з декількох компонентів, основними з яких є графічний конвеєр і набір керуючих програм (рис.2).

Графічний конвеєр може складатися з трьох основних компонентів: формування достовірних даних (інформації), геометричної обробки цих даних і растеризації, тобто переведення векторного зображення даних в растрове. Набір керуючих програм представляє собою засоби для початкової ініціалізації конвеєра та взаємодії із зовнішнім середовищем.

Система візуалізації повинна змінювати ландшафт місцевості в реальному масштабі часу.

При цьому потрібно забезпечити дотримання часових показників.

Візуалізація місцевості вимагає великого обсягу обчислень, які можна робити як на стороні CPU (центрального пристрою, що обробляє інформацію), так і на стороні GPU (окремого пристрою комп'ютера що, виконує графічний рендеринг) [29, С. 32–43]. Однак більшість додатків крім обчислень, необхідних для візуалізації місцевості (рельєфу, ландшафту), виробляють також і обчислення, специфічні для них. У зв'язку з цим основні вимоги, що пред'являються до сучасних алгоритмів візуалізації місцевості – це мінімізація використання ресурсів центрального процесора, звільняючи їх для завдань моделювання майбутніх бойових дій чи бойового епізоду, який уже відбувся. Щоб значно

зменшити в програмному комплексі обсяг даних для візуалізації доцільно, по-перше, відсікати невидимі ділянки ландшафту місцевості, а по-друге, проводити візуалізацію віддалених ділянок місцевості з меншою деталізацією. При цьому рівні

деталізації відіграють значну роль у візуалізації відкритих просторів, оскільки не має необхідності відображати віддалені ділянки ландшафтів в повній деталізації.

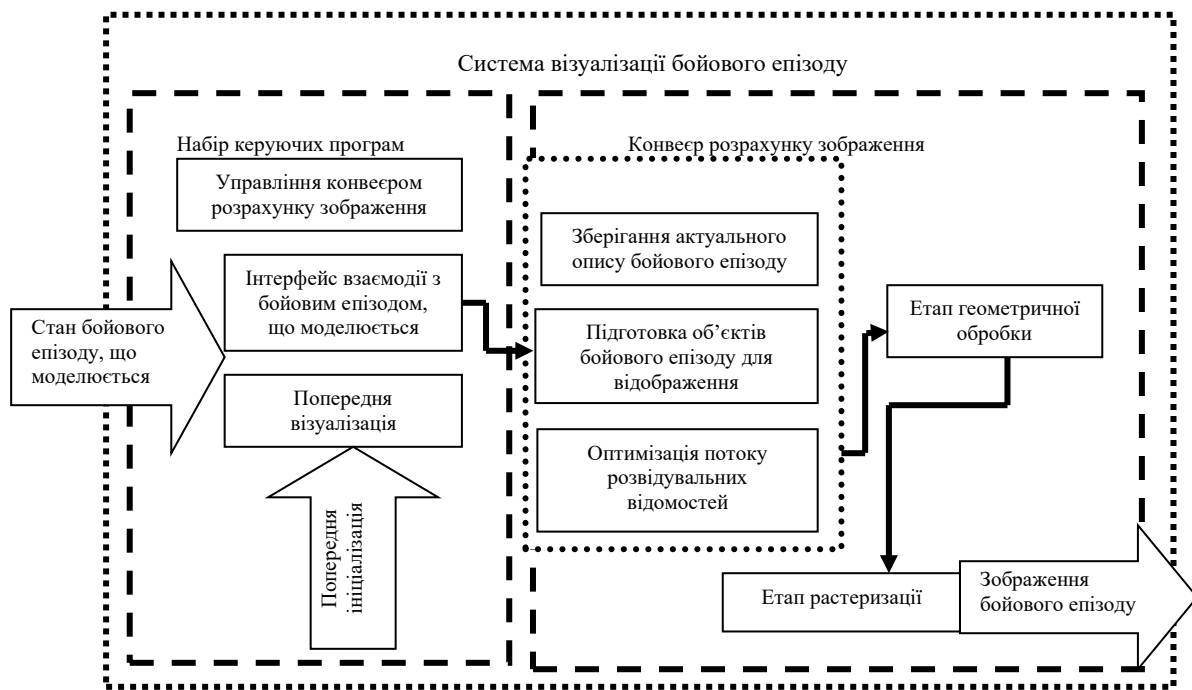


Рис.2. Загальна схема функціонування системи візуалізації

Джерело: розроблено авторами.

Програмний комплекс інтерактивної тривимірної візуалізації бойових епізодів позбавлений недоліків, притаманних текстовому опису з ілюстраціями та має наступні переваги:

- абсолютна емоційна нейтральність та політична безбарвність отриманої інформації про обстановку, що складається (або була);
- візуальна деталізація рельєфу (ландшафту) та тактичних властивостей місцевості, включаючи рослинність, час доби (освітлення), погодних умов в яких будуть або велися бойові дії тощо;
- прогнозовані бойові дії або динамічний перебіг бойових дій;
- можливість прогнозувати або спостерігати за обстановкою з будь-якої точки місцевості, на будь-якому проміжку часу та на протязі усього бою, що неможливо при відео зйомки з БПЛА або дрону, тому що відео-картинка прив'язана до точки та положення знаходження в просторі об'єктиву відеокамери відносно місцевості бойових дій.

Для створення візуалізацій розробляється програмний продукт “Конструктор інтерактивних тривимірних візуалізацій дій підрозділів” (КІТВ), що має наступну функціональність:

1. Відображення реалістичної тривимірної моделі реальної місцевості з деталями (рельєф, будівлі, об'єкти фортифікації, рослинність, орієнтири).

2. Вільний огляд місцевості з різних точок зору (у т.ч. із машин) під різними кутами, що керується користувачем.

3. Відображення тривимірних моделей бойової техніки та військовослужбовців (далі – учасників) на місцевості на заданих користувачем позиціях.

4. Відображення умовних позначень учасників та підрозділів згідно зі стандартом НАТО для тактичних позначок.

5. Показ виконання дій учасниками: пересування, посадка і висадка з машин, ведення вогню, постановка димових завіс тощо.

6. Можливість роботи як на комп'ютерах під управлінням операційної системи Windows, так і на мобільних пристроях під управлінням Android.

7. Інтеграція з платформами дистанційного навчання (наприклад, Moodle).

8. Локалізація інтерфейсу користувача та навчальних матеріалів українською мовою.

9. Порівняно низькі вимоги до обчислювальної потужності комп'ютера.

Передбачений наступний порядок створення візуалізації [28, С. 144]. Перший етап полягає у побудові 3D моделі місцевості. Створюється модель рельєфу, яка узгоджується з ортофотопланом місцевості. Далі наносяться рослинність, орієнтири, споруди, які дозволяють виконати прив'язку до

тактичної карти або згадуються у досліджуваному епізоді.

На другому етапі на побудованій моделі місцевості розміщуються моделі військових та ОВТ перед початком бойових дій. Кожному учаснику задається послідовність дій (пересування, ведення вогню тощо). За необхідністю, до окремих дій додаються текстово-графічні коментарі. Кінцевим результатом є інтерактивна 3D демонстрація, яка з високою точністю і детальністю відображає перебіг епізоду тактичних дій у динаміці. Вона може бути демонстрована як на персональному комп'ютері, так і на планшетному комп'ютері або бути вбудованою у веб-сайт.

Тому КІТВ, по-перше, дає можливість з високою точністю й будь-якого ракурсу відтворити зображення, яке є на даний час або бачив той чи інший військовий у момент прийняття певного рішення, що дозволяє спрогнозувати дії або здійснити аналіз дій. По-друге, це дає можливість подивитися на бойовий епізод з точки зору противника, зокрема, відтворити зображення, яке надають дрони або безпілотні літальні апарати (БПЛА) як свої, так і противника [30, С. 90].

Однак існують загрози в недостовірності або нестачі повної РУінф про сценарій бойових дій, що планується, або бойовий епізод, що досліджується. Тому, завдання створення інтерактивної тривимірної візуалізації бойових дій у часі, вимагає абсолютної повноти та відсутності протиріч у вихідних даних з усього потоку інформації, оскільки в процесі створення такої демонстрації подій, наявні протиріччя та пробіли в них, стануть хибними й зведуть усю роботу нанівець. Для цього в програмному комплексі інтерактивної тривимірної візуалізації бойових епізодів вказуються напрямки уточнення даних і створюється мотивація для їх поповнення. Без повної (або достовірної) інформації з достатнім рівнем корисності неможливо не тільки правильно спрогнозувати (або оцінити) дії сторін (сценарію) в конкретному бойовому епізоді, який планується (або уже стався), а й унеможливити на його прикладі розробити ефективну тактику дій.

Тому, роботу програмного комплексу КІТВ в режимі вибору тактики дій (раціонального сценарію бойових дій), який доцільно б було застосувати під час планування (або аналізу) бойових дій (бойового епізоду), що розробляється (уже стався) або пропонувати його у подальших бойових діях, доцільно організувати в режимах видачі рекомендацій, математичного моделювання та наукового дослідження.

Видачу рекомендацій бажано використовувати для навчання військових тактичної ланки під час планування бойових дій або у ході проведення аналізу бойових епізодів, що вже відбулися.

Рекомендації засновані на обробці та аналізу РУінф для планування майбутнього сценарію (тактики дій) або аналізу даних про дії протидіючих сторін в бойовому епізоді, що відбувся.

Таким чином, кінцевим продуктом є інтерактивна тримірна візуалізація прогнозованих майбутніх бойових дій на місцевості з залученням визначених частин (підрозділів) з визначеним ОВТ або інтерактивна тримірна візуалізація бойового епізоду, яка з високою точністю та деталізацією відображає його у динаміці, часі й просторі.

## Висновки

Автоматизація управління військами – це закономірний і довгий процес, зумовлений технологічним поступом у світі. Отримавши початок в 60-х роках ХХ ст., вона триває й нині. Розвинуті країни вже прийшли до формування повноцінних АСУ військами, де людський фактор мінімізований до можливих рамок. На цей шлях стали й ЗС України, проте АСУ поки існує на етапі впровадження системи-матриці (“Дзвін”, “Дельта”), яка в майбутньому дозволить розбудувати загальну, єдину АСУ бойовими діями військ.

Практика використання КІТВ доцільна для вивчення досвіду бойових дій механізованих, танкових та іншого призначення частин та підрозділів, яка дозволяє створювати інтерактивні тривимірні візуалізації місцевості, розташування військових формувань до тактичної одиниці включно, фортифікаційних споруд, визначати порядок тактики дій кожного учасника та з високою точністю й деталізацією відтворювати динаміку проходження досліджуваних бойових дій у просторі та часі [29, С. 32–43]. Це приводить до висновку про великий спектр її ефективного використання.

Тенденції та закономірності розвитку систем управління бойовими діями військ повинні йти шляхом впровадження та єднання АСУ з мережево-центричною системою, охопленою програмним забезпеченням розвідувальними відомостями з достатнім рівнем достовірності й корисності для вироблення ефективної управлінської інформації щодо бойового застосування сил і засобів ЗС України та інтерактивною тримірною візуалізацією планування майбутніх бойових дій, чи аналізу та вивченню бойових епізодів, які відбулися, для отримання відповідного досвіду й подальшого наукового дослідження можливих сценаріїв ведення бойових дій та сучасних методів і способів ведення різних видів бойових дій.

В умовах повномасштабної агресії російської федерації та білорусі проти України питання автоматизації управління військ є питанням досягнення переваги над ворогом ще в одній, вкрай важливій галузі.

## Список літератури

1. Бабков Ю. П. Визначення переліку інформаційно-розрахункових задач і моделей для перспективних комплексів засобів автоматизації різних ланок управління внутрішніх військ. *Честь і закон*. 2012. Вип. 1. С. 64–70.
2. Подліпас В. О. Застосування трансдисциплінарного підходу при інформаційно-аналітичному забезпеченні процесів прийняття рішень органами військового управління тактичної ланки. *Системи обробки інформації*. 2019. Вип. 4(159). С. 58–64.
3. Созинов М. Использование семантики в стратегии сетцентрического обмена данными Министерства обороны США. URL: [https://primesoftpro.ru/blog/informatsionnye/material\\_60/](https://primesoftpro.ru/blog/informatsionnye/material_60/) (дата звернення: 2.03.2023).
4. Стрижак А. Е. Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2014. № 65. С. 211–223.
5. Любовець Г. В., Король В. Г. Комунікаційно-контентна безпека: проблематика, підходи, етапи становлення: монографія. Дніпро. 2018. 462 с.
6. Варакута В. П. Вплив змістовності управлінської інформації на ефективність знищення засобів противника в процесі інформаційного забезпечення бойових дій військ. *Честь і закон*. Харків: Інститут ВВ МВС України. 2004. № 1. С. 29–34.
7. Варакута В. П., Дробаха Г. А., Лавніченко О. В. Управлінська інформація в інформаційно-аналітичній підсистемі підтримки прийняття рішень на службово-бойову діяльність частин внутрішніх військ. *Честь і закон*. Харків: Академія ВВ МВС України. 2012. № 2. С. 78–83.
8. Варакута В. П., Левицький М. В. та ін. Обґрунтування залежності результату загальновійськового бою від рівня якості змістовності управлінської інформації. *Збірник наукових праць ХУПС*. 2018. Вип. 1(55). С. 8–16.
9. Варакута В. П., Пегач І. А., Стародубцев С. О., Забула О. Є., Чернявський О. Ю. Протиріччя, що виникають у ході загальновійськового бою та шляхи їх вирішення. *Збірник наукових праць ХУПС*. 2017. № 2(51). С. 17–24.
10. Cebrowski Arthur K., Garstka John J. Network-centric Warfare: Its Origin and Future (Мережеве-центрична війна: її походження й майбутнє). *Proceedings, January* / переклад Л. Савіна. 1998.
11. Савін Л. В. “Коучінг війна”. м.: Свразійський рух, 2017. 274 с.
12. Слюсар В. І. Федеративная сеть миссий как средство достижения тактической взаимосовместимости. *Новітні технології – для захисту повітряного простору: зб. тез доп. 15 науково-практичної конференції Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 10–11 квіт. 2019 р.* Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2019. С. 355–356.
13. Савін Л. В. Мережеве-центрична та мережева війна. Введення в концепцію. *Свразійський рух*. м. 2011. 130 с.
14. Слюсар В. І. Военная связь стран НАТО: проблемы современных технологий. *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. 2008. № 4. С. 66–71.
15. Department of Defense. The Implementation of Network-Centric Warfare Washington, D.C., 2005. P. 7.
16. Вернер І. Є. та ін. Автоматизовані інформаційні системи органів управління військами. Київ. 2014.
17. Вернер І. Є. та ін. Застосування сучасних інформаційних технологій в роботі органів управління /за заг. ред. Пермякова О. Ю. Київ: НАОУ. 2006. 368 с.
18. Древницький Д. Автоматизована система управління військами – зброя перемог. *Військовий кур’єр України. Новини, аналітика, розслідування, інтерв’ю*. 18.02.2023. URL: <https://mil.co.ua/avtomatyzovana-systema-upravlinnya-vijskamy-zbroya-peremogy/> (дата звернення: 10.03.2023).
19. Данишевський Г. В., Кондратюк А. Г., Ляшук В. М. Метод формалізації процесу управління військами. *Збірник наукових праць ЖВІ*. 2018. Вип. 15. С. 17–26.
20. Кривоножко Г. Є., Петров Д. В., Жовтун А. А., Пономаренко З. М. Сучасні тенденції розвитку автоматизованих систем управління спеціального призначення. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2017. № 2. С. 68–76.
21. Система управління “Дзвін-АС” стала на озброєння України. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/systema-upravlinnya-dzvin-as-stala-na-ozbroynennya-ukrayiny/> (дата звернення: 4.03.2023).
22. Морфінов С. Delta для ЗСУ: що відомо про новітню систему управління української армії. URL: [https://vartal.com.ua/news/delta-dlya-ukrayinskih-viyskovih-shcho-vidomo-pro-novitnyu-sistemu-upravlinnya\\_360898.html](https://vartal.com.ua/news/delta-dlya-ukrayinskih-viyskovih-shcho-vidomo-pro-novitnyu-sistemu-upravlinnya_360898.html) (дата звернення: 3.03.2023).
23. Допомога Україні і неоднозначна репутація на Заході: чим відома компанія Palantir. URL: <https://speka.media/dopomoga-ukrayini-i-neodnoznasna-reputaciya-na-zaxodi-cim-vidoma-kompaniya-palantir-p1425p> (дата звернення: 3.03.2023).
24. Компанія Palantir в Україні. URL: <https://dou.ua/lenta/news/palantir-and-war-in-ukraine/> (дата звернення: 3.03.2023).
25. Маслюк Л. А., Гавалко В. І., Джигмон С. К. Основні проблемні питання та шляхи їх вирішення при створенні автоматизованих систем управління ракетних військ і артилерії. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Вип. 3(45). 2022. С. 63–68.
26. Герасимов С. Г. Методика використання комп’ютерних програм у підготовці командирів тактичного рівня. Проблеми та напрями вдосконалення підготовки військових фахівців з урахуванням досвіду антитерористичної операції у східних областях України: зб. тез доп. *XVI науково-методичної конференції Військового інституту ім. С. П. Корольова*. Житомир. 2019. С. 40.
27. Баркатов І. В., Фарафонов В. С., Головач С. О. Розробка інтерактивної 3D моделі тактичного поля для підвищення ефективності занять з тактичних і тактико-спеціальних дисциплін при підготовці офіцерів запасу. *Перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами та геоінформаційних систем: зб. матеріалів науково-практичної конференції Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного*. Львів. 2015. С. 144.
28. Фарафонов В. С., Баркатов І. В., Бабак С. А. Застосування інтерактивної 3D моделі тактичного поля для вивчення досвіду бойових дій в зоні АТО. *Наукове забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України: зб. тез доп. VIII науково-практичної конференції Національної академії Національної гвардії України*. Харків. 2017. С. 144.
29. Варакута В. П., Баркатов І. В., Фарафонов В. С., Тюрін В. О., Гончарук С. С., Лозко А. А. Використання інтерактивних тривимірних візуалізацій вивчення бойового досвіду підрозділів в операції об’єднаних сил. *Збірник наукових праць ХНУПС*. Вип. 3(69). 2021. С. 32–43.
30. Болобан С. І., Осадчук Р. М., Савчук А. В. Методичні рекомендації щодо навчання дешифрування наземних об’єктів на знімках з безпілотних літальних апаратів за досвідом АТО. *Проблеми та напрями вдосконалення підготовки військових фахівців з урахуванням досвіду антитерористичної операції у східних областях України: зб. тез доп. XVI науково-методичної конференції Військового інституту ім. С. П. Корольова*. Житомир. 2017. С. 90.

**Відомості про авторів:****Варакута Володимир Павлович**

кандидат військових наук доцент  
доцент кафедри Військового інституту  
танкових військ НТУ “ХПІ”,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-5759-8758>

**Баркатов Ігор Валентинович**

доцент  
завідувач науково-дослідної лабораторії  
Військового інституту танкових військ НТУ “ХПІ”,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-2605-574X>

**Тюрін Валерій Олександрович**

старший науковий співробітник  
Військового інституту танкових військ НТУ “ХПІ”,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3311-9043>

**Фарафонов Володимир Сергійович**

кандидат хімічних наук  
провідний науковий співробітник  
Військового інституту танкових військ НТУ “ХПІ”,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0785-9582>

**Ряполов Євген Іванович**

старший викладач  
Харківського національного  
університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3623-8021>

**Information about the authors:****Volodymyr Varakuta**

PhD in Military Science Associate Professor  
Senior Lecturer of Military Institute  
of Tank Troops NTU “KhPI”,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-5759-8758>

**Igor Barkatov**

Associate Professor  
Head of Scientific Research laboratory  
of Military Institute of Tank Troops NTU “KhPI”,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-2605-574X>

**Valerii Tiurin**

Senior Researcher  
of Military Institute of Tank Troops NTU “KhPI”,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3311-9043>

**Volodymyr Farafonov**

PhD in Chemical Science  
Leading Researcher  
of Military institute of Tank Troops NTU “KhPI”,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0785-9582>

**Yevgen Riapolov**

Senior Lecturer  
of Ivan Kozhedub Kharkiv National  
Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3623-8021>

### **DEVELOPMENT TENDENCIES OF TROOP MANAGEMENT SYSTEMS WITH SUFFICIENT LEVEL OF USEFULNESS OF INTELLIGENCE INFORMATION FOR CREATING INTERACTIVE THREE-DIMENSIONAL VISUALIZATION OF COMBAT EPISODES**

V. Varakuta, I. Barkatov, V. Tiurin, V. Farafonov, Ye. Riapolov

*As evidenced by the practice of the russian-ukrainian war, the basis for achieving a successful outcome of hostilities by units and units of the Armed Forces of Ukraine is: early or operative modeling of the scenario (tactics) of future hostilities; their early and reasonable forecasting of material and technical costs, losses among personnel and weapons and military equipment; determination of the material and technical infrastructure of the enemy to the full depth of the tactical and operational construction of his battle orders, which requires a fire impact; manifestation of full initiative in direct contact with the enemy in all types of combat operations. For convenience and objectivity, the process of predicting the actions of the enemy and simulating the actions of one's troops on the ground in advance or in real time is achieved by visualizing them using programs with 3D technologies. Visualization (computer animation) allows you to depict in detail the terrain (landscape) of the area of future hostilities and contributes to the competent construction of battle orders of units (subunits) of your troops in relation to the location of the enemy up to a tactical unit: a gun, a tank, a soldier, etc. As a result, the process of making an effective decision, determining a sufficient number of forces and means to be used, and choosing a scenario (tactics) of combat operations taking into account a specific situation is simplified. In addition, it is advisable to create a visualization of combat episodes in the area of hostilities that have already taken place in order to professionally analyze the actions of the opposing parties, to identify shortcomings (or positive, useful points) in the actions of our troops or the enemy. In the educational process, the visualization of combat episodes contributes to the acquisition of combat experience, taking it into account in the further actions of the relevant officials of units (units) and subordinate units (units). The results of hostilities depend on the ability of the appropriate control system in the conditions of an extremely complex and highly dynamic network-centric war to ensure the conduct of complex military, aerospace intelligence and the processing of this intelligence with sufficient speed. Level of reliability and usefulness for obtaining effective management information and bringing it to the relevant management bodies (headquarters or decision-making centers) for the purpose of early planning and making informed decisions regarding the combat use of the specified forces and means. Therefore, the study of the specifics of the content of intelligence-management information (IMinf), which enters management systems through interactive three-dimensional visualization of scenarios and combat episodes, and the determination of trends in the development of such systems is extremely relevant.*

**Keywords:** control system; level of reliability and completeness of information; intelligence; management information; decisions; combat operations; network-centric war; information and communication networks.

І.Г. Давидов, В.Л. Козачук, Г.П. Хаврич

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИБОРУ СУЧАСНИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ТВЕРДИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ ЗБРОЙНОЇ АГРЕСІЇ

*Під час ведення бойових дій (особливо високої інтенсивності) Збройні Сили України неминуче зазнають певних втрат аеродромів. Внаслідок бомбардування тверді аеродромні покриття зазнали пошкоджень, які заважають надійній експлуатації повітряних суден. В результаті цього тверді аеродромні покриття потребують відновлення. Для виконання ремонтних робіт можуть бути використані різноманітні матеріали, але якщо діють два обмеження – термін до початку експлуатації та тривалість виконання робіт, то найбільш доцільним є використання сучасних матеріалів. Такі ремонтні матеріали мають відповідати вимозі: матеріали за міцністю повинні забезпечувати несучу здатність не менше, ніж існуючі аеродромні покриття, і відповідати вимогам.*

**Ключові слова:** тверді аеродромні покриття; навантаження; пошкодження; ремонт; ремонтні матеріали; несуча здатність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У перші дні воєнної агресії противником були нанесені ракетні удари по інфраструктурі Збройних Сил України, у тому числі і аеродромам. Головною метою цих ударів було знищення техніки Повітряних сил. Внаслідок бомбардування тверді аеродромні покриття зазнали пошкоджень, які заважають надійній експлуатації повітряних суден. В результаті цього тверді аеродромні покриття потребують відновлення, при чому для цього мають бути використані матеріали, до яких пред'являють вельми жорсткі вимоги. До недавнього часу для відновлення твердих аеродромних покриттів використовували виключно цементобетонні матеріали, які мали майже такі ж характеристики, як і аеродромні покриття. Такі матеріали мають доволі широкий діапазон фізико-технічних характеристик, передусім такі як міцність, прості у використанні, не потребують високої кваліфікації виконавців робіт. Але час відновлення при застосуванні таких, умовно кажучи, традиційних характеристик обумовлений насамперед часом гідратації цементного каменю – 28 діб до максимального набору міцності. Крім того, практика експлуатації аеродромних покриттів показала, що ресурс ділянок, які були відремонтовані з використанням широко розповсюджених матеріалів, як правило, не перевищує 2–3 років [1]. Однією із причин зниження довговічності відновлених ділянок є невідповідність значень характеристик застосовуваних ремонтних сумішей виникаючим у процесі експлуатації навантаженням.

Слід відмітити, що в останні роки в Україні почали пропонувати сучасні модифіковані

будівельні матеріали, які дозволяють значно скоротити час відновлення: за умови вірної організації робіт час може становити не більш 7–10 діб, при чому необхідні значення характеристик міцності – при стисканні, при розтяганні – досягаються повністю. Наслідок – незначна перерва польотів на аеродромі, що в умовах ведення бойових дій вельми актуально.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження останніх років, які було проведено до лютого 2022 року, були присвячені ремонту пошкоджень бетонних аеродромних покриттів, отриманих у мирний час, тобто тоді, коли деструктивними факторами є погодно-кліматичні умови та експлуатаційні чинники [2–4]. Але відкритих публікацій щодо технологічних рішень та сучасних матеріалів, які дають можливість швидко відновити бетонні аеродромні покриття, усунути наслідки нанесення ракетно-бомбових та артилерійських ударів з таким результатом, що вважається прийнятним, наразі не знайдено. Одна з найгостріших проблем полягає у тому, що пошкодження воєнного часу більш сильні, часу для їх усунення значно менше, тому більшість матеріалів, які пропонуються в дослідженнях [5–9], не можуть бути використані в умовах відсічі збройної агресії, яка ще продовжується.

**Мета статті** полягає у висвітленні рекомендацій щодо вибору сучасних будівельних матеріалів, які доцільно використовувати для відновлення твердих аеродромних покриттів під час відсічі збройної агресії.

### Виклад основного матеріалу

На аеродромах військової авіації в Україні

застосовують тверді аеродромні покриття, які мають або монолітну, або збірну конструкцію з попередньо напружених залізобетонних плит. Їхні пошкодження можна умовно поділити на пошкодження мирного часу та пошкодження воєнного часу.

Основні фактори, які впливають на деструкцію твердих аеродромних покриттів у мирний час, – це природний вплив, а також навантаження при здійсненні зльотів і посадок повітряних суден. Слід виділити серед експлуатаційних факторів механічні впливи, а також силові і температурні впливи газового струменя реактивних двигунів літаків.

Природні фактори, які впливають на покриття злітно-посадкових смуг (ЗПС):

- перепади температур протягом доби і сезону, кількість циклів “заморожування-розморожування”;
- вологість повітря;
- опади (їхня частота, кількість і розподіл по сезонах);
- глибина промерзання ґрунту;
- вітри, їхня сила, напрямок і тривалість;
- зледеніння покриття: шар льоду на поверхні ЗПС.

Внаслідок впливу деструктивних факторів виникають такі дефекти:

- усадочні та наскрізні тріщини;
- лущення верхнього шару бетону;
- руйнування верхнього шару покриття на глибину більше 10 мм;
- раковини та вибої;
- відколи країв і кутів плит;
- просідання та пролами карти покриття;
- руйнування заповнювача швів;
- оголення арматури.

Найпоширеніші пошкодження монолітного цементобетонного покриття мирного часу, які виникають внаслідок дії атмосферних та експлуатаційних факторів, – лущення верхньої поверхні бетону, вибої, раковини. Кількість плит з такими пошкодженнями становить приблизно 60 % від загального числа дефектних плит [1]. Найпоширеніші пошкодження аеродромного покриття воєнного часу, – це вибої, які утворюються внаслідок ракетних, бомбових, артилерійських ударів.

У випадку виявлення будь-яких пошкоджень покриття злітно-посадкової смуги мають бути прийняті заходи щодо їхнього негайного усунення, оскільки в іншому випадку є ризик появи аварійного пошкодження й закриття смуги на тривалий ремонт. Але у випадку виявлення дефектів, що загрожують безпеці польотів, вони усуваються негайно до початку польотів. Це дуже важливий момент в експлуатації твердих аеродромних покриттів: він обумовлює необхідність застосування таких матеріалів для відновлення ЗПС, які мають найкоротші терміни набуття необхідних значень

експлуатаційних характеристик твердих бетонних покриттів.

Доволі умовно ремонт твердих бетонних покриттів розділяють на поточний і капітальний.

**Поточний ремонт** проводиться без припинення експлуатації злітно-посадкової смуги. До цього виду ремонту ставляться роботи з постійного запобігання аеродромного покриття від передчасного зношування за допомогою усунення невеликих ушкоджень. Обсяг робіт при поточному ремонті не перевищує 1 % від всієї площі аеродромного покриття. Роботи включають:

- заміну ушкоджених ділянок покриття (плит);
- закладення усадочних і наскрізних тріщин, раковин, вибоїв, відколів, лущення верхньої поверхні бетону;
- заповнення мастикою деформаційних швів;
- ремонт дефектних стиків і арматур, що оголилися, у збірних плитах;
- усунення уступів, тріщин, колій, осідань і проламів (в асфальтобетонних покриттях).

У ході **капітального ремонту** усуваються значні руйнування та деформації твердих бетонних покриттів аеродромів. Найчастіше під час його проведення експлуатація ЗПС зупиняється, тому його намагаються уникнути за допомогою поточного ремонту. Під час виконання капітального ремонту твердих покриттів виконують такі роботи:

- заміну окремих деформованих плит або їхніх частин (ділянок) покриттів, в обсязі до 10 % від загальної площі аеродромних покриттів;
- вирівнювання покриття, яке просіло, у разі, якщо його обсяг становить до 10 % від загальної площі. Виконується методом укладання нового шару покриття з бетону, що приготовлений зі спеціальних розчинів – як правило, з швидкотвердіючих;
- усунення поверхневих дефектів покриття: сколів кутів і кромek плит, лущення верхньої поверхні бетону покриття, раковин, вибоїв плит на ділянках площею до 30 % від загальної площі аеродромних покриттів;
- вирівнювання й посилення існуючих покриттів за допомогою укладання нового шару бетону на окремих частинах покриття. Обсяг виконуваних робіт від 30 % до 100 % від загальної площі покриття аеродрому.

Для виконання ремонтних робіт можуть бути використані різноманітні матеріали, але, якщо діють два обмеження – термін до початку експлуатації та тривалість виконання робіт, то найбільш доцільним є використання сучасних матеріалів. Такі ремонтні матеріали мають відповідати вимозі: матеріали за міцністю повинні забезпечувати несучу здатність не менше, ніж існуючі аеродромні покриття, і відповідати вимогам, наведеним в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні показники бетонів для відновлення цементобетонних покриттів

Показник	Значення
Міцність при стисканні через 1 добу, МПа	20-40
Морозостійкість, цикли	150-200
Усадка, мм/м	0,9-1
Міцність зчеплення зі “старим” бетоном (адгезія), МПа	1,5-2,0

Джерело: [10].

Відновлення покриттів, у випадку якщо дефекти мають глибину до 10 мм, з початку виконується фрезерування та шліфування пошкодженої поверхні. Потім оброблена поверхня очищується від пилу та маленьких шматочків бетону та здійснюється для її насичення шляхом нанесення на поверхню рідкого складу, що ущільнює бетон, так званого пенетруючого матеріалу.

Найбільш високий результат досягається при використанні рідких літій-іонових складів, наприклад, Sikafloor CureHard LI, з витратами 100–150 мл на квадратний метр за умови нанесення в один шар. Але для отримання належного результату слід наносити не менш двох шарів. Додатковий ефект використання таких пенетруючих матеріалів – збільшення морозостійкості обробленого шару бетону [11].

Також ефективним вважається використання рідких пенетруючих матеріалів на основі силікатів, наприклад Prosfas. Цей матеріал має високу проникаючу здатність. Після обробки верхній шар бетону, насичений цим складом, становить до декількох сантиметрів, а морозостійкість після обробки збільшується у два рази [12].

Для ремонту вирв глибиною від 10 мм до 50 мм може бути застосований матеріал Maregrout SV-R Fiber. Цей матеріал є безусадковим, швидко твердіє, містить полімерну фібру. Міцність при стисненні через 28 діб досягає значення більше 65 МПа,

міцність при розтяганні через 28 діб становить 14 МПа. Марка морозостійкості – F300 (300 циклів “замерзання-розмерзання”), що свідчить про гарну довговічність. Адгезія до сталі та бетону – 2 МПа.

Під час ремонту дефектів глибиною до 70–100 мм, використання ремонтних систем на цементній основі не є доцільним, найбільш дієвий результат досягається з використанням матеріалів на цементно-епоксидній основі, наприклад, Sikagard-720 EpoCem, який наноситься шарами товщиною до 5 мм. Sikagard-720 EpoCem – трикомпонентна цементна суміш, яка модифікована водною емульсією епоксидної смоли з підвищеною хімічною стійкістю.

Інший приклад – ремонт дефектів (передусім, вирв) глибиною більше 100 мм. У цьому випадку доцільно використовувати, наприклад, матеріали ARB-10F або ARB-10. Ці матеріали дозволяють ліквідовувати вирви глибиною від 50 мм до 300 мм. Матеріали ARB-10F або ARB-10 – це суміші на основі цементу, вони є безусадковими, швидко твердіють, містять фібру: ARB-10 – полімерну, ARB-10F – полімерну та сталеву. Міцність при стисненні через 28 діб досягає значення більше 75 МПа, міцність при розтяганні через 28 діб становить 8 МПа (ARB-10) та 15 МПа (ARB-10F). Марка морозостійкості – F300. ARB-10F та ARB-10 мають високу адгезію до сталі та бетону – більш ніж 2 МПа.

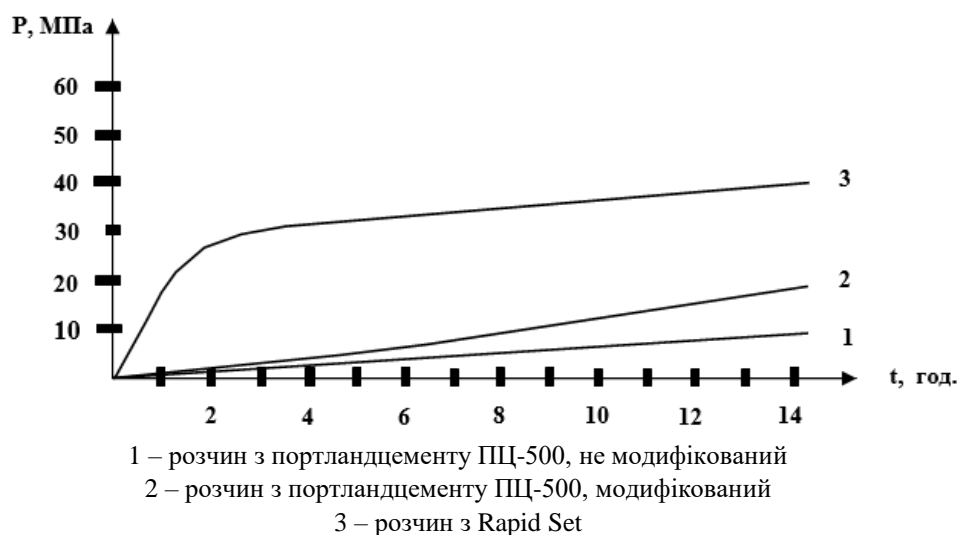


Рис. 1. Залежність набору міцності від часу будівельних розчинів

Джерело: [13].

Усунення дефектів глибиною від 100 мм до 600 мм може бути виконано за технологією Rapid set. Це суміш на основі цементу, яка характеризується вкрай малою усадкою, швидким твердінням, стійкістю до впливу агресивних хімічних сполук, у тому числі й штучного походження. Примітною особливістю цього матеріалу є швидкий набір міцності при тиску (рис.1). Максимального значення міцності при стисненні склад досягає через 28 діб – приблизно 50 МПа.

### Висновки

У статті висвітлено рекомендації щодо вибору

сучасних будівельних матеріалів для використання при відновленні твердих аеродромних покриттів в умовах збройної агресії. Рекомендації розроблено з урахуванням наявності необхідних будівельних матеріалів в Україні. Визначено, що представлені продукти таких продуцентів, як Sika, Mapei, Rapid відповідають вимогам стандартів та державних будівельних норм.

Перспективами подальших досліджень є визначення можливого вигляду, структури та складу системи відновлення твердих аеродромних покриттів для максимально результативного ремонту у ході відсічі збройної агресії.

### Список літератури

1. Матеріали семінару з проектування та оцінки покриття в аеропортах: *Регіональний офіс міжнародної організації цивільної авіації*. Макао, Китай. 4 – 6 березня 2015 р.
2. Красинникова Н. М., Морозов І. М., Хохряков О. В., Хозин В. Г. Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий. *Известия казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2014. № 2. С. 166–172.
3. Ziari H. A., Hayati P. A., Sobhani J. B. Air-Entrained Air Field Self-Consolidating Concrete Pavements: Strength and Durability. *International Journal of Civil Engineering*. 2017. No. 15(1). P. 21–33.
4. Woodman G. R., Robinson N. D. Concrete block surfacing for airfield pavements. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transport*. 2013. No. 117(3). P. 168–176.
5. Каримова А. А., Парамонова М. И., Разрушения и ремонт искусственных покрытий взлетно-посадочных полос. *Alfabuild*. 2019. № 2(9). С. 17–28.
6. Кульчицкий В. А., Макагонов В. А., Васильев Н. Б., Чеков А. Н., Романков Н. И. Аэродромные покрытия. Современный взгляд. м.: физико-математическая литература. 2002. 528 с.
7. Леденев А. А., Перова Н. С., Внуков А. Н., Козодаев С. П., Баранов Е. В., Перцев В. Т. Оперативный ремонт и восстановление аэродромного покрытия и объектов аэродромной инфраструктуры. *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2021. № 3(48). С. 115–123.
8. Лещицкая Т. П., Попов В. А. Современные методы ремонта аэродромных покрытий: учебное пособие. м.: МГАДИ, 1999. 133 с.
9. Бабченко Н. В., Тагиева Н. К. Повышение качества распределения жидкого реагента на взлетно-посадочной полосе с учетом погодных условий. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2015. № 4(43). С. 113–118.
10. ДБН В.2.2-XX:2022 Будівлі та споруди. Аеродроми. Частина I Проектування. Частина II Будівництво. Проект.
11. Веб-сайт. URL: <https://gcc.sika.com/en/construction/refurbishment/concrete-repair/sikagard-720-epocem.html>.
12. Веб-сайт. URL: <https://www.mapei.com/ua/uk/materialy-i-tekhnichnirishennia>, <https://www.mapei.com/ru/ru/produkty/spisokproduktov/opisanie-produkta/arb-10f>.
13. Веб-сайт. URL: [https://www.ctscement.com/datasheet/CEMENT\\_ALL\\_Datasheet\\_DS\\_024\\_EN?c=&t=Professionals](https://www.ctscement.com/datasheet/CEMENT_ALL_Datasheet_DS_024_EN?c=&t=Professionals).

Надійшла до редколегії 05.04.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

#### Давидов Ігор Георгійович

кандидат військових наук  
начальник науково-дослідного відділу  
Центрального науково-дослідного інституту  
Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-9263-3267>

#### Козачук В'ячеслав Леонідович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
провідний науковий співробітник  
Центрального науково-дослідного інституту  
Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0207-7461>

### Information about the authors:

#### Ihor Davydov

PhD in Military Science  
Head of Scientific Research Department  
of the Central Research Institute  
of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-9263-3267>

#### Vyacheslav Kozachuk

PhD in Engineering  
Senior Researcher  
Leading Researcher  
of the Central Research Institute  
of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0207-7461>

**Хаврич Григорій Петрович**  
старший науковий співробітник  
Центрального науково-дослідного інституту  
Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1984-5946>

**Hryhorii Khavrych**  
Senior Researcher  
of the Central Research Institute  
of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1984-5946>

## **RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF MODERN BUILDING MATERIALS FOR USE IN THE RESTORATION OF HARD AIRFIELD SURFACES IN CONDITIONS OF ARMED AGGRESSION**

I. Davydov, V. Kozachuk, H. Khavrych

*In the course of hostilities (especially of high intensity), the Armed Forces of Ukraine will inevitably suffer certain losses of airfields. As a result of the bombing, the hard airfield surfaces were damaged, which hinders the reliable operation of aircraft. As a result, hard airfield surfaces needed restoration, and for this, materials with very strict requirements must be used. In recent years, modern modified structural materials have been offered in Ukraine, which make it possible to significantly reduce the recovery time: if the work is properly organized, the time can be no more than 7–10 days, provided that the required strength values are met characteristics – in compression, and in tension they are fully achieved. The consequence is a slight interruption of flights at the airfield, which is very relevant in the conditions of hostilities.*

*The main factors affecting the destruction of hard airfield surfaces in peacetime are natural influences, as well as loads during take-offs and landings of aircraft. Among the operational factors, mechanical effects, as well as the force and the temperature effects of the gas jet of aircraft jet engines should be singled out. If any damage to the runway surface, measures must be taken to eliminate it immediately, otherwise there is a risk of accidental damage and closure of the runway for long-term repairs. But in case of detection of malfunctions that threaten the safety of flights, they are eliminated immediately before the start of flights. This is a very important point in the operation of hard airfield surfaces: it determines the need to use such materials for the restoration of runways, which in the shortest possible time acquire the necessary values of the operational characteristics of hard concrete surfaces.*

*A wide variety of materials can be used for repair work, but if there are two limitations – the period before the start of operation and the duration of the work, then it is most appropriate to use modern materials. Such repair materials must meet the requirement: the strength of the materials must provide a load-bearing capacity no less than the existing airfield pavements and meet the requirements.*

**Keywords:** hard airfield surfaces; loading; damage; repair; repair materials; load-bearing capacity.

А.А. Засядько, О.В. Рижков, О.В. Юла, В.М. Зозуля

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## **АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ЗОВНІШНЬОТРАЄКТОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ, ОТРИМАНОЇ РАДАРНОЮ СИСТЕМОЮ MFTR-2100/40**

*В роботі розглянуті особливості обробки вимірювальної інформації, отриманої радарною системою MFTR-2100/40 у складі мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. Після обробки, отримані за допомогою радіолокаційного каналу результати зовнішньотраєкторних вимірювань, використовуються для визначення параметрів зразків озброєння та військової техніки.*

*Проаналізовані чинники, що погіршують процес вимірювання радарною системою. Проаналізовані параметри обробки в ПЗ WinTrack, що можуть трактуватися оператором неоднозначно і призвести до хибних результатів. Надані рекомендації щодо застосування радарної системи MFTR-2100/40 з врахуванням метеорологічних явищ.*

*Представлені результати нададуть можливість більш якісного і ефективного проведення випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, що пропонується на постачання до Збройних Сил України.*

**Ключові слова:** радарна система; об'єкти випробувань; програмне забезпечення WinTrack; обробка зовнішньотраєкторної інформації; точність вимірювань.

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** При дослідженні зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), для отримання інформації про їх параметри, для об'єктивної оцінки результатів випробувань необхідно проводити комплексні вимірювання. В процесі зовнішньотраєкторних вимірювань (ЗТВ), вимірювальними засобами з декількох точок спостереження супроводжується зразок (група зразків) випробувань та розраховується його просторове положення. За вибірками просторового положення об'єктів у часі формується траєкторія руху та розраховуються швидкості і прискорення. ЗТВ проводиться за допомогою полігонного вимірювально-обчислювального комплексу (ПВОВ), що уявляє собою сукупність взаємопов'язаних технічних та програмних засобів, призначених для виконання вимірювань та обробки вимірювальної інформації з метою визначення тактико-технічних характеристик об'єктів у різних умовах їх застосування, об'єктивної оцінки результатів випробувань зразків ОВТ [8]. Спостереження та супровід зразків ОВТ забезпечуються радіотехнічними, оптико-електронними засобами, об'єднаними в ПВОВ, з використанням закладених в них алгоритмів обробки сигналів. Оброблена траєкторна інформація використовується для дослідження та прогнозування руху зразку ОВТ. Проте якість ЗТВ ОВТ істотно залежить від похибок, які виникають при обробці вимірювальної інформації та при розрахунках параметрів зразків ОВТ, а також в

різних параметрах режимів обробки інформації, що можуть призвести до абсолютно різного результату: від прийнятного до незадовільного. Тому постає важлива наукова задача аналізу алгоритмів обробки ЗТВ програмним забезпеченням, що в подальшому дозволить оператору врахувати особливості налаштування параметрів цих алгоритмів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для проведення радіолокаційних вимірювань траєкторних параметрів рухомих об'єктів, застосовують мобільні та стаціонарні радіолокаційні станції (РЛС) ЗТВ, у тому числі, і доплерівські радарні системи (ДРС) ЗТВ. Такі РЛС ЗТВ є одними із складових ПВОВ. Вони призначені для виміру, обробки та реєстрації параметрів траєкторій рухомих об'єктів у заданому просторовому об'ємі із заданою точністю і надійністю у ході проведення випробувань широкої номенклатури нових та модернізованих зразків ОВТ, а також проводять вимірювання як разом з іншими засобами вимірювання, так і окремо від них [3]. РЛС також оснащені додатковими оптико-електронними каналами вимірювань (телевізійним, інфрачервоним).

У Державному науково-дослідного інституті випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки у складі мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу (МПВОВ) є ДРС ЗТВ типу MFTR-2100/40. В роботі [8] запропоновані рекомендації комплексного застосування ДРС ЗТВ у складі МПВОВ, що надасть можливість більш якісного і ефективного

проведення випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, що пропонується на постачання до Збройних Сил.

Попередня статистична обробка параметрів руху, закладена в алгоритмах обробки ПЗ, дозволяє істотно скоротити час і підвищити точність траєкторних вимірювань рухомих об'єктів. Зокрема, при попередній статистичній обробці можуть бути частково виявлені і виключені аномальні результати вимірювань [4; 7].

В роботі [2] розглядається вплив похибок на достовірність результату вимірювання ехо-сигналів доплерівського лага об'єкта плавання з метою їх усунення або мінімізації. Дотримання рекомендацій авторів дозволить оптимізувати обробку вимірювальної інформації, невірною обґрунтування вимог до точності вимірювальних систем, забезпечити процес прийняття рішення високоточною координатною інформацією.

В роботі [9] наголошується, що необхідно враховувати і компенсувати відмінності в часі приймання відбитих сигналів, а також часові витрати на перетворення, кодування й передачу інформації при просторово-часовій синхронізації систем обробки інформації.

В роботі [1], з метою підвищення ймовірності прийняття правильного рішення, оператором вогневого засобу розв'язана задача оптимізації обробки вимірювальної інформації в комплексі засобів вимірювально-обчислювального комплексу, що дозволить максимізувати достовірність інформації для прийняття рішення. Запропонований алгоритм дозволить забезпечити отримання максимального обсягу інформації заданої вірогідності за визначений термін контролю та управління об'єктами.

В роботі [6] запропонований алгоритм обробки сигналів у напівактивній радіолокаційній системі, що містять наступні дії:

- оцифрування сигналів на несучій частоті;
- цифрове формування діаграми направленості;
- декодування прямого сигналу та його повторне кодування з метою отримання еталонної копії сигналу передавача без шумів та спотворень;
- усунення небажаних копій прямого сигналу, що надходить з каналу відбитого сигналу;
- розрахунок взаємної функції невизначеності прямого та відбитого сигналів;
- аналіз взаємної функції невизначеності з метою виявлення цілей;
- оцінка параметрів сигналу (вимірювання бістатичних затримки та доплерівського зміщення частоти, азимуту та кута місця);
- оцінка положення та швидкості цілі за допомогою отриманих значень параметрів сигналу та відомих координат передавача підсвічування;

– розрахунок повного вектора швидкості та інших параметрів руху цілі під час її супроводження.

Існує необхідність в удосконаленні методів обробки сигналів, в розробці нових ефективних методів вимірювання і оцінки показників якості отриманих характеристик [1–10].

**Метою статті** є аналіз особливостей обробки зовнішньотраєкторної інформації, отриманої радарною системою MFTR-2100/40, що в подальшому дозволить оператору врахувати особливості налаштування параметрів алгоритмів обробки програмного забезпечення WinTrack.

## Виклад основного матеріалу

### 1. Особливості проведення вимірювань радарною системою MFTR-2100/40.

Радарна система MFTR-2100/40 – це ДРС ЗТВ безперервного випромінювання. Селекція рухомих об'єктів у полі зору радіолокаційного проміння здійснюється за доплерівською частотою [3]. Доплерівська швидкість розраховується з отриманих радаром сигналів і потрапляє до цифрового сигнального процесора, де формується розгортка спектру у часі. Після створення чергового миттєвого спектру, запускається алгоритм автоматичного пошуку треку швидкості, який визначає наявність точок зі співвідношенням сигнал/шум вище порогового. Отримані точки перевіряються на наявність аналогічних максимумів з попередніми відліками спектру, перевіряється їх наявність у наступних відліках і формуються треки (один чи декілька), тобто залежність доплерівської швидкості руху об'єктів від часу. Трек, який довго триває, система вважає основним і відображає (візуалізує) оператору в ході супроводження. При наявності декількох об'єктів, система може перемикається з одного треку на інший при зменшенні співвідношення сигнал/шум. Тому при близькому до порогового співвідношення сигнал/шум інформація у реальному часі носить лише допоміжний характер. Визначені миттєві частоти треків з вимірювального каналу доплерівської частоти подаються на лінійку смугових фільтрів для знаходження відхилення об'єктів від серединної вісі приймальної антени та похилої дальності.

В ході проведення вимірювань, в реальному часі операторам видаються дані одного треку, що має найбільше значення співвідношення сигнал/шум, інші треки зав'язуються але не візуалізуються. Отримати повну інформацію та аналізувати додаткові треки можливо у ході післясеансної обробки. З ростом дальності від радару до об'єкту росте фазовий зсув  $\Delta f$  між переданим та прийнятим сигналами. Цей фазовий

зсув повторюється через одну довжину хвилі  $\lambda$  (фазова неоднозначність). Для усунення фазової неоднозначності передають одночасно ще один сигнал з іншою частотою. В ході обробки прийнятих сигналів в ДРС ЗТВ обчислюється різниця переданих і прийнятих частот  $\Delta f = f_{r2} - f_{r1} = f_{d2} - f_{d1}$  та зсув фаз  $\Delta f$ . Для системи з двох частот фазова неоднозначність настає на відстані декілька кілометрів. Для вимірювання більшої дальності радарна система по черзі, циклічно передає декілька частот (наприклад, чотири для діапазону вимірювання дальності 200 км).

Для отримання розрахунку дальності для однієї точки необхідно отримати всі частоти циклу. При роботі на великій відстані та в умовах щільної хмарності, можлива втрата частини відліків фази у циклі, тому відлік дальності втрачається. Для компенсації втрат відліків дальності в ДРС ЗТВ застосовується програмний механізм розрахунку втрачених відліків між адекватними відліками дальності інтегруванням доплерівської швидкості.

## 2. Особливості обробки траєкторної інформації, що отримана за допомогою

## радіолокаційного каналу програмним забезпеченням WinTrack.

Первинна зовнішньотраєкторна інформація, яка отримана MFTR-2100/40, обробляється в програмному забезпеченні WinTrack та надається у вигляді таблиць та графіків.

Розглянемо процес зовнішньотраєкторних вимірювань за допомогою радіолокаційного каналу з точки зору оператора. На рис.1 показана картина вертикальних швидкостей рухомих об'єктів, отримана за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR-2100/40. Очевидно, що область спостереження за вільно падаючим тілом (1) настільки зашумлена роботою гвинтів, що виокремити момент старту за допомогою саме радіолокаційного каналу неможливо. В цьому випадку необхідно скористатися іншими каналами спостереження радарної системи, що не є проблемою для довізнання інформації. Проте, якщо потрібна інформація щодо вертикальної швидкості руху манекена в перші моменти скидання з гвинтокрилу, необхідно відфільтровувати зайву траєкторію (4) з рис.1, що є окремою задачею дослідження.

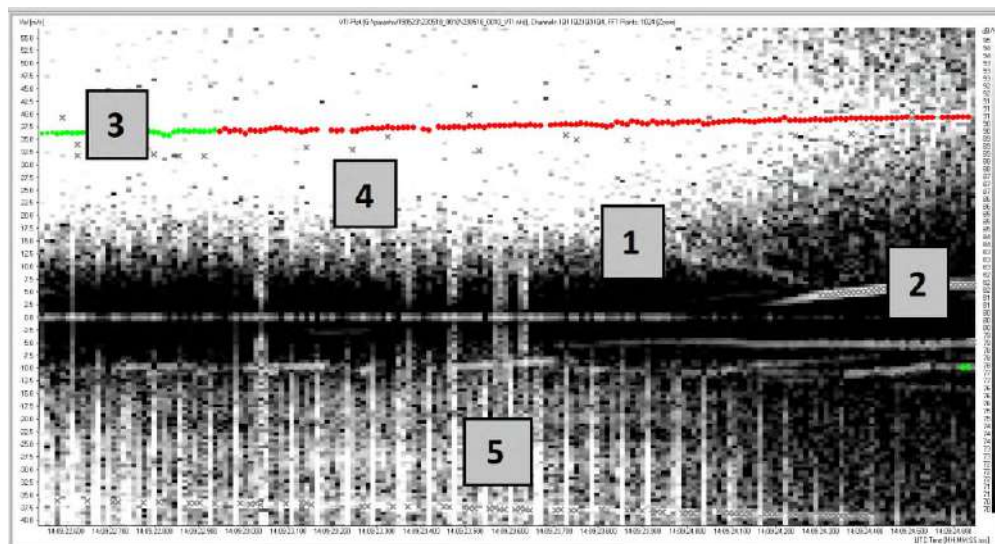


Рис. 1. Вертикальні швидкості гвинтокрила і парашутиста, отримані за допомогою радіолокаційного каналу радарної системи MFTR-2100/40:

- 1 – траєкторія парашутиста (манекену); 2 – траєкторія витяжного парашуту; 3 – траєкторія гвинтокрилу;  
4 – область роботи гвинтів гвинтокрилу; 5 – область, дзеркальна до області 4

Зупинимося на декількох особливостях обробки вимірювань, що розглядаються і частково дозволять вирішити вищевказані проблеми.

## 3. Режими відслідковування одиничних / множинних об'єктів у алгоритмах обробки ПЗ WinTrack

Функція обробки відслідковування як одиничних, так і множинних об'єктів дозволяє визначати об'єкти, присутні в записах файлу даних, і групувати їх виміряні швидкості і положення по часу в траси, які можуть бути додані до робочого

файлу для подальшої постобробки та візуалізації даних. Обробка одиночного об'єкта визначає в записах тільки найбільш істотний об'єкт і створює для нього запис одиничної траси. Обробка множинних об'єктів (багатоцільове стеження – БЦС) створює стільки записів трас, скільки знаходиться в записах сигналів, які потенційно можуть належати до цілей.

Процес БЦС повторюється до тих пір, поки не утвориться новий спектр доплерівського сигналу. Час між цими оновленнями визначається

оператором, а для БЦС в реальному часі – також і продуктивністю пристроїв обробки процесору реального часу. Процес БЦС дозволяє створити нові попередні траси для прогнозування для наступного часового інтервалу, що буде оброблятися. Процес БЦС оперує з локаціями – набором пікових значень спектру, вільного від модуляцій обертання, гармонік або дзеркальних сигналів.

У кожному часовому інтервалі процес БЦС виконує операції:

*Аналіз локацій щодо входження до певних трас.* Для кожної наявної траси за допомогою оновленого набору фільтрів Калмана прогноуються найбільш ймовірні “майбутні спостереження” в термінах швидкості, куту місця і азимуту, а також діапазони ймовірних величин, що називаються вікнами селектору. Локації, що потрапляють у вікно селектору з найбільш близькими до прогнозних значень, привласнюються даній трасі. Якщо не знайдено локацій, що потрапили у вікно селектору, траса в цьому часовому інтервалі не поновлюється. Розмір вікон селектору залежить як від очікуваної динаміки цілі, заданої, наприклад, зміною величини, так і від шуму вимірювання. Результат даної операції – набір оновлених трас, набір трас без оновлень і набір привласнених локацій.

*Аналіз спектру доплерівського сигналу.* Виконується швидке перетворення Фур’є (ШПФ) з використанням віконної функції, оцінюється співвідношення “сигнал/шум” для кожного пікового значення в спектрі і виокремлюються ті значення, для яких співвідношення “сигнал / шум” перевищує встановлений поріг. В результаті отримується необроблений набір піків спектру, кожний з яких належить до потенційної цілі. При відслідковуванні снарядів, випущених з близької до радару точки, прискорення, як правило, велике на початку вимірювання, коли відстань до об’єкта мала, а співвідношення “сигнал/шум” велике. Тоді перша частина вимірювань може оброблятися за допомогою ШПФ малої довжини. По мірі віддалення снаряду його прискорення зменшується, і співвідношення “сигнал/шум” зменшується через збільшення відстані до радару. В цьому випадку досягти прийнятної точності і забезпечити більшу дальність знаходження цілі можна, збільшивши розмір ШПФ.

*Адаптація фільтру до різних змін радіального прискорення цілі.* Збільшення значення даного параметру означає зменшення кількості попередніх вимірювань швидкості, що використовуються для прогнозування наступного вимірювання (що є серединою вікна асоціювання), і збільшення швидкості, з якою вікна асоціювання траси будуть збільшуватися при відсутності вимірювань протягом декількох періодів. Цей параметр – перший

кандидат на вимірювання, якщо виникають проблеми пізнього підтвердження траси (наприклад, на початку балістичних траєкторій поблизу вильоту зі ствола або точки розділення). Зміни величини на декілька порядків не є звичайними для дуже швидких сценаріїв. Для повільних сценаріїв прийняття зменшення даного параметра може забезпечити істотне покращення при відслідковуванні за допомогою доплерівського сигналу близьких цілей або цілей з перетинаючимися трасами. Аналогічні параметри для фільтрів стеження кутів місця і азимуту істотно не впливають на загальні характеристики стеження. Зміна значень даних параметрів впливає тільки на згладжування відфільтрованих трас кутів.

При заданому наборі значень параметрів відслідковування одиничних / множинних об’єктів будуть отримуватися однотипні результати стеження як одиничних, так і множинних об’єктів при умові, що стеження за одиничними об’єктами після звичайної обробки БЦС буде залишати найбільш значущі траси згідно з критеріями, вибраними в настройках – Обробка стеження одиничних цілей.

В програмному забезпеченні проводиться узгодження часу з подією, що відбулася через T секунд після початку стеження за об’єктом вручну, також можна задати параметр UTC time [Всесвітній час] нульової точки вісі часу.

#### **4. Особливості апроксимації траєкторій у алгоритмах обробки ПЗ WinTrack.**

Застосування поліномів, апроксимуючих дискретні вимірювання, отримані від різних вимірювальних засобів, дозволяє представляти вимірювання по співпадаючих моментах часу. Оскільки досліджуваний процес є монотонною функцією часу, то для його апроксимації доцільно вибрати алгебраїчний поліном або лінійну комбінацію ортогональних поліномів, що також є монотонними функціями. В дійсності ж залежність вимірюваних функцій параметрів рухомих об’єктів від часу більш складна і з деяким наближенням може бути прийнята у вигляді поліноміальної. Це призводить до необхідності проведення спеціальних досліджень для вибору порядку апроксимуючого полінома при фіксованому інтервалі згладжування або встановлення інтервалу згладжування при фіксованому порядку полінома [4].

Ще одним важливим інструментом у ПЗ WinTrack є засіб апроксимації або згладжування, яке розраховує набір поліномів, оптимальним чином апроксимуючих дані вимірювань. Таким чином визначається ряд параметрів на основі траєкторії, отриманої при вимірюваннях, якщо навіть вона дуже зашумлена. Подібний підхід використовується для екстраполяції траєкторії за межами отриманих

даних вимірювань, а також для оцінки дульної швидкості або точки падіння (ураження).

Обробка робочого файлу виконується повністю на контролері вимірювального устаткування, використовуючи збережений при виконанні вимірювань, або в результаті обробки файлу даних робочий файл.

За замовчуванням, використовується лінійна апроксимація (апроксимація першого порядку) одного й того ж набору точок даних, а також апроксимація другого порядку, яка зазвичай рекомендується для більш згладженого результату. В загальному випадку використовується поліноміальна апроксимація набору даних за допомогою поліномів заданого порядку. Найкращою апроксимацією по визначенню є поліном із найменшою сумою квадратичних відхилень від набору даних.

Оператор має визначити наступні параметри апроксимації:

- Визначається поліноміальна апроксимація набору даних за допомогою поліномів заданого порядку (Order), зазвичай Order = 1 або 2.

- Параметр Tstep [Крок часу] задає відстань по часу між двома поліномами. Це означає, що новий поліном розраховується для кожного інтервалу довжиною Tstep секунд, і кожний поліном коректний для інтерполяції в інтервалі часу довжиною Tstep. Коли Tstep = 0, крок часу фактично дорівнює відстані між двома точками даних.

- Параметр Tobs [Час спостереження] є довжиною робочого інтервалу, що визначає серію точок даних при розрахунку поліному, апроксимуючого дані. Інтервал спостереження завжди співпадає своєю серединою з інтервалом достовірності. Налаштування, при якій Tobs > Tstep

означає, що поліноми побудовані на даних більших інтервалів, ніж інтервал, в якому даний поліном використовується для інтерполяції. Якщо Tstep = 0, то новий поліном розраховується для кожної нової точки вимірювання.

Локальні ділянки набору даних за допомогою одного поліному описуються прийнятно. Але зазвичай повний набір даних певного проміжку часу погано апроксимується тільки одним поліномом. В цьому випадку використовується набір поліномів, кожний з яких перекриває інтервал часу і значень, і кожний з яких оптимізований для своєї частини набору даних. Крім того, якщо в будь-якій точці набору даних відбувається деяка подія, також може виникнути необхідність у виконанні поліноміальної апроксимації до і після даної події. В цій ситуації час вимірювань розбивається на два (чи більш) сегменти, кожний з яких має власний набір характеристик поліномів. Уведене значення граничного часу стає новим значенням параметру Tstop початкового сегменту і значенням параметру Tstart нового сегменту.

На рис.2 показана необроблена радіальна швидкість і її апроксимація для активно-реактивного снаряду калібру 155 мм в області моменту часу, коли запускається ракетний двигун ( $\approx 6,67$  с). В обох апроксимаціях використовуються параметри: Tobs = 0,2, Tstep = 0,0, Order = 2.

На рис.2а показаний результат застосування тільки одного сегменту з початку і до кінця вимірювання. В перехідній області, де інтервал Tobs перекриває обидві точки вимірювання, як з вимкненим, так і з увімкненим ракетним двигуном, видна типова U-образна форма. На рис.2б показаний результат вставки границі сегментів в момент часу  $t = 6,67$  с:

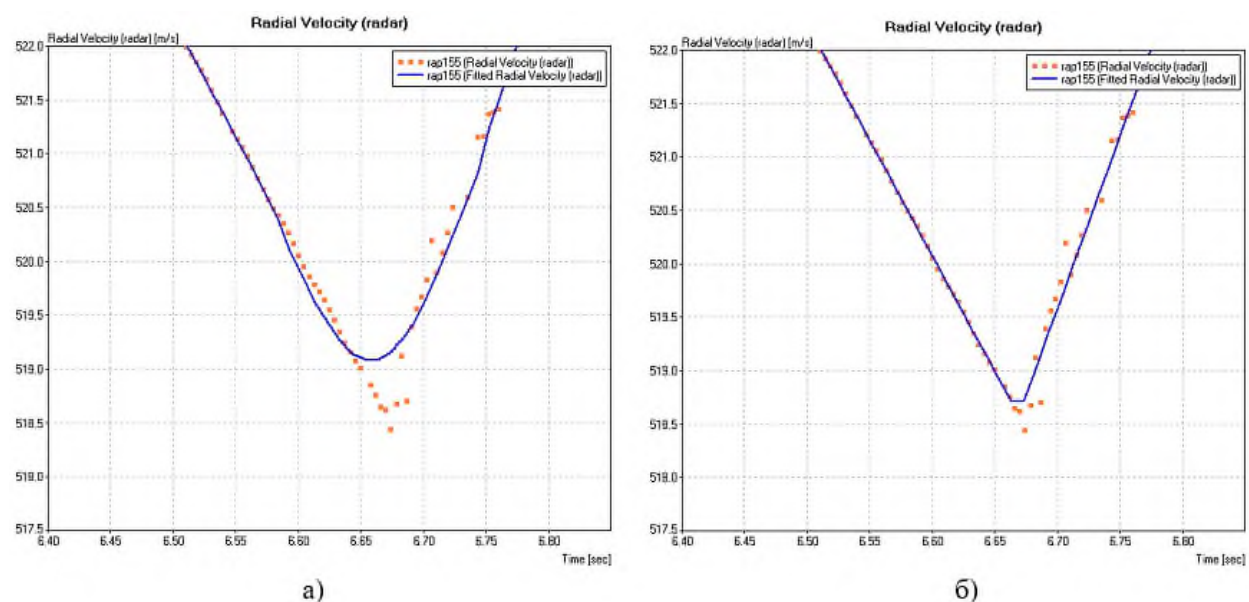


Рис.2. Апроксимації радіальної швидкості: а – на всьому інтервалі; б – припасування двох сегментів в точці мінімуму

U-образна форма показує, що поліноміальна апроксимація з одного боку від границі сегментів враховує точки вимірювань з іншого боку. Результатом є більш точна апроксимація.

Апроксимація траєкторії будується шляхом

дискретизації поліномів апроксимації через кожні 10 мс, при цьому між дискретами будується пряма лінія. Коли траєкторія проходить через значення  $180^\circ$ , поліноміальна апроксимація може виглядати як на рис.3а.

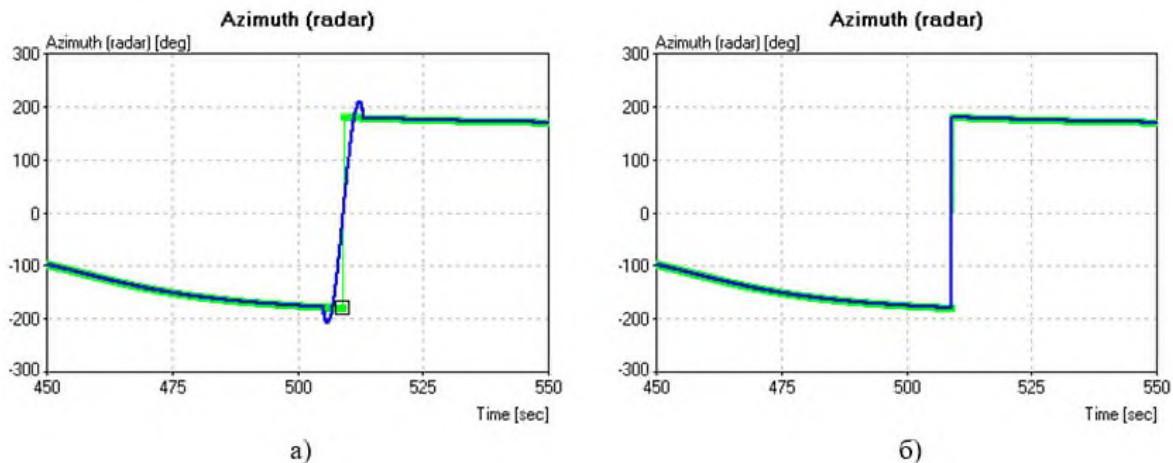


Рис.3. Апроксимації траєкторії (азимуту): а – на всьому інтервалі;  
б – припасавання двох сегментів в точці розриву (стрижку фаз)

В цьому випадку необхідно втручання оператора для знаходження часових сегментів траєкторії за допомогою збільшення розміру графіку або використанні режиму редагування. Тоді відбувається перерахунок поліномів апроксимації на основі нового набору параметрів апроксимації. Операція розбиття на сегменти не дає використовувати точки даних з одного боку від перехідної області для поліномів іншого боку, тому результат буде мати вигляд (рис.3б).

Навіть якщо інтервали спостереження перекриваються, їх інтервали достовірності переходять один в одного без перекриття. При відсутності інших обмежень малоймовірно, що два сусідніх поліноміальних фрагменти будуть співпадати в граничній точці. В результаті

утворюється стрибок або розрив значень в місці переходу від одного поліному до іншого (рис.4а). Проблему розривів вирішує сплайнова апроксимація, коли на поліноми накладається вимога співпадиння в їх кінцевих точках, і оптимізація виконується з врахуванням цього обмеження.

Сплайнова апроксимація може бути узагальнена таким чином, щоб існували перша, друга і т. д. похідні, однакові для двох поліномів в їх кінцевих точках. Цей підхід, проте, має той недолік, що для цього потрібні поліноми більш високих порядків, що можуть утворити криву з небажано великими значеннями крутизни. На рис.4б показана поліноміальна апроксимація другого порядку зі сплайновим з'єднанням нульового порядку:

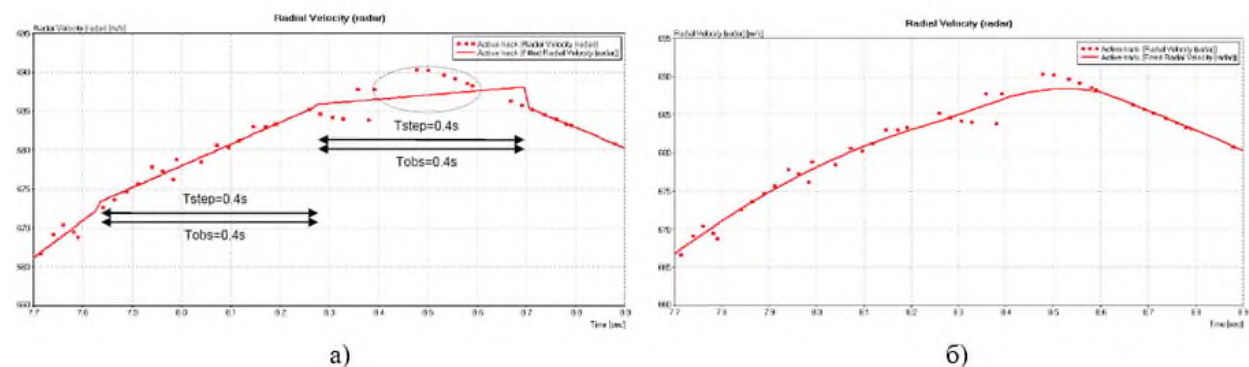


Рис.4. Апроксимація радіальної швидкості:

а – апроксимація першого порядку з часом спостереження  $T_{obs} = 0,4$  с, яка перераховується кожні  $T_{step} = 0,4$  с;

б – апроксимація з параметром Spline [Сплайни], Continuous [Неперервний]

Якщо число припустимих точок даних в інтервалі достовірності, визначене параметром  $T_{obs}$ ,

менше, ніж необхідне число точок, то відрізок симетрично розширюється, поки в наборі даних не

виявиться необхідна кількість точок. Якщо досягається одна з границь сегменту, то відрізок збільшується в іншому напрямку. Якщо обидві границі сегменту досягаються до того, як буде отримана мінімальна кількість допустимих точок, поліноміальна апроксимація не відбувається.

##### **5. Аналіз впливу помилкових параметрів в алгоритмах обробки ПЗ WinTrack при ручному розпізнанні трас.**

При обробці траєкторної інформації за допомогою програмного забезпечення WinTrack можуть виникнути проблеми з визначенням ряду параметрів. При обробці в ПЗ використовується фільтр Калмана, що є типовим для такого класу задач. Помилкові параметри фільтру можуть істотно погіршити характеристики стеження, тому необхідно приділяти увагу вибору їх правильних значень. Параметри і, відповідно, характеристики даного фільтру стеження коректні тільки тоді, якщо селекція виконується за допомогою даного конкретного фільтру. Тому необхідно виконувати додаткову обробку подібного вимірювання перед тим, як визначити або скоригувати необхідний набір параметрів.

Помилки у визначенні, наприклад, фази, що викликана шумом або багатократними відображеннями, можуть призводити до того, що вимірювач відстані буде обирати помилковий розв'язок. Це часто проявляється у вигляді стрибка дальності. Тому, для адекватної оцінки похибки набору частот уведено поняття якості набору частот в ПЗ WinTrack. Якість набору частот – це мінімальна різниця між “мітками” зсуву фаз двох зовсім різних значень дальності. Якість вимірюється в градусах і означає, що кожний вимірюний (не усереднений) фазовий зсув повинен відрізнятись на половину даного значення, щоб не призвести до хибного декодування і подальшого стрибка значення дальності.

Наступний дуже чутливий до своїх значень параметр “Час для підтвердження” визначає підтвердження траси на основі її якості. Якість траси оцінюється на основі вимірювання її ймовірної локації. Сценарії з малою частотою дискретизації можуть в загальному випадку призвести до кращих результатів при більш довшому часі підтвердження і більш високих порогах, оскільки це дозволяє мінімізувати кількість хибних трас. Для сценаріїв з високими частотами дискретизації, або малою довжиною, необхідно зменшувати час для підтвердження. Це зазвичай необхідно для випадків, коли в результатах спостерігається множина попередніх трас, але ні одна з них не підтверджена.

Для врахування динаміки цілей, що спостерігаються радаром, має значення баланс між

помилковими і істинними локаціями. Якщо локації не спостерігаються або сильно розріджені, може бути завищений критерій співвідношення “сигнал/шум”, який потрібно скоригувати. Якщо локації співпадають з лінією, видимою на графіку потужності доплерівського сигналу в координатах “частота – час” (в ПЗ WinTrack – визначений як графік DTI), вікна селектору фільтру Калмана можуть бути надто вузькими, щоб сприймати локації, як допустимі продовження трас, що також потребує корекції. Отже, неправильні параметри керування БЦС можуть призвести до проблем із знаходженням цілей.

Опція “Підтвердження дальності” додає додаткові обмеження на прийняття рішення про підтвердження траси, коли є деяка кореляція між вимірюваною радіальною швидкістю і швидкістю вимірювання відстані, отриманої з каналів МЧ вимірювання відстані. При цьому отримана швидкість буде сильно залежати від якості даних відстані.

Нижче наведені параметри, що також можна налаштувати неправильно, оскільки вони можуть трактуватися оператором неоднозначно:

- Відкидання непривласнених/проміжкових відрізків (в файлі результатів проміжкові траси зберігатися не будуть, що дуже корисно для зменшення розміру файлів трас).

- Встановлення фіксованого часу до видалення (визначення, коли траси будуть вважатися закінченими при поступовому зникненні цілі).

- Налаштування абсолютної радіальної швидкості (ефективний метод видалення хибних трас від повільних цілей, таких як хмари і птахи).

- Налаштування мінімального співвідношення “сигнал/шум” (дозволяє покращити знаходження слабких цілей, але є дуже чутливим і підвищує ймовірність хибної тривоги).

- Визначення параметру максимального радіального прискорення, яке може мати довільна ціль, щоб була ініційована її траса. Основною ціллю параметру є усунення створення цілей по хибним тривогам, викликаним тепловим шумом. Існують подібні параметри для фільтрів азимута і кута місця.

- Настроювання порогу пошуку піків дозволяє отримати деяке розрізнення пікових значень шляхом зменшення значення параметру, або, щоб виконати групування декількох, близько розташованих пікових значень в один домінант. Це може бути корисним в ситуаціях, коли присутні декілька близько розташованих цілей, що призводить до нестабільного підтвердження трас.

- Процедура “Відтинання модуляцій” запобігає визначенню хибних сигналів, створюваних модуляціями обертання, реактивних двигунів і

лопатеї гвинтів, як прийнятних сигналів і причин для створення нових трас. Така помилка може навіть призвести до втрати основної траси. Найбільш стійкі результати можна отримати з усіма задіяними процедурами відтинання модуляцій при обробці файлів даних. При виконанні процесу багатоцільового стеження з відключеною процедурою відтинання, можуть утворитися хибні траси, якщо об'єкт спостереження має сильні модуляції обертання. Проте, в деяких ситуаціях процедура відтинання може призводити до хибних закінчень трас, наприклад, коли об'єкт більшого розміру відокремлюється від меншого, який є головним об'єктом спостереження.

– Відновлення достовірної інформації про дальність до об'єкту можлива лише при повторному післясеансному обробленні отриманих вимірювальних даних за умови виключення оператором хибного відліку (відліків) із масиву первинних даних.

Особлива увага до налаштувань, вказаних вище параметрів, дозволить оператору не допустити помилок і більш якісно провести обробку вимірювальної інформації.

## Висновки

Проведений аналіз особливостей обробки зовнішньотраскторної інформації, отриманої радарною системою MFTR-2100/40 у складі мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу надасть можливість більш якісного і ефективного проведення випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, що пропонується на постачання до Збройних Сил України.

Проаналізовані чинники, що погіршують процес вимірювання радарною системою. Проаналізовані параметри обробки в ПЗ WinTrack, що можуть трактуватися оператором неоднозначно і призвести до хибних результатів.

## Список літератури

1. Павлушко М. Я., Посмітюх О. І., Богатів О. І., Шилан М. В. Алгоритм обробки вимірювальної інформації засобами полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2022. № 1(43). С. 65–72.
2. Барась С. Т., Онищук О. В. Попередня обробка та вимірювання частоти ехо-сигналів доплерівського лага. *Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану)*. 2011. № 8. С. 35–44.
3. Зозуля В. М., Юла О. В., Ляшенко В. А., Рижков О. В., Стригун В. В. Дослідження можливостей проведення зовнішньотраскторних вимірювань параметрів вільно падаючих тіл за допомогою доплерівських радарних систем: звіт про науково-дослідну роботу, шифр: ПАРАМЕТР – 40. Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Чернівці: ДНДІ ВС ОВТ, 2020. С. 127–161. Інв. № 3101.
4. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки тракторных измерений. м.: Сов. радио, 1978. 384 с.
5. Толупа С. В., Дружинін В. А., Наконечний В. С., Цюпа Н. В., Батрак Є. О. Методи та алгоритми обробки радіолокаційної інформації у багатопозиційних системах зі змінною просторовою конфігурацією. К.: Логос, 2014. 230 с.
6. Мирюгін В. І., Даниленко О. В., Магу О. М., Горбань Г. В., Заріцький М. В. Застосування напівактивних радіолокаційних систем (у полі підсвічування сторонніх джерел) для виконання завдань розвідки повітряного простору. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2019. Вип. 2(2). С. 119–123.
7. Радиотехнические системы. Основы построения и теория: справочник / под ред. Я.Д. Ширмана. м.: Радиотехника, 2007. 512 с.
8. Ляшенко В. А., Кузнецов В. О., Кіпріанов О. Л., Єрмоленко Ф. В., Павлюк Т. В. Рекомендації комплексного застосування доплерівських радарних систем зовнішньотраскторних вимірювань у складі мобільного полігонного вимірювально-обчислювального комплексу. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. 2021. Вип. 2(8). С. 72–79.
9. Чернявский Е. А. и др. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов: учебное пособие для вузов. л.: Энергоатомиздат. 1998. 272 с.
10. MFTR-2100. Medium Range TSPI & Debris Radarl. Allerød: Denmark. 2018. С. 1–22.
11. Weibel Doppler Radars. 2019\_01-09 Radar equation. Allerød: Denmark, 2019. С. 1.

Надійшла до редколегії 01.06.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

**Засядько Аліна Анатоліївна**  
доктор технічних наук професор  
науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1640-7580>

### Information about the authors:

**Alina Zasjadko**  
Doctor of Engineering Science Professor  
Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1640-7580>

**Рижков Олександр Володимирович**

начальник науково-дослідної лабораторії  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4820-0410>

**Юла Олександр Васильович**

начальник науково-дослідної лабораторії  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-6309-6594>

**Зозуля Валерій Миколайович**

начальник науково-дослідного відділу  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6389-4302>

**Volodymyr Ryzhkov**

Head of Scientific Research Laboratory  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4820-0410>

**Oleksandr Yula**

Head of Scientific Research Laboratory  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-6309-6594>

**Valerii Zozulia**

Head of Scientific Research Department  
of State Scientific Research  
Institute of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6389-4302>

**ANALYSIS OF THE FEATURES OF PROCESSING ALGORITHMS OF EXTERNAL  
TRAJECTOR INFORMATION RECEIVED OF THE MFTR-2100/40 RADAR SYSTEM**

A. Zaszadko, V. Ryzhkov, O. Yula, V. Zozulia

*The peculiarities of processing measurement information received by the MFTR-2100/40 radar system as part of a mobile polygon measuring and computing complex are considered. After processing, the results of external trajectory measurements obtained using the radar channel are used to determine the parameters of samples of weapons and military equipment.*

*The factors that worsen the process of measurement by the radar system are analyzed. Analyzed processing parameters in the WinTrack software, which can be interpreted ambiguously by the operator and lead to false results. Recommendations are provided for the use of the MFTR-2100/40 radar system, taking into account meteorological phenomena.*

*The presented results will provide an opportunity for more qualitative and effective testing and certification of weapons and military equipment offered for supply to the Armed Forces of Ukraine.*

**Keywords:** radar system; test objects; WinTrack software; external trajectory information processing; measurement accuracy.

Ю.О. Камак<sup>1</sup>, В.Г. Башинський<sup>2</sup><sup>1</sup>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

## МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ БЕЗПІЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЗА ДАНИМИ ПІДКОНТРОЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В статті наводиться опис методу визначення показників безвідмовності (ПБ) безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) під час їх підконтрольної експлуатації (ПЕ). Відзначається, що стандартні підходи до визначення показників безвідмовності оперують із ідеалізованими моделями ситуацій, в яких різними способами обчислюються кількості відмов, а потім на цій базі будуються статистичні моделі. Далі, з урахуванням різного роду авторських припущень формуються показники надійності, і, як їх підмножини, показники безвідмовності.

Таким чином, тут наявна ситуація протиріччя між “зашумленими” експериментально-модельними даними і кінцевими показниками безвідмовності ПБ БпАК (кількість відмов, напрацювання на відмову, інтенсивність відмов та ймовірність безвідмовної роботи), які сформульовані по аналогії з їх ідеалізованими прототипами.

Подолання цього протиріччя пропонується провести розробкою методу, в якому обчислюються кількість відмов  $N^*$  БпАК за стандартний період ПЕ (умовно 100 год нальоту), середньоінтегральне напрацювання на відмову  $T^*$  за період ПЕ БпАК, середньоінтегральна інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ БпАК та середньоінтегральну ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ БпАК.

Визначення цих величин пропонується проводити на базі даних, одержаних під час підконтрольної експлуатації БпАК, за методом, який описано в статті.

Відстежування перебігу підконтрольної експлуатації БпАК виконується шляхом документування фактів відмов-відновлень за допомогою динамічної байєсівської мережі довіри (ДБМ). До початку ПЕ ДБМ створюється засобами середовища моделювання BayesFusionGeNiEAcademic 2.5.

Процес відстежування реалізується шляхом внесення в ДБМ часових означень про відмови та відновлення комплексу в процесі ПЕ. По своїй суті ці означення є внесенням в модель інформації про те, що в певний момент часу певний елемент БпАК відмовив, або був поновлений після відмови. Ця інформація є результатом спостережного експерименту над БпАК і в ДБМ це викликає негайний перерахунок умовних апостеріорних ймовірностей безвідмовної роботи всіх вузлів, працездатність яких залежить від працездатності означуваних вузлів. Ця інформація виникає в потоці дій з практичного використання БпАК і передається в потік дій документування відмов, які оператор виконує в ДБМ. Ці дії дають можливість зовнішньому відносно ДБМ програмному забезпеченню обчислити кінцеві показники безвідмовності БпАК.

**Ключові слова:** безпілотні авіаційні комплекси; підконтрольна експлуатація; показники безвідмовності; метод визначення; системний аналіз.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Стандартні підходи до визначення показників безвідмовності оперують із ідеалізованими моделями ситуацій, в яких різними способами обчислюються кількості відмов, а потім на цій базі будуються статистичні моделі. Далі, з урахуванням різного роду авторських припущень формуються показники надійності, і, як їх підмножини, показники безвідмовності.

Таким чином, тут наявна ситуація протиріччя між “зашумленими” експериментально-модельними даними і кінцевими показниками безвідмовності ПБ БпАК (кількість відмов, напрацювання на відмову, інтенсивність відмов та ймовірність безвідмовної роботи), які сформульовані по аналогії з їх ідеалізованими прототипами.

Подолання цього протиріччя пропонується

провести розробкою методу, в якому обчислювалися б кількість відмов  $N^*$  БпАК за стандартний період ПЕ (умовно 100 год нальоту), середньоінтегральне напрацювання на відмову  $T^*$  за період ПЕ БпАК, середньоінтегральна інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ БпАК та середньоінтегральну ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ БпАК.

Визначення цих величин пропонується проводити на базі даних, одержаних під час підконтрольної експлуатації БпАК, за методом, який описаний нижче.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прогнозування – це сукупність прийомів, способів, які дають змогу на підставі аналізу колишніх (ретроспективних) внутрішніх і зовнішніх достовірних даних зробити висновки про можливий розвиток системи у майбутньому [1]. Нині кількість відомих методів і прийомів прогнозування

перевищує сотню [2]. Вибір методів прогнозування здійснюється відповідно до характеру об'єкта та вимог, які висуваються до інформаційного забезпечення прогнозів.

Досвід, накопичений сучасною прогностикою (дисципліна, яка розробляє теоретичні основи та методи прогнозування), показує, що, в залежності від ступеня формалізації, методи прогнозування можна об'єднати [1] в три групи:

- фактографічні (формалізовані);
- експертні (інтуїтивні);
- комбіновані.

Фактографічні методи прогнозування [3] ґрунтуються на достатньому інформаційному матеріалі про об'єкт прогнозування та його минулий розвиток. До них належить група методів прогновної екстраполяції та моделювання.

Методи екстраполяції базуються на припущенні того, що закономірність (тенденція) розвитку об'єкта в минулому буде незмінною протягом певного часу і в майбутньому. Залежно від особливостей змін рівнів у динамічних рядах екстраполяції можуть бути простими і складними.

Методи простої екстраполяції [2] базуються на припущенні відносної стійкості в майбутньому абсолютних значень рівнів, середнього рівня ряду, середнього абсолютного приросту, середнього темпу зростання.

Методи складної екстраполяції [2] базуються на визначенні основної тенденції, тобто використанні статистичних формул, які описують тренд, під яким розуміється відображення певною функцією тенденції (динаміки) основних прогнозованих показників системи, що досліджується.

Складні методи екстраполяції поділяються на два типи: адаптивні і аналітичні. До адаптивних методів прогнозування належать методи ковзної та експоненціальної середніх, метод гармонійних ваг, авторегресія. До аналітичних методів прогнозування (кривих зростання) відноситься метод найменших квадратів.

Методам багатофакторного моделювання [6] належить особливе місце в сучасному прогнозуванні. Це методи логічного, інформаційного та статистичного моделювання.

Методи статистичного моделювання найбільш поширені в прогнозуванні. Вони поділяються [7] на дві групи:

- прогнозування на підставі одиничних рівнянь регресії;
- прогнозування на підставі системи рівнянь взаємозв'язаних рядів.

Комбіновані методи прогнозування об'єднують експертні і фактографічні методи. Прикладом може бути [8] метод PATTERN, при якому експерти

формулюють колективні судження на основі використання принципу “дерева цілей” (англ. “pattern” – “шаблон”, “модель”, “схема”). Цей формалізований метод реалізує підтримку планування за допомогою відносних показників технічної оцінки.

Прогностичні математичні моделі можна поділити на три групи:

- параметричні;
- структурні;
- комбіновані.

Параметричні моделі відображують залежність рівня і динаміки того чи іншого параметру від рівня і динаміки показників-аргументів. Залежно від виду фактору (зовнішніх або внутрішніх), параметричні моделі [8] поділяють на екзогенні (зовнішні) та ендогенні (внутрішні); а залежно від кількості факторів (часових параметрів) – на одно- та багато-параметричні.

Структурні моделі описують співвідношення та зв'язки між окремими елементами, які утворюють єдине ціле. Такі моделі мають матричну форму і їх застосовують для аналізу зв'язків в складних системах.

У ситуації, коли відомі математичні методи і моделі не можуть адекватно відобразити об'єктивну реальність, використовують [9] також методи імітаційного моделювання. Імітаційна модель є формалізованим описом досліджуваної системи через її елементи та залежності між ними, вона відображає порядок розрахунку показників, які характеризують ці елементи і залежності.

В науковій практиці описані [11] спроби вирішувати завдання прогнозування також за допомогою і різних інших математичних методів, до яких можна віднести варіаційне обчислення, моделювання систем за допомогою диференціальних рівнянь (в т.ч. з аналізом біфуркацій), згладжування сплайн-функціями та ряду інших.

Підсумовуючи, в розробленому в статті методі вважається, що визначені вище показники: кількість відмов  $N^*$  БпАК за стандартний період ПЕ (умовно 100 год нальоту), середньоінтегральне напруження на відмову  $T^*$  за період ПЕ БпАК, середньоінтегральна інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ БпАК та середньоінтегральну ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ БпАК, можуть вважатись такими, які середньостатистично дають оцінку аналогічним показникам в подальших періодах практичного використання БпАК за призначенням і можуть бути використані для порівняння різних зразків БпАК за показниками безвідмовності.

**Мета статті** – розробка методу визначення ПБ БпАК під час їх ПЕ, в якому обчислюються

кількість відмов  $N^*$  БпАК за стандартний період ПЕ (умовно 100 год нальоту), середньоінтегральне напрацювання на відмову  $T^*$  за період ПЕ БпАК, середньоінтегральна інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ БпАК та середньоінтегральну ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ БпАК.

### Виклад основного матеріалу

Для виявлення найбільш суттєвих особливостей пропонованого в даній роботі методу визначення прогнозованих показників безвідмовності БпАК за результатами підконтрольної експлуатації, розглянемо концептуальну діаграму прогнозування показників безвідмовності БпАК за даними ПЕ, виконану в нотації системного аналізу бізнес-процесів IDEF0 [10] (рис.1).



Рис.1. Концептуальна діаграма прогнозування показників безвідмовності БпАК за даними ПЕ  
Джерело: розроблено авторами за даними [10].

Діаграма рис.1 показує, що входом пропонованого методу (ліва сторона блоку моделі) є сам безпілотний авіаційний комплекс як об'єкт оцінювання; управління процесом забезпечується (верхня сторона блоку моделі) інформаційним та програмним забезпеченням; механізми виконання (нижня сторона блоку моделі) представлені членами штатного екіпажу безпілотного комплексу, силами яких і буде виконуватись підконтрольна експлуатація; на виході процесу (права сторона блоку моделі) одержуються показники безвідмовності комплексу разом з висновками та рекомендаціями з його подальшого удосконалення.

Наступна деталізація методу засобами системного аналізу проілюстрована наступною діаграмою процесів (рис.2), виконаною в нотації системного аналізу бізнес-процесів IDEF3 [10].

З рис.2 видно, що метод визначення показників безвідмовності комплексу складається, якщо абстрагуватись від деталей, з двох послідовностей дій, які протікають в часі паралельно та взаємодіють між собою.

Перша послідовність (потік дій) представляє собою стандартний процес підконтрольної експлуатації комплексу, суть якого полягає в циклічному виконанні ним штатних завдань з одночасною фіксацією та документуванням можливих відмов його елементів (підсистем) та моментів їх відновлення після заміни або поточного ремонту.

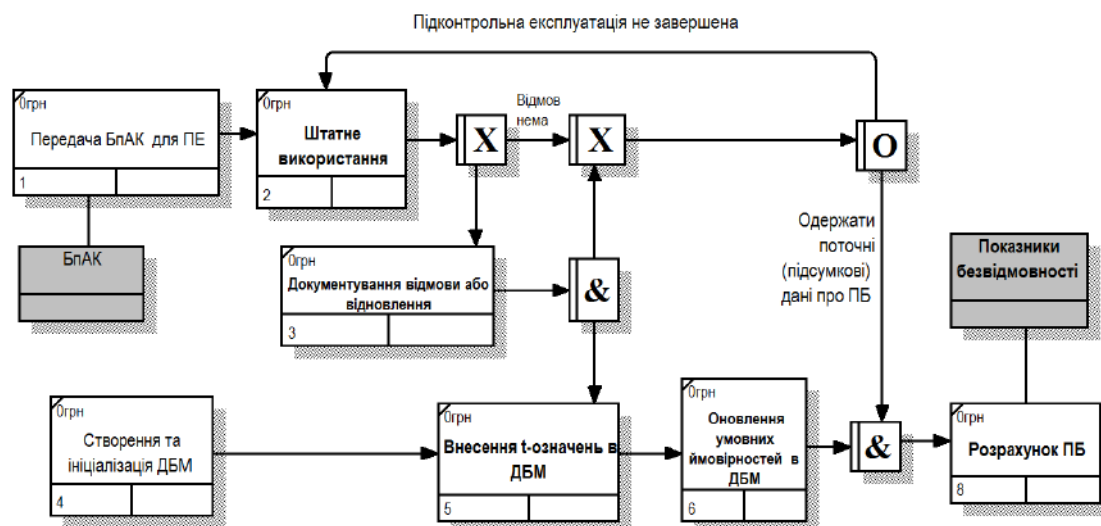


Рис.2. Діаграма процесів визначення показників безвідмовності БпАК за даними ПЕ  
Джерело: розроблено авторами за даними [10].

Другий потік дій пов'язаний з відстежуванням перебігу ПЕ та потоку відмов-відновлень за допомогою динамічної байєсівської мережі довіри. До початку ПЕ ДБМ створюється засобами середовища моделювання BayesFusion GeNiE Academic 2.5.

Процес відстежування реалізується шляхом

внесення в ДБМ часових  $t$ -означень про відмови та відновлення комплексу в процесі ПЕ. По своїй суті  $t$ -означення є внесення в модель інформації про те, що в певний момент часу певний елемент БпАК відмовив або був поновлений після відмови. Ця інформація є результатом спостережного експерименту над БпАК і в ДБМ це викликає

негайний перерахунок умовних апостеріорних ймовірностей всіх вузлів, які мають зв'язки з означуваним вузлом. Ця інформація виникає в першому потоці дій (дія 3 на рис.2) і передається в другий потік, в якому оператор вносить одержану інформацію як часові означення в ДБМ (дія 5 на рис.2). Ці означення фіксують ті факти, що на певному часовому кроці певний елемент зазнав відмови, а на іншому часовому кроці він став справним після відновлення. Після внесення означень в ДБМ відбувається перерахунок розподілів повних апіорних ймовірностей у вузлах, що дає можливість зовнішньому (відносно ДБМ) програмному забезпеченню обчислити кінцеві показники безвідмовності.

Показана на рис.2 діаграма потоку процесів дозволяє одержувати значення кінцевих показників безвідмовності станом на будь-який часовий крок в тривалості ПЕ, що в принципі дозволяє відстежувати динаміку їх зміни в ході проведення ПЕ. Обґрунтованість значень цих показників тим більша, чим ближче момент їх визначення до запланованого кінця ПЕ.

Початковим моментом у застосуванні розробленого методу є момент прийняття рішення про передачу певного зразка БпАК на підконтрольну експлуатацію у військову частину-експлуатант.

Метод застосовується шляхом виконання такої формалізованої послідовності дій (рис.3).

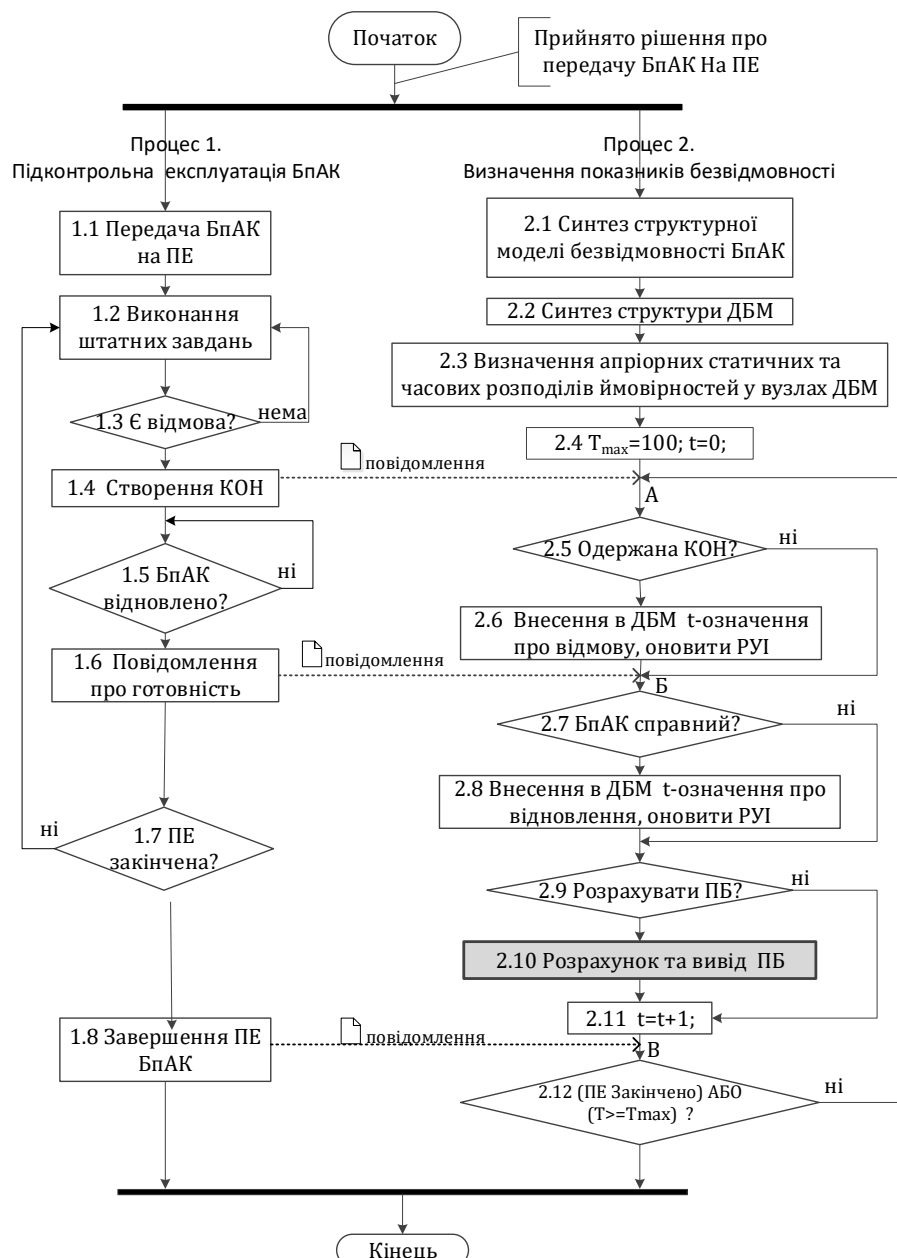


Рис.3. Алгоритм застосування методу визначення прогностичних показників безвідмовності БпАК за результатами ПЕ ( $T_{\max} = 100$  – умовна тривалість ПЕ в годинах нальоту БпЛА)

Джерело: розроблено авторами за даними [11].

Після прийняття рішення про передачу певного зразка БпАК на підконтрольну експлуатацію до військової частини-експлуатанта вибирається (дія 2.1) з множини готових (або розробляється як нова в разі відсутності) структурна модель комплексу з урахуванням особливостей його конструкції та способів експлуатації.

З урахуванням структурної моделі БпАК в середовищі моделювання байєсівських мереж довіри GtNiE створюється (синтезується) (дія 2.2) динамічна байєсівська мережа [12].

Для вузлів створеної ДБМ визначаються (дія 2.3) розподіли апіорних ймовірностей [11]. Для визначення цих ймовірностей залучаються як статистичні дані, одержані попередніми випробуваннями БпАК, так і експерти.

Встановлюються (дія 2.4) початкові умови циклу відстежування відмов та відновлень елементів (підсистем) БпАК в процесі ПЕ. На рис.3 такими умовами показані  $T_{\max} = 100$  (планова тривалість ПЕ в часових кроках, якими зазвичай вважаються години нальоту БпЛА) та початкове значення модельного часу  $t = 0$ .

Далі модель переходить в стан очікування повідомлень про відмови, які можуть відбутися в процесі ПЕ. При умові одержання в точці А з процесу 1 повідомлення про відмову у вигляді картки обліку несправності (КОН) виконується (дія 2.6) внесення в ДБМ часового означення про відмову і оновлення (перерахунок) апостеріорних розподілів умовних ймовірностей (РУІ) у вузлах ДБМ.

При умові одержання в точці Б повідомлення про те, що БпАК відновлено, виконується (дія 2.8) внесення в ДБМ часового означення про відновлення і оновлення (перерахунок) апостеріорних розподілів умовних ймовірностей (РУІ) у вузлах ДБМ.

При умові необхідності розрахунку поточних значень ПБ на поточний часовий крок виконується (дія 2.10) їх визначення.

Виконується (дія 2.11) перехід до наступного часового кроку.

За умови закінчення періоду ПЕ або закінчення періоду контролю (ці події можуть не співпадати) виконується перехід на точку А (дію 2.5). В іншому

випадку алгоритм закінчується.

Розроблений і описаний вище алгоритм використання запропонованого методу створює можливість подальшої розробки та впровадження в практику розробки та експлуатації БпАК спеціалізованого програмного забезпечення для підтримки кінцевих користувачів.

Результати оцінки показників безвідмовності БпАК, одержані за допомогою описаного алгоритму, мають практичну користь у тому випадку, коли цей алгоритм буде системно використовуватись для оцінки не одного, а багатьох зразків БпАК. За цими оцінками можна прогнозувати їх подальшу безвідмовність, як одну з характеристик надійності, та виносити аргументовані судження про перспективність тих чи інших технічних рішень в галузі розробки та виробництва безпілотних авіаційних комплексів.

Результатом ймовірнісного моделювання перебігу ПЕ за допомогою адекватної ДБМ, куди оперативно вносились часові означення, являється розподіл апостеріорних ймовірностей у вузла ДБМ (припустимо, з іменем UAS), який моделює безвідмовність комплексу.

Для оцінки факту працездатності технічних пристроїв найчастіше використовується двоальтернативний підхід до моделювання безвідмовності. Це означає, що вузол UAS буде описуватись двома станами, ОК та Fail, перший з яких відповідає робочому стану, а другий, відповідно, стану несправності. Розподіл ймовірностей виглядає в цьому випадку як

$$UAS(P(OK) = p; P(Bad) = q = 1 - p \quad (1)$$

Модельний час в цьому дослідженні приймається дискретним, в такому разі моменти часу (часові кроки) можна визначати просто за їх індексами

$$i \in N, N = 1...M \quad (2)$$

де  $M$  – визначена в часових кроках тривалість моделювання.

Результатом ймовірнісного моделювання в такому випадку буде функція  $p(t)$ , або, для дискретного представлення,

$$p = p(i) \mid i \in N, N = 1...M. \quad (3)$$

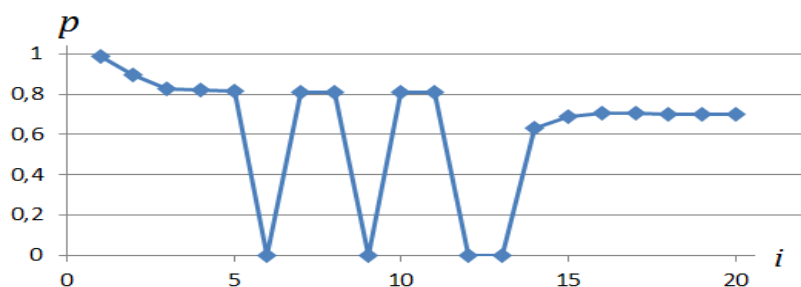


Рис.4. Типовий вид графіку поточної ймовірності  $p$  безвідмовної роботи БпАК в функції номеру часового кроку.

Джерело: розроблено авторами.

Пробні прогони ДБМ на даних ПЕ БпАК засвідчили, що графік  $p(i)$  має типовий вигляд, наведений на рис.4.

Рис.4 побудовано в припущенні  $p(0) = 1, M = 20$ . З аналізу цього графіку видно, що часові означення відмов породжують на ньому “провали” до нуля, оскільки це означає в певні моменти втрату працездатності БпАК, а “марківська” поведінка елементів разом з врахуванням ймовірнісного повертання до працездатного стану (фактор “відновлюваності” елементів БпАК після відмов внаслідок заміни або поточного ремонту) роблять зміну значень  $p(i)$  складною, такою, яка не може бути описана простими математичними залежностями. Тут ми маємо результат ймовірнісного (фактично – імітаційного) моделювання, із значною стохастичною компонентою, до опису якого застосування спрощених ідеалізованих підходів принципово некоректно.

Разом з тим, стандартні підходи до визначення показників безвідмовності, оперують саме із ідеалізованими моделями ситуацій, в яких різними способами обчислюються кількості відмов, а потім на цій базі будуються статистичні моделі. Далі, з урахуванням різного роду авторських припущень формуються показники надійності, і, як їх підмножини, показники безвідмовності.

Таким чином, тут наявна ситуація протиріччя між “зашумленими” експериментально-модельними даними (функція  $p(i)$ ) і кінцевими показниками безвідмовності ПБ БпАК  $(N^*, T^*, \lambda^*, P^*)$ , які сформульовані по аналогії з їх ідеалізованими прототипами.

Подолання цього протиріччя пропонується провести, дещо модифікувавши визначення:

– число відмов за контрольний період  $N$  – на число відмов  $N^*$  БпАК за період ПЕ;

– класичне напрацювання на відмову  $T$  – на середньоінтегральне напрацювання на відмову  $T^*$  за період ПЕ БпАК;

– класичну інтенсивність відмов – на середньоінтегральну інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ БпАК;

– класичну ймовірність безвідмовної роботи – на середньоінтегральну ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ БпАК.

Визначення цих величин пропонується проводити за методикою, яка тут описана нижче.

Кількість відмов БпАК за період ПЕ  $N^*$ . Припустимо, що потік відмов в період ПЕ відповідає ознаці ординарності, тобто в одному часовому кроці не відбуватиметься більше однієї

відмови. Це припущення цілком практичне, оскільки на різного роду випробуваннях БпАК за 6-8 годин полігонної роботи фіксується всього кілька відмов, як правило, незначних. Якщо прийняти тривалість 1 часового кроку як 1 годину нальоту БпАК, то умова ординарності виконується.

Виходячи з цього, якщо

$$P = \{p_i\} | i \in N, N = 1 \dots M, a \quad P_0 \subseteq P, \quad (4)$$

$$P_0 = \{p_0\} | p_0 \div p = 0$$

то

$$N^* = |P_0| \quad (5)$$

Вербально це означає, що  $N^*$  визначається як кількість нульових значень в  $p(i)$ . В формулі (9)  $M$  – кількість часових кроків в періоді оцінювання ПБ, максимально це тривалість ПЕ.

Середньоінтегральна ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$ . Виходячи з визначення, цей показник може бути обчислений як

$$P^* = \frac{1}{M} \int_0^M p(t) dt \approx \frac{1}{M} \sum_{i=0}^M p_i \quad (6)$$

Середньоінтегральна інтенсивність потоку відмов  $\lambda^*$ . При експоненціальному законі розподілу ймовірність безвідмовної роботи обчислюється за формулою

$$p(\tau) = e^{-\lambda^* \tau}, \quad (7)$$

в якій для нашого випадку час  $\tau$  співпадає з номером  $i$  часового кроку модельного часу підконтрольної експлуатації.

Задачу визначення  $\lambda^*$  сформулюємо наступним чином: знайти таке  $\lambda^*$ , при якому функція (2) для нашого випадку апроксимує експериментальну функцію  $p(i)$  за методом найменших квадратів як найбільш розповсюдженим критерієм адекватності апроксимації. Функція  $p(i)$  одержується з середовища GeNIeAcademic як результат ймовірнісного моделювання на ДБМ перебігу ПЕ.

Виходячи з цього, формальний запис нашої задачі виглядає як

$$F = \sum_{i=0}^M (p(i) - e^{-\lambda^* i})^2 \xrightarrow{\lambda^*} \min \quad (8)$$

Шукане  $\lambda^*$  відповідає умові  $\frac{\partial F}{\partial \lambda^*} = 0$ , що дає

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda^*} = \sum_{i=0}^M (2(p(i) - e^{-\lambda^* i})(0 - e^{-\lambda^* i})(-i)) = 0$$

$$\sum_{i=0}^M (p(i) - e^{-\lambda^* i}) i e^{-\lambda^* i} = 0. \quad (9)$$

Рівняння (5) відноситься до трансцендентних, тому найпростіший спосіб його вирішення відносно

$\lambda^*$  – чисельний. Найбільш доступний засіб для цього полягає у використанні команди Дані – Аналіз “що, якщо” – Підбір параметру в Microsoft Excel.

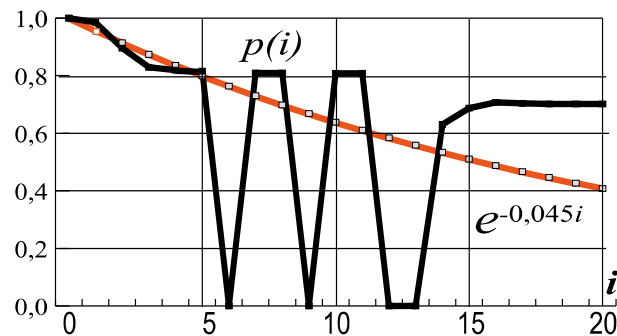


Рис.5. Аппроксимация экспериментальной функции  $p(i)$  экспоненциальной функцией (пример застосування МНК)

Джерело: розроблено автором.

На рис.5 показаний приклад аппроксимации экспериментальной функции.

З рис.4 вказаним методом, за допомогою якого для прикладу було визначено значення  $\lambda^* = 0,045$  (відмов на 1 год нальоту). Для наочності на рис.5 наведено графіки обох функцій.

Середньоінтегральний наробіток на відмову  $T^*$  за період ПЕ. На підставі залежності між параметрами  $\lambda^*$  та  $T^*$  [12] цей показник розраховується як

$$T^* = 1/\lambda^* \quad (\text{годин нальоту на відмову}). \quad (10)$$

Перелічені тут показники, визначені за результатами ймовірнісного моделювання ходу ПЕ та відмов, які фіксувались в її перебігу, будучи застосовані систематично, дозволять об'єктивно порівнювати безвідмовність різних зразків БпАК. Це дозволяє формувати відповідні рекомендації щодо удосконалення та підвищення боєготовності БпАК, які поступають на озброєння до Збройних Сил України.

## Висновки

На підставі аналізу базової системи показників безвідмовності технічних систем, описаної в стандартах та інших нормативних

документах, сформульовано набір репрезентативних показників безвідмовності, які можливо використати по відношенню до БпАК і які можна оцінити за результатами ПЕ. Цими показниками є: кількість відмов БпАК за період ПЕ  $N^*$ ; середньоінтегральна ймовірність безвідмовної роботи  $P^*$  за період ПЕ; середньоінтегральна інтенсивність відмов  $\lambda^*$  за період ПЕ та середньоінтегральне напрацювання на відмову  $T^*$  за період ПЕ.

В статті обгрунтована можливість і необхідність застосування для вирішення завдання прогнозування ПБ БпАК динамічних байесівських мереж довіри, як математичного апарату, здатного ефективно обробляти ймовірнісні дані, одержані в умовах неповноти та неповної визначеності.

Запропоновано та описано новий метод оцінювання показників безвідмовності БпАК за результатами ПЕ, який використовує ДБМ. Розробка методу доведена до стадії формально описаного алгоритму, який, при необхідності, відкриває можливість розробки спеціалізованого програмного застосування для підтримки кінцевих користувачів галузі розробки та експлуатації БпАК в Збройних Силах України.

## Список літератури

1. Лукинский В. С., Зайцев Е. И. Прогнозирование надежности автомобилей. л.: Политехника, 1991. 224 с.
2. Кириленко О. Н. Використання методів математичної статистики для прогнозування розвитку ринку логістичних систем в Україні в сучасних умовах. *Проблеми підвищення ефективності інфраструктури*. 2010. № 26. С. 142–145.
3. Черновол М. І., Черкнун В. Ю., Аулін В. В. та ін. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник. Друге видання, перероблене і доповнене. Кіровоград: КОД, 2010. 320 с.
4. Канарчук, В. Е. и др. Надійність машин. Київ: Либідь, 2003.
5. Андреев І. А. Основи надійності та довговічності обладнання хімічних виробництв. К.: НТУУ “КПІ”. Електронне видання, 2013. 124 с. URL: <http://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/2468/1/Nadiynist.pdf>.
6. Волочій Б. Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Вид-во НУ “Львівська політехніка”. Львів, 2004.

7. David R. A., Dennis J. S., Thomas A. W. Statistics for business and economics. USA, Thomson Higher Education / Thomson South-Western, 2006. 1010 p.
8. Statistical models: theory and practice / David A. Freedman – USA, New York, Cambridge University Press, 2005. 424 p.
9. Marca D. A., McGowan C. L. IDEF0 and SADT: A Modeler's Guide. Open Process Inc., 2005. 392 p.
10. Hunt B. Introduction to Business Process Mapping with IDEF0 & IDEF3. Kindle Edition. Brian Hunt, 1sted., 2013. 19 p.
11. Onisko A., Druzdzel M., Austin M. Application of Dynamic Bayesian Networks to cervical cancers screening. *In Proceedings of Artificial Intelligence Studies*. Vol. 6(29), P. 5–14. Siedlce: Publishing House of the University of Podlasie, 2009.
12. Druzdzel M. J. Intelligent decisions support systems based on SMILE. *Software 2.0*, 2(February), 2005. P. 12–33.

Надійшла до редколегії 30.03.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

#### Відомості про авторів:

##### Камак Юрій Олександрович

начальник науково-дослідного управління  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1953-411X>

##### Башинський Володимир Георгійович

доктор технічних наук  
старший науковий співробітник  
Заслужений діяч науки і техніки України  
Лауреат Державної премії України  
в галузі науки і техніки  
Академік Академії технологічних наук України  
головний науковий співробітник  
Центрального науково-дослідного інституту  
Збройних Сил України,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1712-7772>

#### Information about the authors:

##### Yurii Kamak

Head of Scientific Research Office  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1953-411X>

##### Volodymyr Bashynskiy

Doctor of Engineering Science  
Senior Researcher  
Honored Worker of Science and  
Technology of Ukraine  
The Laureate of State Prize of Ukraine  
in Science and Technology  
Member ATS Ukraine  
Principal Researcher of Central Research  
Institute of the Armed Forces of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1712-7772>

## A METHOD OF PREDICTING FAILURE RATES OF AN UNMANNED AIRCRAFT COMPLEX BASED ON CONTROLLED OPERATION DATA

Yu. Kamak, V. Bashynskiy

*The article provides a description of the method for determining the fault-free work indicators (FWI) of unmanned aerial systems (UAS) during their controlled exploitation (CE). It is noted that standard approaches to determining the reliability indicators operate with idealized models of situations in which the number of failures is calculated by various ways, and then statistical models are built on this basis. Further, taking into account various assumptions of the author, reliability indicators are formulated, and, as their subsets, FWI as well.*

*Thus, there is a situation of a contradiction between the “noisy” experimental model data and the ultimate UAS FWI (number of failures, MTBF, failure rate and probability of failure-free operation), which are formulated by analogy with their idealized prototypes.*

*It is proposed to overcome this contradiction by developing a method that would calculate the number of UAS failures  $N^*$  during the standard CE period (conventionally 100 flights), the average integral MTBF  $T^*$  in the CE period of UAS, the average integrated failure rate  $\lambda^*$  in the CE period of UAS, and the average integral probability  $P^*$  in the CE period of UAS.*

*The determination of the devalues is proposed to be carried out on the basis of data obtained during the controlled UAS exploitation, according to the method described in this article here by.*

*Monitoring the progress of the controlled UAS exploitation is carried out by documenting the facts concerning failures and updates using the Dynamic Bayesian Trust Network (DBN). By the CE beginning, DBN is created using the Bayes Fusion GeNIe Academic 2.5 simulation environment.*

*The tracking process is implemented by making to the DBN records (evidences) about the failure and restoration of the complex in the CE process. These significations are inputting into the model the information about whether at a certain point of time a certain UAS element failed or it was restored after the failure. This information is the result of the UAS observation, and in DBN this causes an immediate recalculation of conditional posterior probabilities of failure-free operation of all whose operability depends on the operability of the nodes got evidenced. This information appears in the actions flow of the practical use of the BPAC and is transmitted to the flow of documenting failures that the operator performs in the DBN. These actions enable the external, relatively DBN, software to calculate the ultimate UAS FWI.*

**Keywords:** *unmanned aviation complexes; controlled by the operator; failsafe indicators; method of determination; system analysis.*

О.В. Кожин, О.В. Мокринський, Д.О. Василець

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ БРОНЬОВАНОЇ РОЗВІДУВАЛЬНО-ДОЗОРНОЇ МАШИНИ БРДМ-2Л1(сб) З ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ DOUTZ BF4M1013FC ПІД ЧАС РУХУ НА ТИПОВИХ ДІЛЯНКАХ ТРАСИ

*У статті розглянуто питання технічної можливості та доцільності модернізації броньованої розвідувально-дозornoї машини БРДМ-2 шляхом заміни штатного карбюраторного двигуна ГАЗ-41 на дизельний двигун DOUTZ BF4M1013FC. Проаналізовано хід проведення пробігових випробувань на типових ділянках траси та визначено тактико-технічних характеристик зразка, надійність роботи вузлів, механізмів та агрегатів встановленого двигуна.*

**Ключові слова:** машина; БРДМ-2; дизельний двигун DOUTZ BF4M1013FC; середня швидкість; часовий розхід палива; кілометровий розхід палива; пробігові випробування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні умови ведення бойових дій висувають підвищені вимоги до мобільності та швидкості переміщення військових підрозділів, як під час здійснення маршу так і під час безпосереднього ведення бойових дій.

Для набуття зазначених спроможностей підрозділи повинні озброюватись сучасним озброєнням та військовою технікою (ОВТ) при цьому актуальними залишаються питання надійності експлуатації зразків ОВТ.

Велика кількість зразків ОВТ, що знаходяться на озброєнні Збройних Сил України, розроблено і виготовлено за часів колишнього СРСР і відповідно в більшості своїй вичерпали встановлений термін служби. Крім того з кожним роком постає проблема технічної економічної недоцільності їх відновлення.

У світовій практиці оновлення парку зразків ОВТ вирішується шляхом створення нового зразка ОВТ із застосуванням сучасних досягнень науки та техніки, модернізації існуючих зразків ОВТ або їх закупівлі. Створення/закупівля дозволяє отримати максимальну відповідність зразка ОВТ сучасним вимогам в той час, як модернізація обмежена в першу чергу конструктивним запасом. Зразка для можливості проведення його модернізації у зв'язку з чим і проводиться вона, як правило, за окремими напрямками.

На вибір шляхів вирішення питань з оновлення парку зразків ОВТ впливають багато факторів. Серед таких факторів є економічні і технічні можливості та наявність часу. Крім того, в умовах війни, гостро проявив себе і політичний фактор, коли за наявності фінансових ресурсів і в умовах гостро обмеженого часу рішення країнами виробниками/постачальниками зразків ОВТ щодо їх продажу/постачання приймається тривалий час або

взагалі не приймається.

В таких умовах фактично приходиться розраховувати тільки на можливості власного промислового комплексу і в першу чергу на його спроможність модернізувати наявні та трофейні зразки ОВТ. І хоча на даний час, неможливо створити повний цикл робіт з проведення модернізації власними силами, що у свою чергу не виключає можливості виникнення перепон у вигляді політичного фактору, але все ж дозволяє за рахунок застосування аналогічних комплектуючих, вузлів та агрегатів виробництва різних виробників вирішувати питання по забезпеченню зразками ОВТ необхідного рівня.

**Актуальність дослідження.** Однією із засад на якій ґрунтується конструкція конкретного зразка ОВТ, є власне первинне джерело енергії. Від його властивостей, в першу чергу потужності, залежить оснащеність, озброєність та захищеність зразка ОВТ. Крім того, обсяг запасу потужності у подальшому впливає на можливість проведення модернізації зразка ОВТ. Для самохідних зразків ОВТ таким джерелом енергії є двигун внутрішнього згорання. Без оновлення двигунів модернізація самохідних зразків ОВТ представляється малоперспективним або поверховим, тобто без суттєвих покращень їх тактико-технічних характеристик.

Дуже яскраво це виглядає на прикладі зразків бронетанкової техніки (БТ), коли якість та кількість протитанкових засобів зростає при одночасному збільшенні у їх складі високоточної зброї, що в свою чергу вимагає підвищення рівня захисту зразків БТ на фоні того, що його сучасний стан і так на досі високому рівні, і подальше нарощування обмежено потужністю штатного двигуна. Як вихід з положення, сучасні зразки БТ мають різний ступінь захисту окремих своїх частин, а не повний.

Деякі конструкторські бюро підійшли до

питання захисту зразків БТ більш радикально і віддали перевагу швидкості за рахунок зменшення броньованого захисту, але і в цьому випадку питання характеристик двигуна і постійної потреби в їх покращенні, в тому числі і збільшенні потужності, не перестає бути актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Заміна штатних двигунів на сучасні є загальносвітовою практикою модернізації ОВТ. Так в статтях Апухтіна Ю.М., Жирохова М.О. [1–3] розглянуто значний модернізаційний потенціал танків, в тому числі і завдяки заміні двигунів на сучасні (5ТДФ, 6ТДФ). При розкритті даної теми, автори спираються на власний досвід експлуатації танків.

В статтях [4–5] відображені напрямки модернізації танків для Збройних Сил України шляхом заміни двигунів, що дає можливість підвищити маневреність та мобільність.

В статті Вахніна О.В., Гамарніка А.А. та Бодуна О.В. [6] розглянуто питання модернізації існуючих самохідних артилерійських систем провідних країн світу.

Широко розглядаються питання модернізації повітряних військових суден шляхом заміни двигунів [7].

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** В Збройних Силах України перебуває броньована машина БРДМ-2, яка вперше була прийнята на озброєння у 1962 році та оснащена карбюраторним V-образним восьмициліндровим двигуном ГАЗ-41 потужністю 103 кВт, який за час випуску суттєвих змін не зазнав. Враховуючи шістдесятилітній вік двигуна та його технічно-експлуатаційні характеристики постає питання щодо доцільності його подальшої експлуатації навіть суто з технічного боку.

Одним з варіантів заміни двигуна ГАЗ-41 є пропозиція встановлення дизельного двигуна DEUTZ BF4M1013FC потужністю 129 кВт в наслідок чого, отримується приріст потужності в 25 % та покращення експлуатаційних характеристики, серед яких надійність та тривалість безперервної роботи [8].

За попередніми розрахунками, зазначена машина отримує покращення тактико-технічних характеристик, які забезпечують виконання завдань за призначенням цілодобово у зонах з різним кліматом, незалежно від пори року, при експлуатації на дорогах з різним покриттям і в умовах бездоріжжя [9–12].

**Метою статті** є дослідження результатів випробувань щодо обґрунтування доцільності модернізації БРДМ-2 шляхом встановлення двигуна підвищеної потужності.

## Виклад основного матеріалу

БРДМ-2Л1(сб) є зразком, який створено на базі БРДМ-2 шляхом заміни штатного двигуна на дизельний чотирициліндровий двигун DEUTZ BF4M1013FC потужністю 129 кВт (173 к.с.) та внесенням додаткових конструктивних змін, основними серед яких є:

- заміна коробки передач на механічну, шестиступінчасту модель EATON FSO-5206B;
- демонтаж обладнання для подолання окопів та траншей і встановлення на його місці бокових дверей для посадки і висадки особового складу;
- встановлення ультракороткохвильової радіостанції “Либідь” К-2РБ;
- обладнання додаткових місць для десанту.

Перед початком випробувань пробіг БРДМ-2Л1(сб) складав 300 км, двигун відпрацював 100 годин (згідно показників приборів). В процесі випробувань БРДМ-2Л1(сб) проїхав 2000 км, двигун відпрацював 96 годин.

Таблиця 1

Характеристики ділянок пробігу

Позначення ділянок траси пробігу	Місцевість	Характер місцевості	Покриття ділянки місцевості	Перешкоди			Протяжність, км
				нерівності	повороти	броди, нахили та інш.	
1	2	3	4	5	6	7	8
T	пересічена або нерівна	траса з вісьмох ділянок	суглинистий або пісчаний	наявні	наявні	наявні	1500
T1	пересічена	траса середньої зношеності	пісчаний	ями глибиною до 0,4 м	рідкі повороти	два броди глибиною 0,6 м	120
T2	рівна	польова дорога	пісчаний	-	два повороти	-	120

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
T3	пересічена	стара польова дорога	суглинисто-супісаний	яма глибиною до 0,6 м, які заповненні водою	часті повороти	1	180
T4	рівна	танкова траса середньої зношеності	пісчаний рихлий	нерівності глибиною до 0,3 м	-	-	110
T5	рівна	лісна дорога	пісчаний	окремі нерівності	часті закриті повороти	-	140
T6	рівна	розбита траса	асфальт, природний камінь	часті нерівності	часті повороти	-	130
T7	пересічена	дорога з підйомами та спусками до 30°	суглинисто-торф'яний	-	-	затяжні нахили (довжиною 50 м та крутизною 30°)	100
T8	рівна	накатана ґрунтова дорога	пісчаний	-	рідкі повороти	один брід глибиною 0,6 м	100
Ш	рівна	траса з рівними прямими ділянками великої відстані	окремі нерівності глибиною 0,25-0,4 м	-	два закритих повороти з радіусом 25-40° та декілька відкритих поворотів	-	500
РП	рівна	ґрунтова дорога з коефіцієнтом супротиву руху 0,086	-	мало нерівності	-	-	320
НЗ	слабкі пересічення	лісна та польова дорога з коефіцієнтом супротиву руху 0,086	-	багато нерівності	багато поворотів середніх та великих радіусів	нахили до 12° довжиною 10-30 м	180

\* Траси позначені: Т – типова, Ш – швидкісна, РП – рівна пряма, НЗ – нерівна звивиста.

Пробігові ділянки траси в табл.1 представляли собою ділянки дороги з асфальтовим і ґрунтовим покриттям, а також ділянки з болотистою місцевістю з великою кількістю поворотів, як закритих, так і відкритих.

Траса пролягала по пересіченій місцевості, на якій були присутні ували з грядками висотою від 30 м до 150 м та нахилами від 12 ° до 30 °.

Пробігові випробування проводились за відпрацьованими та затвердженими методиками з відповідним метрологічним забезпеченням.

Для отримання необхідної інформації, під час випробувань БРДМ-2Л1(сб) фіксувалось:

- частота обертання валів двигуна і коліс;
  - витрата палива;
  - переміщення педалей подачі палива та гальма;
  - перевантаження на місті водія та у центрі мас машини;
  - кутова швидкість машини у горизонтальній площині і кут коливання корпусу машини у вертикальній площині;
  - номер увімкненої передачі;
  - тиск у гідросистемі трансмісії.
- Для оцінки експлуатаційно-технічних показників у процесі випробувань визначались

середні значення наступних показників:

– швидкості руху машини на всій ділянці траси та на окремих ділянках типової траси;

– витрати палива за годинами;

– витрати палива за кілометражем в табл.2;

– запас ходу.

Таблиця 2

Експлуатаційно-технічні показники машини (середні значення)

Траса	Швидкість км/год	Витрата палива л/год	Витрата палива за кілометражем л/км
Т	47	18	4,7
Т1	35	-	-
Т2	50	-	-
Т3	33	-	-
Т4	30	-	-
Т5	47	-	-
Т6	49	-	-
Т7	45	-	-
Т8	55	-	-
Ш	95	45	4,5
РП	78	40	4,0
НЗ	62	36	3,6
Загальна середня величина	69	-	-

На величину середньої швидкості руху мають вплив наступні основні фактори, які обмежують швидкість руху машини по трасі:

– опір ґрунту та нахилу (обмеження по тяговій динаміці);

– плавність ходу машини;

– керованість при повороті;

– втомленість водія під час руху (ергономічний фактор).

Позначимо ці фактори цифрами, відповідно до рядку I, II, III, IV.

Розподіл часу руху на ділянках випробувальних трас з обмеженням по визначених факторам наступний: I – 70 %, II – 15 %, III – 4 % і IV – 11 %.

Запас ходу визначається експериментально-розрахунковим методом згідно об'єму паливних баків та кілометрового використання палива. В конструкції БРДМ-2Л1(сб) для розміщення палива використовуються тільки заброньовані ємкості загальним об'ємом 280 л. Враховуючи дорожні умови, запас ходу склав 600 – 620 км.

Розхід палива на 1 км при русі по трасі “Ш” визначається після подолання 100 км маршруту по прямій швидкісній трасі, розрахунковим методом за формулою:

$$B_0 = \frac{B}{L}, \quad (1)$$

де  $B_0$  – кількість палива, використаного на 1 км;

$B$  – кількість використаного палива (40 л);

$L$  – відстань маршруту, на якому зроблений замір палива (100 км).

При русі по трасі “Ш” збирались дані по швидкості руху машини, кілометровому використанні палива, прискоренням корпусу машини на місті водія, частоти перемикавання передач та частоти обертання колінчатого валу двигуна.

Середня швидкість БРДМ-2Л1(сб) по трасі “Ш” визначається розрахунковим методом, при замірі швидкості на окремих ділянках траси за формулою:

$$S_0 = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots S_n}{n}, \quad (2)$$

де  $S_0$  – середня швидкість руху;

$S_1, S_2, S_3, S_n$  – швидкість на окремих ділянках місцевості;

$n$  – кількість замірів на ділянках.

Отримані результати випробування показали, що основною робочою передачею є IV передача, сумарна кількість включень якої складає приблизно 90 %.

Аналіз розподілу вертикальних прискорень в районі розташування сидіння водія показало, що невеликі нерівності машина долає з невеликим значенням прискорення, що пояснюється невеликою швидкістю та великою підресорною масою

БРДМ-2Л1(сб).

БРДМ-2Л1(сб) з дизельним двигуном DOUTZ BF4M1013FC при русі по типових трасах, враховуючи різні за труднощами подолання ділянки місцевості, має наступні експлуатаційно-технічні показники:

- середня швидкість – 69 км/ч;
- розхід палива на 1 км по швидкісній трасі – 0,4 л;
- розхід палива на 1 км по трасі зі змішаним покриттям – 0,69 л.

Проведення випробувань броньованої розвідувально-дозornoї машини БРДМ-2Л1(сб) з встановленим дизельним двигуном DOUTZ BF4M1013FC показало, що за весь час, на період випробувань, не було зафіксовано жодної поломки

при роботі в різних режимах.

## Висновки

Заміна бензинових машин БРДМ-2 з карбюраторним двигуном на бойову розвідувально-дозornoю машину БРДМ-2Л1(сб) з дизельним двигуном DOUTZ BF4M1013FC є перспективним напрямком в розвідці машинобудування, пов'язаного з виробництвом військової техніки. За результатами випробувань визначено, що дизельний двигун DOUTZ BF4M1013FC потужніший за двигун ГАЗ-41 на 25 %, що дозволяє покращити експлуатаційні характеристики, серед яких надійність, тривалість безперервної роботи, маневреність, економічність витрати пального.

## Список літератури

1. Апухтин Ю. М. Танки Украины и украинская танковая промышленность: веб-сайт. URL: <https://topwar.ru/152797-chto-izsebjia-predstavljajut-tanki-ukrainy-i-ukrainskaja-tankovaja-promyshlennost.html>.
2. Танкові бригади України та їхня роль у захисті країни: веб-сайт. URL: [https://tsn.ua/blogi/themes/o\\_voine/tankovi-brigadi-ukrayini-1492890](https://tsn.ua/blogi/themes/o_voine/tankovi-brigadi-ukrayini-1492890).
3. Жирохов М. О. Українська зброя. Що продає і що купує Україна на ринку озброєнь: веб-сайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2020/10/28/666682/>.
4. Три напрямки модернізації танків для ЗС України: озброєння, маневреність, захищеність: веб-сайт. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2017/08/tanks-modernization.html>.
5. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/ukroboronprom-prezentuvav-novu-programu-modernizatsiyi-tankiv-t-72/>.
6. Вахнін О. В., Гамарнік А. А., Бодун О. В. Основні напрями модернізації самохідних артилерійських систем у провідних країнах світу: веб-сайт. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2018/05/sau-mod.html>.
7. Спецвипробування. Вертолiт МІ-2МСБ: веб-сайт. URL: <https://www.facebook.com/GeneralStaff.ua/posts/1908501832652398/>.
8. Герр Ю. Б., Соловьев В. М., Шпак Ф. П. Об интегральном статистическом показателе воздействия микропрофиля на транспортные машины. *Вестник бронетанковой техники*. 1974. № 5.
9. ГОСТ 22576-90. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. [Действующий от 1992-01-01]. Изд. офиц. м.: Госстандарт Союза ССР, 1992.
10. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. [Действующий от 1992-01-01]. Изд. офиц. м.: Госстандарт Союза ССР, 1992.
11. Котиев Г. О., Смирнов А. А., Федотов М. В., Бутарович Д. О., Карташов А. Б. Разработка бронетранспортера для внутренних войск. *Вопросы оборонной техники*. 2009. Серия 16. Вып. 5–6. С. 10–14.
12. Каторгин А. Н., Воронин С. Е., Павлюченко А. А., Токарь С. Е., Сергиенко А. А. БТР-4Е – первый украинский бронетранспортер. *Механіка та машинобудування*. Харків: НТУ “ХПІ”, 2012. № 2.

Надійшла до редколегії 26.04.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

#### Кожин Олег Володимирович

начальник науково-дослідного відділу  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0009-0003-6144-6540>

#### Мокринський Олексій Володимирович

науковий співробітник – інженер випробувань  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-1982-3107>

### Information about the authors:

#### Oleg Kozhyn

Head of Scientific Research Department  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0003-6144-6540>

#### Oleksiy Mokrynskyi

Researcher – Test Engineer  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-1982-3107>

**Василюк Дмитро Олександрович**

старший науковий співробітник –  
старший інженер випробувач  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації озброєння  
та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0009-0008-2754-1006>

**Dmytro Vasylets**

Senior Researcher –  
Senior Test Engineer  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0008-2754-1006>

## **RESULTS OF THE TESTING OF THE BRDM-2L1(sb) ARMORED RECONNAISSANCE AND SURVEILLANCE VEHICLE WITH A DOUTZ BF4M1013FC DIESEL ENGINE WHILE DRIVING ON TYPICAL SECTIONS OF THE ROAD**

O. Kozhyn, O. Mokrynskyi, D. Vasylets

*The article analyzes the testing methodology of the BRDM-2L1(sb) armored reconnaissance vehicle with a DOUTZ BF4M1013FC diesel engine, designed to replace the BRDM carbureted vehicles with a gasoline engine currently available in the Armed Forces of Ukraine. They received a new mileage that provides assistance in performing their functions around the clock in zones with different climates. During the tests of the prototype of the BRDM-2L1(sb) armored reconnaissance vehicle with an installed DOUTZ BF4M1013FC engine. The analysis of the test results with the obtained results of parameter measurements showed that when replacing the engine, the reliability of the machine is ensured, on which the performance of combat tasks depends, directly the life of the military, which will have a positive effect on the defense capability of the country. The tests were carried out on the running section of the track, which consisted of sections of the road with an asphalt surface and a soil surface, as well as sections with marshy terrain with a large number of turns, both closed and open, on which there were ridges with a height of 30 m to 150 m and slopes from 12 ° to 30 °. At the same time, obtaining the necessary information was ensured with the help of a complete set of control and measuring devices installed. As a result, it was established that the BRDM-2L1(sb) with a DOUTZ BF4M1013FC diesel engine when moving along a typical route, taking into account the varying difficulty of overcoming terrain, has an average speed of 69 kilometers per hour and a fuel consumption of 0.69 liters per 1 kilometer on a mixed-surface route which has much better performance than carbureted BRDM cars with a gasoline engine.*

**Keywords:** vehicle; BRDM-2; DOUTZ BF4M1013FC diesel engine; the average speed; fuel consumption over time; fuel consumption in kilometers; mileage tests.

Є.С. Крижанівський<sup>1</sup>, В.П. Перегончук<sup>1</sup>, Д.С. Печура<sup>2</sup>, А.О. Нікітченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Державне підприємство “Державне Київське конструкторське бюро “ЛУЧ”, Київ

<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

<sup>3</sup>Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси

## МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ БОЙОВИХ ЧАСТИН ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ

У статті наведено методичні та технологічні підходи щодо дослідження працездатності та підтвердження основних характеристик бойових частин засобів ураження різного призначення, запропоновано окремі процедури визначення та підтвердження їх основних тактико-технічних характеристик. Наведено перелік основної апаратури для проведення фізико-хімічних досліджень матеріалів вибухових речовин, методико-технологічні основи та особливості досліджень бойових частин осколкової, фугасної і кумулятивної дії.

**Ключові слова:** бойова частина; засоби ураження; кумулятивність; матеріали спецхімії; осколковість; складова частина; фугасність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні засоби ураження (ЗУ) є одним із важливих та специфічних видів військової техніки, що значною мірою визначають бойовий потенціал Збройних Сил України, а контроль та прогнозування змін їх технічного стану – важливою складовою забезпечення справності і спроможності виконання завдань за призначенням. Важливими особливостями ЗУ є відносна самостійність (відокремленість від пускової платформи) та можливість лише одноразового застосування за призначенням, а їх широка номенклатура характеризується різноманітністю побудови, принципів дії, тактико-технічними характеристиками та параметрами, що визначають їх технічний стан. Перевірка якісного стану більшості із них виконується поза зв'язком з пусковою платформою (бортовим обладнанням літального апарату, пускової установки тощо). Крім того, всі вони є об'єктами підвищеної небезпеки, що обумовлено наявністю в їх конструкції матеріалів спецхімії (вибухових речовини і складів, піротехнічних сумішей, балістичних, піроксилінових, лакових та димних порохів тощо) різноманітного призначення [1].

Під технічним станом ЗУ та їх складових частин (СЧ) будемо розуміти сукупність їх властивостей, які зазнають змін в процесі експлуатації та характеризуються в певний момент часу визначальними параметрами (ознаками), визначеними технічною документацією.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За своєю природою матеріали спецхімії є відносно малостійкими хімічними сполуками, які з часом

поступово розкладаються, але з різною швидкістю. В процесі цих перетворювань змінюються хімічна стійкість і чутливість до ударів, можуть зменшуватися показники якості. Глибина цих перетворювань залежить як від умов і тривалості зберігання, так й особливостей технології виробництва і конструкції СЧ ЗУ, що містять у своїй конструкції матеріали спецхімії. При цьому, навіть незначні відхилення технології виробництва щодо вмісту домішок кислот чи лугів (навіть на десяту відсотка), можуть суттєво змінювати характеристики спорядження таких СЧ та підвищувати їх вибухопожежонебезпечність при довготривалому зберіганні [2–4]. Це обумовлює необхідність дослідження не лише стану матеріалів спецхімії, а й вплив різноманітних чинників на процеси механічних та фізико-хімічних змін (відсутність тріщин та розшарувань, наявність та питома кількість продуктів розкладу, їх взаємодія з лакофарбовим покриттям й конструкційними матеріалами СЧ ЗУ тощо) [5–6].

Враховуючи, що на сьогодні теорію довготривалого зберігання виробів, які містять матеріали спецхімії, у достатній мірі не розроблено, тобто не встановлено кількісного зв'язку між їх хімічною стійкістю та строками зберігання, для оцінювання їх технічного стану необхідно проводити відповідні лабораторно-експериментальні дослідження. При цьому особливо ретельно досліджуються такі СЧ, що мають найбільший вплив на безпеку експлуатації, зокрема БЧ, ракетні двигуни твердого палива (РДТП) тощо. Зазначимо, що для кожного типу ЗУ перелік таких СЧ є індивідуальним [7–8].

Отже, розробка і впровадження методико-технологічних основ досліджень БЧ ЗУ при

організації та проведенні досліджень їх технічного стану є **актуальним науково-технічним завданням**.

**Метою статті** є представлення результатів організації досліджень БЧ осколкової, фугасної і кумулятивної дії та методико-технологічні основи оцінювання їх технічного стану.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень і випробувань матеріалів спецхімії, що входить у конструкцію таких СЧ, необхідно провести відбір проб заданої форми і маси. Для цього застосовується методика дистанційного відбору, яку побудовано з урахуванням можливостей спеціального комплексу технологічного обладнання, основою якого є електромеханічна свердлильна установка горизонтального типу (рис. 1). Відбір проб здійснюється бронзовою фрезою. До комплексу обладнання також входять спеціальний інструмент для знімання запобіжно-виконавчого механізмів, кришок БЧ, піропатронів і соплових блоків з РДТП [6].



Рис. 1. Відбір проб матеріалів спецхімії з бойової частини авіаційної керованої ракети

Для відбору проби, СЧ ЗУ закріплюється на стенді з ложементами. Бронзова фреза пристрою підводиться оператором на відстань 1...2 мм до торця заряду, під яким розміщується лоток із кольорового металу. Після вмикання установки, фреза, обертаючись, здійснює зворотно-поступальні рухи, перетворюючи матеріал заряду у порошкоподібний стан. Відібраний матеріал спецхімії наливається у суху тару з темного скла, щільно закривається та направляється до місця проведення фізико-хімічних досліджень. Процес відбору проб матеріалів спецхімії з БЧ авіаційної керованої ракети показано на рис. 1.

Всі операції виконуються дистанційно у броньованій камері.

Методика оцінювання фізико-хімічного стану матеріалів спецхімії передбачає визначення:

- температури загоряння та кількості енергії, що виділяється при горінні;
- масових часток води, летучих речовин та

компонентів (алюмінію, перхлорату амонію, централіту, магнію тощо);

– хімічної стійкості та кислотності тощо.

За результатами фізико-хімічного аналізу таких СЧ також оцінюється фізичний стан зарядів (відсутність розшарування матеріалів спецхімії, витікання рідин, порушення бронепокриття) та визначається їх хімічний склад щодо відсутності води, зміни вмісту летучих речовин та компонентів тощо [1].

Для проведення фізико-хімічних досліджень матеріалів спецхімії використовується [1; 9–10]:

– вимірювально-обчислювальний комплекс “Вулкан”, який призначено для визначення хімічної стійкості ВР;

– газові хроматографи, які призначено для проведення спектрального аналізу та визначення хімічних речовин по продуктах згоряння;

– бомбовий калорифер, який призначено для визначення параметрів калориметричної системи з відомим енергетичним еквівалентом при спалюванні певної кількості матеріалу спецхімії.

Стійкість матеріалів спецхімії до ударів визначається на спеціальній випробувальній установці (рис. 2).



Рис. 2. Випробувальна установка для визначення стійкості матеріалів спецхімії

При проведенні досліджень і випробувань також перевіряються:

– безпечність транспортування на визначену відстань;

– безпечність при випадковому падінні та стійкість на простріл;

– безвідмовність та надійність спрацьовування після впливу високих та низьких температур, підвищеної вологості, зниженого тиску тощо;

– відповідність параметрів матеріалів спецхімії вимогам нормативно-технічної документації до та

після проведення їх штучного старіння.

Враховуючи, що у складі ЗУ використовуються фугасні, осколкові, фугасно-осколкові, стержневі та кумулятивні БЧ, їх випробування проводяться з урахуванням особливостей дії факторів ураження. Для підриву БЧ застосовують спеціальну збірну конструкцію (спецзбірку), яка виготовляється на основі запобіжно-виконавчого механізму, знятого з ЗУ того ж типу. Відповідно до типу БЧ створюється мішенна обстановка.

Для осколкових, фугасно-осколкових та стержневих БЧ мішені виготовляються у вигляді щитів з металевими листами, які розташовуються по колу (рис.3). Розміри визначаються технічними характеристиками БЧ. У центрі на спеціальній підставці розміщується БЧ разом із спецзбіркою, яку підключають до підривної машинки.



Рис.3. БЧ у мішенній обстановці перед підривом

Після підриву БЧ на щитах мішені залишаються сліди ураження, за кількістю, розмірами і орієнтацією яких визначають основний показник ефективності досліджуваних БЧ цього типу – осколковість, який розраховується як відношення кількості корисних осколків на 1 кг розривного заряду. На рис.4 показано результати ураження мішені стержневою БЧ ракети класу “повітря-повітря”.



Рис.4. Результати ураження осколками БЧ фрагментів мішені

Для випробувань БЧ кумулятивної дії у якості мішені використовують броньові листи. Їх товщина обирається з урахуванням заявленої або очікуваної глибини бронепробиття [12]. При цьому досліджувану БЧ закріплюють таким чином, щоб поверхня броні знаходилася у кумулятивному фокусі заряду. Для отримання адекватного результату відстань між бронелистом і поверхнею ґрунту повинна складати не менш 20 см (рис.5).



Рис.5. БЧ кумулятивної дії перед підривом

Ефективність дії кумулятивних БЧ визначається товщиною пропаленого бронелиста кумулятивним струменем та середніми діаметрами вхідного і вихідного отворів пропалу, які повинні відповідати паспортним або розрахунковим даним [12].

Після підриву БЧ оцінюються:

- кумулятивність дії – глибина пробиття бронеплити та діаметри отворів від дії кумулятивного струменя (зазвичай не менш 30 мм та 10 мм для вхідного та вихідного відповідно);
- повнота детонації заряду (відсутність залишків вибухових речовин після підриву).

Результати дії кумулятивних БЧ на бронеплиту показано на рис.6.



Рис.6. Результати підриву кумулятивних БЧ

Однією із основних характеристик БЧ є фугасність, яка характеризує її потужність та визначає потенційну можливість виконувати деяку роботу.

Характеризується розширенням продуктів детонації до відносно невеликих тисків та формуванням ударної хвилі у навколишньому середовищі.

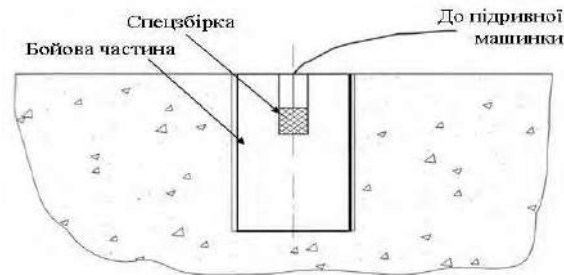


Рис.7. Схема установки бойової частини в ґрунті для перевірки на фугасність

Для порівняльної оцінки фугасності однотипних БЧ різних років виготовлення, у тому числі й після їх штучного старіння, застосовується технологія підриву у ґрунті, тобто оцінка працездатності оцінюється по вирві, що створюється після вибуху. Після вибуху БЧ, що розташована на деякій глибині, утворюється вирва конічної форми радіусом  $R$  і глибиною  $h$  [12]. Як показали результати багатьох експериментів, об'єм вибухової вирви пропорційний працездатності заряду БЧ [2]. На цьому принципі і побудовано метод оцінки відносної працездатності вибухової речовини, що входить у склад БЧ. У якості міри відносної фугасності часто використовується величина тротилового еквівалента, яка визначається розрахунковим або експериментальним шляхом.

Для випробувань БЧ фугасної дії її розташовують у попередньо заготовлені шурфи таким чином, щоб її верхня частина була на рівні ґрунту, який потім ретельно утрамбовують. Схему установки БЧ в ґрунті для перевірки її на фугасність показано на рис.7. Основними елементами спецзбірки є електродетонатор детонатор і заряд, що ініціює досліджувану БЧ.

Для визначення фугасності (працездатності) ВР застосовують методи, що ґрунтуються на вимірюванні об'єму (кількості) продуктів згоряння визначеної

кількості ВР із подальшим порівнянням з еталонними значеннями [2].

Фугасність БЧ оцінюють об'єм викинутого вибухом ґрунту ( $V$ ) за емпіричною формулою [2]

$$V = 1,05 \cdot h^3,$$

де  $h$  – глибина вирви.

Після підриву також оцінюється повнота детонації – візуально, по залишках вибухової речовини або їх відсутності.

### Висновки

Реалізація основних положень методико-технологічні основи досліджень БЧ ЗУ дозволила приймати обґрунтовані рішення як щодо можливості і доцільності подальшої їх експлуатації, так і необхідності введення ряду обмежень, у тому числі й вилучення з експлуатації. Для забракованих БЧ було розроблено технологічний процес заміни на справні, що дозволило суттєво підняти рівень справності типу ЗУ у цілому.

При узагальненні результатів досліджень і випробувань також доцільно застосовувати методичні рекомендації щодо визначення приведенного віку БЧ, яка оцінює вплив умов експлуатації на їх технічний стан [11].

### Список літератури

1. Креденцер Б. П., Ланецкий Б. Н., Лапицкий С. В., Любарев А. А., Одноралов И. В., Шатров А. Н., Шишанов М. А. Основы военно-технических исследований. Синтез системы поддержания исправности средств поражения. Теория и приложения: монография в 11 т. Т.11/ под ред. О. П. Коростелева. Киев: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2019. С. 332.
2. Горст Г. А. Пороха и взрывчатые вещества. м.: Машиностроение. 1972. С. 206.
3. Буллер М. Ф., Белова Л. А., Щербань В. В. Изменение теплоты сгорания порохов и топлив при длительном хранении. *Механика та машинобудування*. Кременчук: 2006, № 2, С. 42–47.
4. Storage of Ordnance, Munitions and Explosives (OME) In Support of Operations, Chapter 11, Ministry of Defence explosives regulations for the safe storage and processing of ordnance, munitions and explosives (OME), MOD. explosives regulations (JSP 482, Edition 4) and Joint Service Publication, UK, 2013. С. 423.
5. Vogelsanger, Bruno Ossola, Ulrich Schddeli, Dominik Antenen and Kurt Ryf: Ballistic shelf life of propellants for medium and small calibre ammunition–influence of deterrent diffusion and nitrocellulose degradation. 19th International Symposium of Ballistics, Interlaken, Switzerland, 7 – 11 May 2001. С. 323.
6. Щербань В. В. Проблемы и опыт организации исследований и выполнения работ по продлению сроков службы (хранения) авиационных средств поражения. Материали конференції “Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки”. Київ: НАУ, 2011. С. 111–112.
7. Ланецкий Б. М., Лук'янчук В. В., Лісовенко В. В., Теребуха І. М. Особливості військово-наукового та науково-технічного супроводження робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет та напрямки удосконалення нормативного та науково-методичного забезпечення цих робіт. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 3(28). С. 48–54. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.28.06>.

8. Любарець А. А., Шатров А. М., Шишанов М. О., Павловський І. В. Методологічні основи обґрунтування структури системи підтримання справності засобів ураження, за якими не здійснюється авторський нагляд. *Озброєння та військова техніка*. 2018. № 1(17). С. 72–76.

9. Буллер М. Ф. Производство и исследование пироксилиновых порохов. Хроматографические методы контроля. *Хімічна промисловість України*. 2011. № 2. С. 48–51.

10. Буллер М. Ф. Оценка методов определения химической стойкости порохов и взрывчатых веществ. *Вісник НТУУ “КПІ”. Сер. “Гірництво”*. 2000. Вип. 4. С. 55–59.

11. Сторожук С. М., Перегончук В. П., Дроль О. Ю., Бабарига А. С. Методичний підхід щодо визначення приведеного віку засобів ураження як показника оцінки їх технічного стану. *Збірник наукових праць ДНДІА*. Вип. 18(25). Київ: ДНДІА, 2022. С. 104–109. <https://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-16>.

12. Акуліна І. П., Городкова Б. Є., Резниченко Л. В., Кулешова А. І., Д’якова Г. В. Руководство по боевому применению авиационных средств поражения наземных (морских) объектов. *Авиационные неуправляемые средства поражения*. Военное издательство, 1984. № 1. С. 392.

Надійшла до редколегії 22.02.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

#### Відомості про авторів:

##### Крижанівський Євген Сергійович

кандидат технічних наук начальник сектору  
Державного підприємства “ДержККБ “ЛУЧ”,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-5868-3471>

##### Перегончук Владислав Петрович

магістр начальник сектору  
Державного підприємства “ДержККБ “ЛУЧ”,  
Київ, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3369-198X>

##### Печура Дмитро Сергійович

кандидат технічних наук  
старший науковий співробітник  
начальник науково-організаційного відділу  
Державного науково-дослідного інституту авіації,  
Київ, Україна  
<http://orcid.org/0000-0002-5703-4039>

##### Нікітченко Анна Олександрівна

магістр молодший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<http://orcid.org/0000-0001-9387-5639>

#### Information about the authors:

##### Yevhen Kryzhanivskyi

PhD in Engineering Head of the Sector  
of State Enterprise “SKDB “LUCH”,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-5868-3471>

##### Vladyslav Perehonchuk

Master Head of the Sector  
of State Enterprise “SKDB “LUCH”,  
Kyiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3369-198X>

##### Dmytro Pechura

PhD in Engineering  
Senior Researcher  
Head of the Scientific and Organizational Department  
of State Research Institute of Aviation,  
Kyiv, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0002-5703-4039>

##### Anna Nikitchenko

Master Junior Research  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<http://orcid.org/0000-0001-9387-5639>

## METHODOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL RESEARCH BASICS OF COMBAT PARTS OF MEANS OF DEFEAT

Ye. Kryzhanivskyi, V. Perehonchuk, D. Pechura, A. Nikitchenko

*Modern combat weapons are one of the important and specific types of military equipment that largely determine the combat potential of the Armed Forces, and control and forecasting of their technical condition is an important component of ensuring serviceability. By the technical condition, we mean the totality of their properties, that change during operation and are characterized at a certain point in time by the defining parameters (signs) defined by the technical documentation. Given that the quantitative relationship between the chemical resistance of explosives and the terms of operation has not been established to date, it is necessary to conduct appropriate laboratory and experimental studies to assess their technical condition.*

*The article provides the methodical and technological bases of remote sampling of explosive substances of a given shape and mass, which are used to determine: the ignition temperature and the amount of energy released; mass fractions of moisture, volatile substances and components; chemical stability, acidity, etc. As an example, the process of sampling from the warhead of a guided missile is shown.*

*The study of combat units is carried out taking into account the features of the design and the action of the damage factors. High-explosive, fragmentation and cumulative targets have been developed for this purpose. Explosiveness, fragmentation (the number of useful fragments per 1 kg of charge) and cumulativeness (penetration depth) are used as the main parameters that determine their technical condition. The article provides examples of tests of various combat units and the results of the effects of factors affecting the target.*

*The implementation of the main provisions of the methodical and technological foundations of the research of combat units made it possible to make informed decisions about the possibility, expediency and features of their further exploitation.*

**Keywords:** warhead; means of destruction; cumulative effect; special chemical materials; fragmentation; constituent part; explosiveness.

А.Г. Павленко, В.В. Ларін, Г.М. Гапоненко

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОСТІ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ВИПРОБУВАНЬ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ У КОНТЕКСТІ ОБОРОННОГО ПЛАНУВАННЯ

*Для вирішення проблемних питань розвитку системи випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) запропоновано методичний підхід до визначення пріоритетності напрямів розвитку. визначено орієнтовний перелік заходів, на основі яких може бути сформована множина варіантів розвитку. сформовано у попередньому вигляді сукупність показників оцінювання альтернативних варіантів розвитку. методичний підхід, запропонований у статті, може бути покладений в основу методики визначення пріоритетності напрямів розвитку системи випробувань ОВТ.*

**Ключові слова:** озброєння та військова техніка; система випробувань; спроможності; експериментально-випробувальна база; інфраструктура; пріоритетність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Результати випробувань озброєння та військової техніки (ОВТ) з оцінкою відповідності оперативно-тактичним та тактико-технічним вимогам відіграють роль інформаційного зворотного зв'язку щодо створення необхідних умов для набуття військами спроможностей, пов'язаних із застосуванням даних зразків, комплексів та систем [1].

Достовірність результатів випробувань, а також повнота та оперативність їх отримання залежать від властивостей системи випробувань ОВТ, які визначають її власні спроможності функціонування за призначенням.

Як свідчить досвід країн-членів НАТО, розвиток відповідних спроможностей системи випробувань ОВТ знаходить відображення в ієрархії цілей, завдань та об'єктів оборонного планування [2–3].

При цьому, напрями розвитку системи випробувань корелюються із перспективними напрямками розвитку ОВТ, які у свою чергу визначаються прогнозованими викликами та загрозами національній та колективній (регіональній) безпеці.

Прикладом є проєкт зі створення випробувального полігону в Саудівській Аравії (Red Sands Integrated Experimentation Center) для випробувань нових технологій захисту від ракетних нападів, бойових дронів та засобів протидії безпілотним літальним апаратам [4]. Створення такого полігону є розвитком системи випробувань ОВТ, основу якої становить мережа спеціалізованих наукових установ і випробувальних полігонів у США та європейських країнах-членах НАТО.

Проте, віднесення завдань розвитку системи випробувань ОВТ до сфери оборонного планування

у Збройних Силах України пов'язане із низкою проблемних питань, що потребують вирішення.

Важливими аспектами проблемних питань розвитку системи випробувань ОВТ у контексті оборонного планування є:

- організаційний, пов'язаний з відсутністю чіткого розподілу відповідальності між органами військового управління за розвиток складових системи випробувань;

- фінансовий або матеріальний, обумовлений обмеженістю обсягів та нерегулярністю фінансування розвитку видів (родів військ) Збройних Сил України.

- науково-методичний, пов'язаний з відсутністю методичного апарату наукового обґрунтування напрямів та комплексу заходів з розвитку системи випробувань ОВТ.

Зазначені проблемні питання призводять до зниження пріоритетності завдань розвитку системи випробувань ОВТ, та як наслідок зниження можливостей об'єктивного оцінювання характеристик об'єкту випробувань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації, присвячені впровадженню в Україні оборонного планування на основі спроможностей (ОПОС), охоплюють широкий спектр питань, зокрема пов'язаних з: аналізом концептуальних проблем впровадження [5–7], проблемних питань правового забезпечення та інституційного впровадження [8]; деякими практичними аспектами оцінювання спроможностей [9]; вдосконаленням понятійно-термінологічного апарату тощо [10].

Але, слід зазначити, що наявні на теперішній час набутки та досвід застосування методології оборонного планування на основі спроможностей адаптовані переважно під спроможності військ та

органів військового управління.

При цьому, залишається актуальним застосування методології ОПОС до планування специфічних сфер діяльності у Збройних Силах України. Зокрема, це стосується наукової та науково-технічної діяльності, спрямованої на розвиток ОВТ, у тому числі пов'язаної з випробуваннями.

**Мета статті** – формування в рамках загальної методології ОПОС методичного підходу до визначення пріоритетності напрямів розвитку системи випробувань ОВТ в інтересах оснащення Збройних Сил України та набуття необхідних спроможностей військ (сил).

## Виклад основного матеріалу

Аналіз положень директивних документів міністерства оборони США з організації випробувань ОВТ у США свідчить про тісний взаємозв'язок процесів створення (придбання) ОВТ з процесом еволюції вимог до спроможностей військ, які трансформуються, у свою чергу, у вимоги до систем озброєння виду збройних сил (роду військ) та вимоги до характеристик конкретних зразків, комплексів та систем ОВТ.

Успішність реалізації такого взаємозв'язку на всіх ключових стадіях (етапах) виконання проєктів забезпечується ефективною взаємодією трьох взаємопов'язаних організаційних структур: об'єднаної системи вироблення вимог до бойових спроможностей збройних сил, системи планування, програмування, розробки та виконання бюджету, а також системи придбання міністерства оборони [2–3; 11–12].

Серед ключових факторів, що дозволяють організувати ефективну взаємодію, є застосування єдиної методології ОПОС у зазначених сферах діяльності.

Методологія ОПОС передбачає формулювання спроможностей системи випробувань ОВТ (або науково-випробувальної установи як інституційного базису) та вимог до них у вигляді упорядкованої сукупності компонент позначених аббревіатурою DOTMLPF: D – Doctrine; O – Organization; T – Training; M – Materiel; L – Leadership; P – Personnel; F – Facilities [13].

З урахуванням досвіду випробувальної діяльності доцільно в рамках методології ОПОС визначити наступні основні напрями розвитку базових спроможностей системи випробувань ОВТ:

- удосконалення нормативно-правових та організаційно-методичних засад підготовки та проведення випробувань ОВТ (Doctrine);

- удосконалення організаційно-штатної структури (Organization);

- підготовка та підбір наукових кадрів, фахова (інженерна) підготовка персоналу (в тому числі

вузькоспеціалізована), підвищення кваліфікації тощо (об'єднані Training, Leadership та Personnel);

- розвиток експериментально-випробувальної бази та інфраструктури (об'єднані Materiel та Facilities).

Ваговий внесок (важливість) кожного напрямку у розвиток спроможностей може бути визначений у подальшому на основі експертного оцінювання.

Останній напрям є досить значним за обсягом та складністю, тому він підлягає декомпозиції на складові, оскільки передбачає різні за характером та змістом заходи, зокрема: оснащення стаціонарними та мобільними засобами випробувань та вимірювальної техніки, розвиток полігонної інфраструктури тощо для випробувань різних за призначенням та принципами дії систем та комплексів ОВТ, визначення широкого спектру їх характеристик різної фізичної природи.

На основі результатів декомпозиції мають формуватися вихідні дані для одержання кінцевої множини альтернативних варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури. Подальший вибір найбільш раціонального варіанту передбачає вирішення задачі дискретного багатокритеріального прийняття рішення за результатами порівняльного аналізу з урахуванням пріоритетності тих чи інших заходів при обмеженості фінансових та інших ресурсів.

Обсяг множини альтернативних варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури визначається декількома факторами, в першу чергу заходами, передбаченими державними (цільовими) програмами розвитку ЗС України, розвитку ОВТ, стратегіями (візіями) розвитку видів та окремих родів військ тощо.

Приклади заходів з розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури, на основі яких може бути сформована множина варіантів розвитку, наведені у табл.1.

За наявності сформованого набору альтернативних варіантів розвитку, подальше вирішення задачі полягає у:

- формуванні сукупності показників та критеріїв оцінювання альтернативних варіантів;

- одержання оцінок (значень показників) альтернативних варіантів за критеріями;

- визначення рангу для кожного альтернативного варіанту розвитку та відповідного ступеня пріоритетності.

За результатами аналізу джерел [14–15] доцільно сформулювати у попередньому вигляді сукупність показників оцінювання альтернативних варіантів розвитку з можливістю її подальшого коригування.

Оскільки варіанти розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури орієнтовані на розвиток певних видів (зразків, комплексів,

систем) ОВТ, доцільно до сукупності показників реалізації відповідних проєктів розвитку (створення, оцінювання включити показники перспективності модернізації) ОВТ.

Таблиця 1

## Заходи з розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури

Заходи з розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури	Вид ОВТ				
	Бронетанкове озброєння та техніка, автомобільна техніка	Артилерійське та стрілецьке озброєння	Зенітно-ракетні (ракетні) комплекси	Комплекси бойового екіпірування	Авіаційна техніка та засоби ураження
Створення випробувальних полігонів	+	+	+	+	+
Відновлення аеродромно-майнового комплексу	-	-	-	-	+
Оснащення лабораторій механічних, кліматичних та електромагнітних випробувань	+	+	+	+	+
Оснащення лабораторії для оцінки балістичного/протимінного захисту	+	-	+	+	+
Оснащення лабораторій фізико-хімічного аналізу вибухових речовин, оцінки технічного стану боєприпасів	+	+	+	+	+
Оснащення системами зовнішньо-траєкторних вимірювань	-	+	+	-	+
Створення (придбання) мішеней повітряних цілей	-	-	+	-	+

Джерело: розроблено авторами.



Рис. 1. Показники оцінювання альтернативних варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури

Джерело: розроблено авторами.

З урахуванням викладеного, пропонується сформулювати сукупність показників оцінювання у вигляді, представленою на рис.1.

Сукупність показників, що пропонується, складається з двох груп, які охоплюють відповідно чотири показники перспективності реалізації проєктів розвитку ОВТ та п'ять характеристик варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури.

До групи показників перспективності реалізації проєктів розвитку ОВТ пропонується включити наступні:

1. Науково-технічний рівень, який доцільно оцінювати відносно світових аналогів за критеріями очікуваної ефективності застосування та вартості життєвого циклу ОВТ.

2. Важливість (актуальність) для військ (сил), що характеризує очікуваний вплив оснащення підрозділів ОВТ на розвиток (підтримання) їх спроможностей.

3. Рівень технологічної готовності (TRL), що є оцінкою зрілості технологій на етапі придбання відповідно до [15].

4. Витрати на створення (модернізацію) зразка (комплексу, системи) ОВТ, які доцільно оцінювати відносно всього обсягу фінансування програми розвитку ОВТ (доля витрат на реалізацію даного проєкту серед витрат на виконання програми).

До групи характеристик варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури доцільно включити:

1. Тривалість реалізації.

2. Витрати на реалізацію, які також можуть бути визначені відносно загального обсягу коштів, що передбачаються на розвиток.

3. Уніфікованість відносно різних видів ОВТ, що характеризує можливість використання для проведення та забезпечення випробувань декількох видів ОВТ.

4. Сумісність об'єкту розвитку з іншими об'єктами бази (інфраструктури), що характеризує ступінь інтегрованості об'єкту до бази (інфраструктури) в цілому та необхідність розвитку інших об'єктів, функціонально пов'язаних з даним.

5. Ефективність технічної експлуатації об'єкту

розвитку, що має враховувати показники якості, надійності, готовності до використання за призначенням, характеристики системи технічного обслуговування, вартості життєвого циклу тощо.

Наступним етапом вирішення задачі є визначення критеріїв оцінювання альтернативних варіантів, що передбачає формування шкал кількісних та якісних оцінок показників, а також визначення критеріальних значень оцінок за кожним показником.

## Висновки

З метою формування підґрунтя для вирішення проблемних питань розвитку системи випробувань ОВТ у контексті оборонного планування в ході дослідження авторами вперше запропоновано методичний підхід до визначення пріоритетності напрямів розвитку системи.

Запропонований методичний підхід передбачає вирішення задачі дискретного багатокритеріального прийняття рішення за результатами порівняльного аналізу з урахуванням пріоритетності заходів при обмеженості фінансових та інших ресурсів.

Для вирішення задачі у статті визначено орієнтовний перелік заходів з розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури, на основі яких може бути сформована множина варіантів розвитку. Сформовано у попередньому вигляді сукупність показників оцінювання альтернативних варіантів розвитку, яка містить показники перспективності реалізації проєктів розвитку ОВТ та характеристики варіантів розвитку експериментально-випробувальної бази та інфраструктури.

Методичний підхід, запропонований у статті, може бути покладений в основу методики визначення пріоритетності напрямів розвитку системи випробувань ОВТ. Розроблення зазначеної методики передбачає проведення подальших досліджень та визначення критеріїв оцінювання альтернативних варіантів, вибору та застосування методу вирішення задачі дискретного багатокритеріального прийняття рішення, аналіз та узагальнення одержаних результатів.

## Список літератури

1. Department of Defense Test and Evaluation Management Guide. December, 2012. Ed. 6. URL: <https://www.dau.edu/tools/Lists/DAUTools/Attachments/148/Test and Evaluation Management Guide, December 2012, 6<sup>th</sup> Edition-v1.pdf>.
2. Department of Defense Directive 5000.01. The Defense Acquisition System. URL: DoDD 5000.01, "The Defense Acquisition System", September 9, 2020; Incorporating Change 1 on July 28, 2022 (whs.mil).
3. Department of Defense Instruction 5000.89. Test and Evaluation. URL: DoDI 5000.89, "Test and Evaluation", November 19, 2020 (acqnotes.com).
4. A New US Military Testing Facility Will Be Built in Saudi Arabia. URL: <https://sofrep.com/news/red-sands-integrated-experimentation-center-saudi-arabia>.
5. Руснак І. С., Петренко А. Г., Яковенко А. В., Романюк І. М., Кохно В. Д. Оборонне планування на основі спроможностей: особливості та перспективи впровадження. *Наука і оборона*. 2017. № 2. С. 3–10. URL: <https://nio.nuou.org.ua/article/view/176927/179894>.
6. Наливайко А. Д., Поляєв А. І., Сівоха І. М. Генезис та розвиток оборонного планування в Україні. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. Київ, 2017. № 2(29). С. 138–143.
7. Романюк І. М. Ретроспектива розвитку системи стратегічного (оборонного) планування в Збройних Силах

України. *Збірник наукових праць ВІПІ*. Київ, 2018. № 1. С. 100–107.

8. Малишев О. В., Малишева Н. Р., Калмиков В. Г., Левчук О. В. Оборонне планування на основі спроможностей в Україні: поточний стан і перспективи. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. Київ, 2020. № 3(70). С. 54–61.

9. Денежкін М. М. Вплив оцінювання та аналізу спроможностей на визначення заходів розвитку Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2018. № 3(57). С. 57–64.

10. Марко І. Ю. Аналіз понять “спроможність”, “можливість” і “здатність” та пропозиції щодо їх застосування у документах сектору безпеки і оборони України. *Socialdevelopment & Security*. 2018. № 3(5). С. 76–86.

11. Charter of The Joint Requirements Oversight Council (JROC) and Implementation of The Joint Capabilities Integration and Development System (JCIDS). CJCSI 5123.01H, 31 August, 2018. URL: <https://acqnotes.com/wp-content/uploads/2018/11/CJCSI-5123.01H-Charter-of-the-Joint-Requirements-Oversight-Council-JROC-and-Implementation-of-the-JCIDS-31-Aug-2018.pdf>.

12. Department of Defense Financial Management Regulation, DoD 7000/14-R, Vol. 11a: Reimbursable Operations Policy. URL: [https://comptroller.defense.gov/Portals/45/documents/fmr/Volume\\_11a.pdf](https://comptroller.defense.gov/Portals/45/documents/fmr/Volume_11a.pdf).

13. Guide to Capability-Based Planning. The Technical Cooperation Program Joint Systems and Analysis Group. Technical Panel 3. URL: <https://www.hsdl.org/?view&did=461818>.

14. Science and Technology Trends 2020-2040 (NATO Science and Technology Organization). URL: <http://www.sto.nato.int>.

15. ISO 16290:2013 Space systems – Definition of the Technology Readiness Level (TRLs) and their criteria of assessment. URL: <https://www.iso.org>.

Надійшла до редколегії 17.05.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

#### Відомості про авторів:

##### Павленко Анатолій Григорович

кандидат технічних наук  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0001-6341-8381>

##### Ларін Володимир Валерійович

кандидат технічних наук доцент  
начальник науково-організаційного відділу  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-0771-2660>

##### Гапоненко Геннадій Миколайович

кандидат педагогічних наук  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8572-4395>

#### Information about the authors:

##### Anatolii Pavlenko

PhD in Engineering  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0001-6341-8381>

##### Volodymyr Larin

PhD in Engineering Associate Professor  
Head of Scientific and Organizational Department  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-0771-2660>

##### Hennadii Haponenko

PhD in Pedagogical  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8572-4395>

## A METHODOLOGICAL APPROACH TO DETERMINING THE PRIORITY OF DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF WEAPONS AND MILITARY TECHNOLOGY TESTS IN THE CONTEXT OF DEFENSE PLANNING

A. Pavlenko, V. Larin, H. Haponenko

*In order to form the basis for solving the problematic issues of the development of the OVT test system in the context of defense planning, the authors proposed for the first time a methodical approach to determining the priorities of the system's development.*

*The proposed methodological approach involves solving the problem of discrete multi-criteria decision-making based on the results of a comparative analysis, taking into account the priority of measures with limited financial and other resources.*

*To solve the problem, the article defines an approximate list of measures for the development of the experimental and testing base and infrastructure, on the basis of which a set of development options can be formed. A set of indicators for the evaluation of alternative development options has been formed in its preliminary form, which contains indicators of the prospects for the implementation of OVT development projects and the characteristics of options for the development of the experimental and testing base and infrastructure.*

*The methodical approach proposed in the article can be used as the basis of the methodology for determining the priorities of the development of the OVT testing system. The development of the specified methodology involves further research and determination of criteria for evaluating alternative options, selection and application of a method for solving the problem of discrete multi-criteria decision-making, analysis and generalization of the obtained results.*

**Keywords:** weapons and military equipment; test system; capabilities; experimental and testing base; infrastructure; priority.

А.І. Собора, Н.М. Третьак, Н.О. Олійник

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ МОВНОЇ ПІДГОТОВКИ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

*Стаття присвячена існуючій проблемі сьогодення – вдосконалення мовної підготовки військовослужбовців. Досягнення високого рівня володіння іноземної мови не можливе без використання раціональних технологій викладання та наполегливої праці слухачів, як в навчальному закладі, так і самостійної роботи. Виходячи з аналізу наукових публікацій, більшість авторів схиляється, що освіта сьогодні в Україні повинна взяти курс на удосконалення вивчення іноземної мови. Війна розв'язана росією проти України вимагає від керівництва держави змінити зовнішньополітичний вектор в бік до вступу у НАТО. Інтеграція України до політичного союзу в НАТО потребує від військовослужбовців Збройних Сил України вільного володіння англійською мовою.*

**Ключові слова:** інноваційні технології; комунікативний підхід; мовна підготовка; курси вивчення мови; дистанційне навчання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Виклики сьогодення потребують від українських військовослужбовців та воїнів ЗСУ вільного володіння англійською мовою, оскільки інструкції по застосовуванню озброєння іноземного виробництва, а також сам процес навчання й тренування щодо використання цього озброєння відбувається англійською мовою. Тому, нагальною потребою є опанування англійської мови швидко, якісно та в короткі строки. Окрім того, з огляду на приєднання ЗСУ до Програми НАТО з розширених можливостей, виникає необхідність належної взаємосумісності підрозділів ЗСУ із підрозділами держав-членів НАТО, над усе важливого значення набуває опанування особовим складом англійської мови, що є одним з чинників досягнення взаємосумісності з НАТО. Командування ЗСУ заявляло, що з 2025 року в армії планують зробити володіння англійською мовою обов'язковою вимогою до офіцерського складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемному питанню стосовно опанування англійської мови військовослужбовцями приділено праці таких науковців: Ребрій І.М. [1, С. 181], Щерба О.В., Желіско В.Ю. [2, С. 327], Єфімова О.М. [3, С. 38], Нечипорук Н.Л., Супрунчук Ю.О. [4, С. 118]. Автори намагалися в своїх працях розглянути та запропонувати новітні методи вивчення англійської мови, але проблема опанування залишається на стадії вирішення. Підсумовуючи вищенаведене, варто зазначити, що в складних умовах сьогодення, які насамперед пов'язані з військовою агресією росії проти України, практичне вирішення проблеми щодо покращення якості викладання англійської мови є

надзвичайно актуальним і одним із ключових напрямів військової підготовки.

**Метою статті** є визначення перспективних методів та форм мовної підготовки у військових структурах, як з відривом від службової діяльності, так і в ході самостійної праці.

### Виклад основного матеріалу

Мовна підготовка військовослужбовців – це підготовка для особливих потреб. На сьогодні в лавах ЗСУ є нагальні два завдання, які потребують розв'язання:

– перше, це термінове опанування бійцями та командним складом ЗСУ англійської мови для проходження навчання по використанню озброєння іноземного виробництва;

– друге, це удосконалення та модернізація процесу вивчення англійської мови у вищих військових навчальних закладах (ВВНЗ) з метою підвищення рівня володіння англійською мовою.

Розв'язання першого завдання розпочалося у травні 2022, коли бійці ЗСУ вперше відправилися для тренувань на військову базу Англії. Проблемаю такого тренування було недостатнє володіння англійською мовою бійцями ЗСУ під час навчання. З метою вирішення цієї проблеми, до експериментального проєкту приєдналися українські волонтери, серед волонтерів проєкту були носії британської мови. Активно проводилися заняття з англійської мови в Україні, а потім волонтери відправилися на військову базу в Англію, де продовжили навчати українських захисників англійській мові. Заняття з військовими відрізняються від стандартних, онлайн-формат не застосовують, бо військові не завжди можуть бути присутніми в дистанційному форматі. На заняттях

діє майже незламне правило – only English – лише англійська. Програма навчання є особливою, і базується на стандартах НАТО. Заплановано створення повноцінної платформи, посібників та відеокурсів саме для українських військових [5].

Також, активно розпочали свою роботу мовні курси культурно-освітньої мережі “Гончаренко центр”. Навчання відбувається за професійною програмою для початкового рівня. Для військових сформовані окремі групи, в яких навчається вже понад 50 осіб. В межах мовного курсу розроблено онлайн-курс з англійської мови для тих військовослужбовців, які через особливості своєї професії не можуть відвідувати офлайн заняття в центрах. Потреба у володінні англійською мовою для військовослужбовців зростає і тому ці курси – нагода для військових підняти свій рівень володіння мовою, адже всі інструкції до нової зброї та військової техніки іноземного походження написані саме англійською мовою. Знання іноземної мови допомагає опанувати нову зброю, дає можливість ефективно спілкуватись безпосередньо з іноземними інструкторами, що вкрай потрібно під час навчань за кордоном, тому зараз мовна підготовка з англійської мови для військовослужбовців у пріоритеті [7].

За даними Департаменту військової освіти і науки Міністерства оборони України на сьогодні створені армійські центри мовної підготовки, які можуть навчати 800 осіб на рік. Для цього у військові частини направлені мобільні групи викладачів англійської мови, які навчають військових у місцях служби [6].

Розв’язання другого завдання не є критичним у часі, як вирішення першого завдання і тому, наразі, розробляються різноманітні програми, дистанційні курси, впроваджуються інноваційні методи навчання з метою покращення процесу мовної підготовки студентів ВВНЗ та офіцерського складу ЗСУ. На порядок денний постає важливе питання щодо впровадження новітніх форм та методів вивчення іноземної мови та спеціальних технік і прийомів навчання.

В рамках Програми “Ціль партнерства Україна-НАТО G1200 “Мовні курси”, яка передбачає підвищення ефективності функціонування сталої системи мовної підготовки у Збройних силах України, спрямованої на забезпечення належного рівня володіння іноземної мови особовим складом, розроблена Дорожня карта з етапами поступового опанування англійської мови військовослужбовцями. Кроками підготовки є: заходи з організації мовних курсів, збільшення академічних годин при вивченні дисципліни “Іноземна мова” у ВВНЗ, організація факультативів, дистанційного навчання [11].

У системі Міністерства оборони України рівень знання іноземної мови оцінюється за шкалою

стандартизованих мовленнєвих рівнів, які відповідають рівням мовленнєвої компетенції за мовним стандартом НАТО STANAG 6001. Мовленнєва компетенція визначається за шістьма рівнями від 0 до 5. Планується, що станом на 01.01.2025 року володіння англійською мовою військовослужбовців буде відповідати стандартизованому мовленнєвому рівню SMP 2 (функціональний рівень). Взагалі, реалізація цих заходів дозволить підвищити рівень мовної підготовки особового складу відповідно до потреб ЗС України та створити нову безперервну систему вивчення та удосконалення рівня володіння іноземною мовою під час службової діяльності [11].

На відміну від інших предметів, вивчення англійської мови – це невідомий пласт знань, оскільки розкриває скарбницю іноземної культури, звичаїв, побуту, що в подальшому надасть можливість зрозуміти один одного при вирішенні актуальних державних завдань в різних сферах службової діяльності.

Стрімкий розвиток низки передових технологій вимагає від викладачів, в першу чергу, та освітніх установ провести реформування процесу вивчення іноземної мови, яка б відповідала загальноєвропейським вимогам виходячи із існуючих ресурсів забезпечення: інформатизація – глобалізація освітнього процесу; інтеграція процесів у сучасній освіті; налагодження співпраці з європейськими та східними навчальними закладами, проведення міжнародних обмінів навчання за магістерськими програмами за кордоном [1].

У вищих військових навчальних закладах, з метою удосконалення науково-методичного забезпечення курсантів розпочато розроблення відповідних навчально-методичних матеріалів, зокрема підручників та посібників із вивчення англійської мови. Дана робота виконується з урахуванням вимог законодавства, спеціальностей військових фахівців, специфіки їх підготовки. При цьому акцент зроблено на використанні автентичних матеріалів англійською мовою, включаючи керівні документи збройних сил країн-членів НАТО [8].

Мовна підготовка курсантів не має обмежуватися тільки аудиторним навчанням, використанням тих чи інших організаційних форм. Доцільним буде, крім традиційних факультативних курсів з англійської мови, запровадити практику діяльності гуртка “Speaking club” із залученням носіїв мови, організовувати проведення Дня застосування англійської мови у повсякденній діяльності інституту “Command English Day”. У рамках створення позааудиторного англomовного середовища, подолання “мовного бар’єру”, пропонуються інші організаційні форми, зокрема

використання англійської мови під час викладання окремих навчальних дисциплін, проведення курсантами обов'язкових періодичних інформаційних повідомлень (презентацій) тощо [10, С. 12]. Важливими напрямками вдосконалення мовної підготовки курсантів, підвищення їхньої мовленнєвої компетенції з англійської мови також є [10, С. 5–12]:

1) подальше вдосконалення наукового та навчально-методичного матеріально-технічного, ресурсного забезпечення мовної підготовки курсантів, зокрема організація інтенсивного цільового використання мовних лабораторій, облаштування спеціалізованих класів самостійної мовної підготовки курсантів;

2) розроблення аудиторних та позааудиторних мовних курсів із застосуванням різних форм дистанційного навчання, що базуються на новітніх інформаційно-комп'ютерних технологіях;

3) створення та впровадження системи централізованого інформаційного забезпечення самостійної мовної підготовки курсантів із використанням інформаційних технологій тощо.

У навчальних закладах, що здійснюють підготовку майбутніх військових, розгорнуто активну роботу з удосконалення процесу викладання та вивчення англійської мови курсантами. Так, наприклад, у Харківському національному університеті Повітряних Сил імені Івана Кожедуба активно впроваджуються у навчальний процес інноваційні методи навчання, зокрема: основним методом передачі знань є комунікативний підхід у складі маленьких груп, що направлений на відпрацювання навичок спілкування та аудіювання. На старших курсах опанування англійської мови часто проводиться у змішаних групах, коли льотчики навчаються разом з офіцерами бойового управління чи фахівцями інженерно-авіаційного профілю, спільно вони відпрацьовують різні сценарії професійної діяльності [9, С. 155].

Навіть під час щорічних льотних практик, що тривають по 4–6 місяців, викладачі щотижня визначають курсантам завдання і контролюють їх виконання, щоб курсанти суттєво не втратили навички володіння іноземною мовою. Також, практичні заняття проводяться з використанням тренажерних комплексів вертольота Мі-8МТВ та літака Л-39 “Альбатрос”, де поруч із викладачами профільних дисциплін льотного факультету обов'язково перебуває представник кафедри авіаційної англійської мови. Обидва екзаменатори прискіпливо стежать за роботою курсанта й оцінюють його знання [9, С. 156].

Проривом у процесі опанування англійської мови стали мобільні мовні лабораторії (клас ICAO),

що розраховані на 15 робочих місць, де проводять заняття з курсантами льотного факультету. За допомогою комп'ютерних тренажерних програм курсанти набувають навичок у веденні радіообміну англійською мовою на тренажері Air English Standard v1.1 та на тренажері COMM1 Radio Simulator – IFR, майбутні пілоти відпрацьовують стандартну фразеологію радіозв'язку в авіації. Для курсантів інженерно-авіаційного факультету обладнано спеціалізований комп'ютерний клас, де акцент ставиться більше на технічну термінологію. Обладнано робочі місця курсантів для відпрацювання радіообміну, мовних навичок і льотних професійних навичок (симулятори польотів) з використанням 3D-окулярів віртуальної реальності.

З метою впровадження новітніх навчальних методик викладання та опанування військовою термінологією, удосконалення знань англійської мови викладачі ВВНЗ повинні підвищувати свої кваліфікаційні навички. Так, наприклад, викладачі ХНУПС щорічно проходять підвищення кваліфікації у Сполучених Штатах Америки на військовій авіабазі у штаті Техас, де протягом декількох місяців вивчають термінологію за армійським напрямком.

У сучасному процесі навчання не повинно мати місце заучування текстів, що не мають практичної цінності у навчанні. Курсанти мають бути підготовленими на основі якісного сучасного, аутентичного матеріалу та свідомого його використання. Перед керівництвом та навчальними закладами ЗС України стоїть завдання втілювати інноваційні та нетрадиційні методи навчання такі як: навчання парної та групової роботи; внутрішні (зовнішні) кола; мозковий метод; читання зігзагом; обмін думками; парні інтерв'ю; імітація ситуації; дискусії, дебати.

Інструментами у досягненні поставленої мети можуть слугувати: інформаційні та комунікаційні технології; мультимедійні програми; використання всесвітньої мережі Інтернет; дистанційні технології; мовні лабораторії; мовні тренажери (рис. 1).

Інноваційні методи спрямовані на саморозвиток і вдосконалення особистості, на розкриття у нього власних можливостей та впевненості у собі. Слід зазначити, що вказані технології мають за мету адаптувати курсантів вивченню англійської мови та забезпечують індивідуалізацію та диференціацію процесу навчання з урахуванням здібностей людини різного рівня знань. Особливо ця методика конче необхідна в умовах обмеженого часу (ведення війни), та забезпечить особі самовдосконалення та розкриття резервів власних можливостей та творчого потенціалу. Вивчення іноземної мови надасть

можливість різним ланкам керівництва ЗС України різних професій та країн партнерів з воєнно-вільно та професійно вести діалог з представниками політичного союзу НАТО.

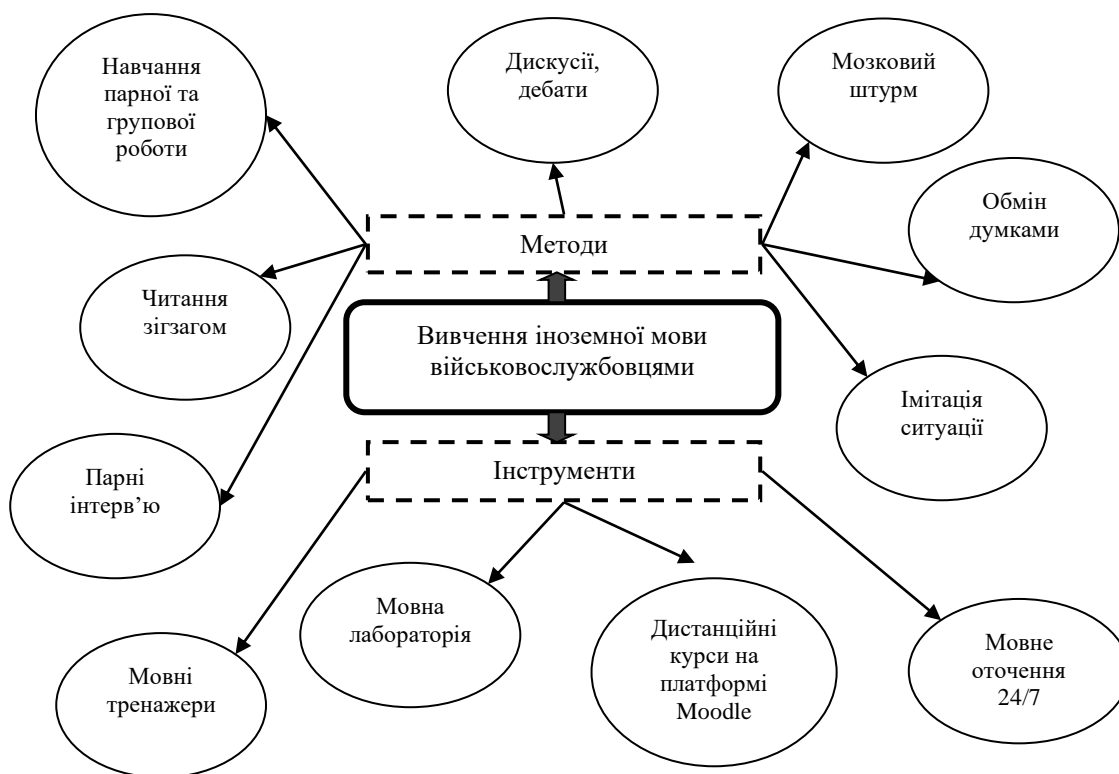


Рис. 1. Методи та інструменти процесу вивчення англійської мови

## Висновки

Провідним рішенням у розв'язанні задач стосовно мовної підготовки у Збройних Силах України є: здійснення негайної мовної підготовки бійців ЗСУ та удосконалення процесу навчання курсантів у вищих військових навчальних закладах Збройних Сил України. У статті досліджено основні проблемні питання з вивчення англійської мови, їх головні причини та шляхи вирішення. За результатами аналізу передового досвіду організації мовної підготовки у вітчизняних та зарубіжних вищих військових навчальних закладах розроблено рекомендації щодо подальшого удосконалення мовної підготовки у Збройних Силах України, підвищення їх мовленнєвої компетенції з

англійської мови. Передусім це стосується вдосконалення науково-методичного та навчально-методичного забезпечення мовної підготовки курсантів; підвищення професійних навичок науково-педагогічних працівників, що викладають англійську мову для майбутніх офіцерів; імплементація інноваційних методів та інструментів навчання для мотивації навчальної діяльності курсантів. Вивчення англійської мови буде ефективним при творчому підході з використанням сучасних та новітніх інноваційних технологій, досвідом вітчизняних та іноземних вчених і практиків, а також педагогічних навичок викладача. Процес навчання повинен нести діалектичний підхід та безперервно знаходитись в пошуках нового і відповідати вимогам часу.

## Список літератури

1. Ребрій І. М. Сучасні методи навчання англійської мови для військових потреб. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2018. Вип. 1(55). С. 180–183.
2. Щерба О. В., Желіско В. Ю. Інтенсивний метод вивчення іноземної мови у вищих військових навчальних закладах України: міф чи реальність? *Наукові записки Національного університету "Острозька академія": науковий журнал. Серія "Філологія"*. 2013. Вип. 60. С. 326–328.
3. Єфімова О. М. Підготовка курсантів до мовленнєвої взаємодії у професійно-діловій та соціокультурній сферах спілкування. *Сучасні тенденції викладання іноземної мови професійного спрямування у вищій школі: тези доп. міжнар. наук.- практ. конф., м. Київ, 29 квітня 2015 р.* Київ: НТУУ "КПІ", 2015. С. 37–39.
4. Нечипорук Н. Л., Супрунчук Ю. О. Мотивація як основа формування професійної мовної компетенції майбутніх розвідників ЗСУ. *Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка. Педагогічні науки*. 2017. Вип. 3. С. 116–120.
5. В ЗСУ з'являється мобільні групи викладачів англійської мови: веб-сайт. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2021/03/english.html>.

6. Англійська для ЗСУ: веб-сайт. URL: <https://rubryka.com/article/english-for-military/>.
7. “Інструкція до Джавеліну – тепер зрозуміліше”: у Гончаренко центрах стартували курси англійської мови для військових: веб-сайт. URL: <https://www.dsnews.ua/ukr/society/instrukciya-k-dzhavelinu-teper-ponyatnee-v-goncharenko-centrah-startovali-kursy-angliyu>.
8. Основні засади мовної підготовки особового складу в системі Міністерства оборони України: затверджено ТВО МОУ 08.08.2019 р. 2019. 34 с. URL: <https://nuou.org.ua/assets/documents/osn-zas-mp.pdf>.
9. Пащук Ю. М., Каменцев Д. С., Пасічник С. М., Сергієнко Т. М. Щодо проблем навчання англійської мови курсантів вищих військових навчальних закладів. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*. Серія 5. Педагогічні науки: реалії та перспективи. 2020. Вип. 78. С. 173–177.
10. Дорожня карта вдосконалення мовної підготовки у Збройних силах України. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/education/doroznya\\_karta\\_2021.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/education/doroznya_karta_2021.pdf).
11. В Україні запустили національну екосистему вивчення та тестування рівня англійської. URL: <https://osvita.rayon.in.ua/news/574305-v-ukraini-zapustili-natsionalnu-ekosistemu-vivchennya-ta-testuvannya-rivnya-angliyskoi>.

Надійшла до редколегії 14.03.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

#### **Відомості про авторів:**

##### **Собора Анатолій Іванович**

кандидат технічних наук  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-4880-0926>

##### **Третяк Наталя Миколаївна**

кандидат економічних наук  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-9457-2645>

##### **Олійник Наталія Олександрівна**

науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0883-6078>

#### **Information about the authors:**

##### **Anatoliy Sobora**

PhD in Engineering  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-4880-0926>

##### **Natalia Tretiak**

PhD in Economic  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-9457-2645>

##### **Nataliia Oliinyk**

Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0883-6078>

## **CHALLENGES TODAY IN PROCESS IMPROVEMENT LANGUAGE TRAINING IN THE ARMED FORCES OF UKRAINE**

A. Sobora, N. Tretiak, N. Oliinyk

*Today's challenges require Ukrainian servicemen and soldiers of the Armed Forces of Ukraine to be fluent in English, since the instructions for using foreign-made weapons, as well as the process of education and training to use these weapons are carried out in English.*

*The main goal of this work is to determine promising methods and forms of language training in military structures, both out of the official activities and in the course of independent work.*

*Today, the ranks of the Armed Forces face two urgent tasks that need to be solved:*

*– the first task is the urgent acquisition of the English language by servicemen and senior staff of the Armed Forces of Ukraine for training in the use of foreign-made weapons;*

*– the second task is the improvement and modernization of the English language learning process in Higher Military Educational Institutions in order to increase the level of English language proficiency.*

*The problem of first training was the insufficient command of the English language by the servicemen of the Armed Forces of Ukraine during the training.*

*The solution of the second problem is not as critical in time as the solution of the first problem, therefore, currently, various programs, distance courses are being developed, and innovative teaching methods are being implemented in order to improve the improvement process of English language by students of higher educational institutions and officers of the Armed Forces of Ukraine. An important issue on the agenda is the introduction of the latest forms and methods of teaching a foreign language and special techniques and methods of teaching.*

*Studying a foreign language will provide an opportunity for various branches of the leadership of the Armed Forces of Ukraine to freely and professionally conduct a dialogue with representatives of various professions and partner countries from the NATO military-political alliance.*

**Keywords:** innovative teaching methods; foreign language; language courses; distance learning.

Д.А. Спірін, О.С. Погорілий, О.М. Шинкаренко

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК БЛИЖНЬОЇ ДІЇ

*Аналіз застосування засобів протиповітряної оборони Сухопутних військ під час повномасштабної агресії російської федерації свідчить про те, що значна кількість знищених засобів повітряного нападу противника припадає на комплекси з оптичною та оптико-електронною системою наведення. Невелика частка припадає на зенітний ракетний комплекс ближньої дії "Стріла-10". У зв'язку з цим в статті наведені шляхи модернізації для даного зенітного ракетного комплексу ближньої дії, шляхом заміни оптичного візиту на оптико-електронну систему та ракети, якою ведеться стрільба. Такий шлях модернізації призведе до підвищення ефективності бойового застосування зенітного ракетного комплексу та зменшить час реакції за рахунок відсутності необхідності ручного допошуку цілі (грубе та точне прицілювання) та здійснення автоматичного супроводження цілі.*

**Ключові слова:** протиповітряна оборона; зенітний ракетний комплекс; модернізація; оптико-електронні системи; системи наведення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні комплекси протиповітряної оборони (ППО) великої, середньої, малої дальності, а також ближньої дії – є одними із найскладніших видів бойової техніки. Ступінь здатності країни до самостійного виробництва сучасних комплексів ППО є показником розвитку рівня оборонної промисловості держави, тому, розробка та серійне виробництво, а також їх модернізація, потребують високого рівня розвитку науки і техніки та інвестування значних ресурсів на науково-дослідні й дослідно-конструкторські роботи.

Під час повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну, у складі повітряно-космічних сил, були застосовані засоби повітряного нападу (ЗПН) двох основних типів: пілотовані і непілотовані. З перших хвилин вторгнення всі складові протиповітряної оборони стикнулись з проблемою необхідності проведення модернізації існуючого парку засобів ППО.

Необхідність модернізації існуючих в Україні зразків комплексів ППО обґрунтована порівняльною оцінкою їх тактико-технічних характеристик з аналогічними комплексами західних країн-партнерів, наданими в рамках матеріально технічної допомоги [15]. Модернізація ЗРК, що прикривають механізовані підрозділи покращить можливість виявлення та супроводження цілей. Це дозволить збільшити ефективність системи в умовах сучасної бойової обстановки.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням модернізації комплексів ППО присвячено низку публікацій. У роботах [1–6]

розглядають перспективні напрямки розвитку ППО ближньої дії, зокрема, описують нові технології та матеріали, які можуть бути використані для покращення функціональності та надійності таких систем. Публікації [7–9; 16] зосереджені на різних методичних підходах до оцінки варіантів модернізації озброєння і військової техніки.

**Мета статті** – обґрунтування перспективи модернізації зенітних ракетних комплексів ближньої дії шляхом встановлення оптико-електронної системи наведення.

### Виклад основного матеріалу

У відбитті повітряних атак під час повномасштабної агресії російської федерації, провідну роль відіграли зенітні ракетно-артилерійські дивізіони (зрадн) основними засобами, яких є комплекси ППО з оптико-електронною системою наведення на ЗПН. В табл.1 відображено відсоток збитих цілей зенітними ракетними комплексами (ЗРК), зенітними установками (ЗУ), зенітними самохідними установками (ЗСУ), переносними зенітними ракетними комплексами (ПЗРК) радянського зразка та тих, що були поставлені країнами-партнерами [11; 14].

На основі інформації табл.1, побудовано графічну модель ураження засобами ППО зрадн непілотованих ЗПН (рис.1), що дає можливість провести аналіз ефективності засобів ППО механізованих підрозділів.

Виходячи з аналізу рис.1, можна зробити висновок, що більшу ефективність ураження непілотованих повітряних цілей мають ЗРК з оптико-електронною системою наведення.

Таблиця 1

Типи уражених ЗПН (у % до лютого 2023 р.)

Типи ЗРК, ЗУ, ЗСУ, ПЗРК	Типи повітряних цілей														Всього %
	Су-37	Су-35	Су-34	Су-30	Су-27	Су-25	Су-24	Ка-52	Ми-28	Ми-24	Ми-8	БпЛА	КР	ТР	
2С6 ЗГРК “Тунгуска”	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,6
ЗРК “Стріла-10”	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,8	0,0	0,3	0,0	0,3	0,6	4,2	0,3	0,0	6,7
ЗРК “Stormer”	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,3	0,0	1,4
ЗРК DM “Stinger”	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,3	0,0	0,0	0,0	2,2	0,3	0,0	4,2
2А6 ЗСУ-23-4 “Шилка”	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6
ПЗРК Стріла	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	0,0	1,4
ПЗРК Ігла	0,0	1,1	1,1	0,8	0,0	7,0	0,3	4,7	0,6	0,8	2,8	2,0	5,0	0,0	26,3
ПЗРК Stinger	0,0	0,3	1,4	0,3	0,0	3,1	0,0	3,9	0,0	2,8	1,1	6,7	5,6	0,3	25,4
ПЗРК Startreak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	4,2	0,3	0,0	4,7
ПЗРК Piorun	0,0	0,3	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	1,7	0,3	0,0	3,9
ЗУ-23	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	9,5	0,6	0,0	11,5
Стрілецька зброя	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,4	0,0	0,0	13,4
Всього:	0,0	2,0	2,8	2,0	0,3	12,3	0,8	10,3	0,6	3,9	5,0	46,4	13,4	0,3	100

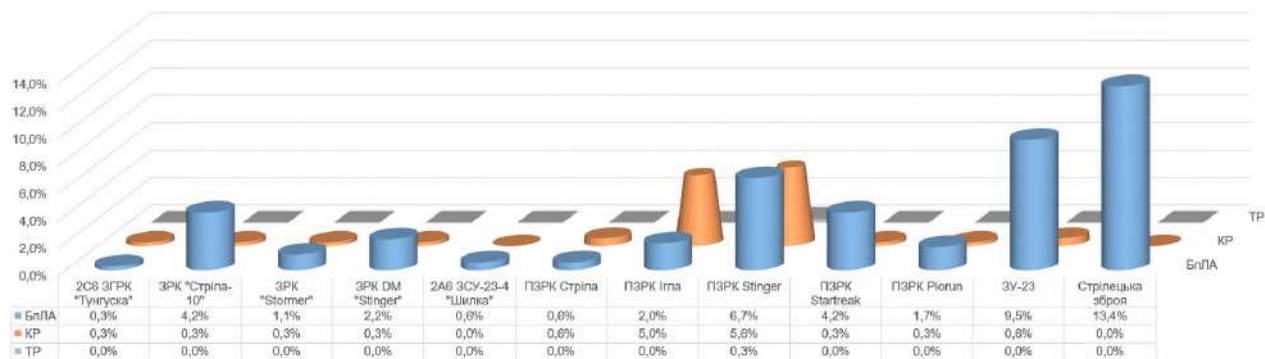


Рис.1. Графічна модель ураження непілотованих ЗПН засобами ППО зрадн

На рис.2 наведена графічна модель ураження засобами ППО пілотованих ЗПН, що дає можливість провести аналіз ефективності ураження засобами ППО механізованих підрозділів пілотованих ЗПН. Виходячи з цих даних можна зазначити, що більшу ефективність знищення пілотованих ЗПН також мають ЗРК з оптико-електронною системою наведення.

Отже, після аналізу даних, наведених в табл.1, рис.1–2 щодо кількості знищення ЗПН засобами ППО механізованих підрозділів, можна зробити загальний висновок, що в ланці зенітного ракетно-артилерійському дивізіону механізованого (танкового батальйону) комплекси з оптико-електронною

системою наведення мають більшу ефективність знищення пілотованих та непілотованих ЗПН противника.

Враховуючи провідну роль комплексів ППО з оптико-електронною системою наведення у знищенні ЗПН, в табл.2 наведено тактико-технічні характеристики (ТТХ) комплексів ППО радянського виробництва та наданих Україні західними країнами-партнерами.

Порівняльний аналіз основних ТТХ радянських комплексів ППО та західних країн-партнерів наведено на рис.3 [14]. Відповідно до аналізу ТТХ можна зазначити, що в комплексах ППО,

виробництва західних країн-партнерів, значно швидкість, щодо ураження ЗПН назустріч та більша: дальність ураження цілей, висота, а також навздогін.

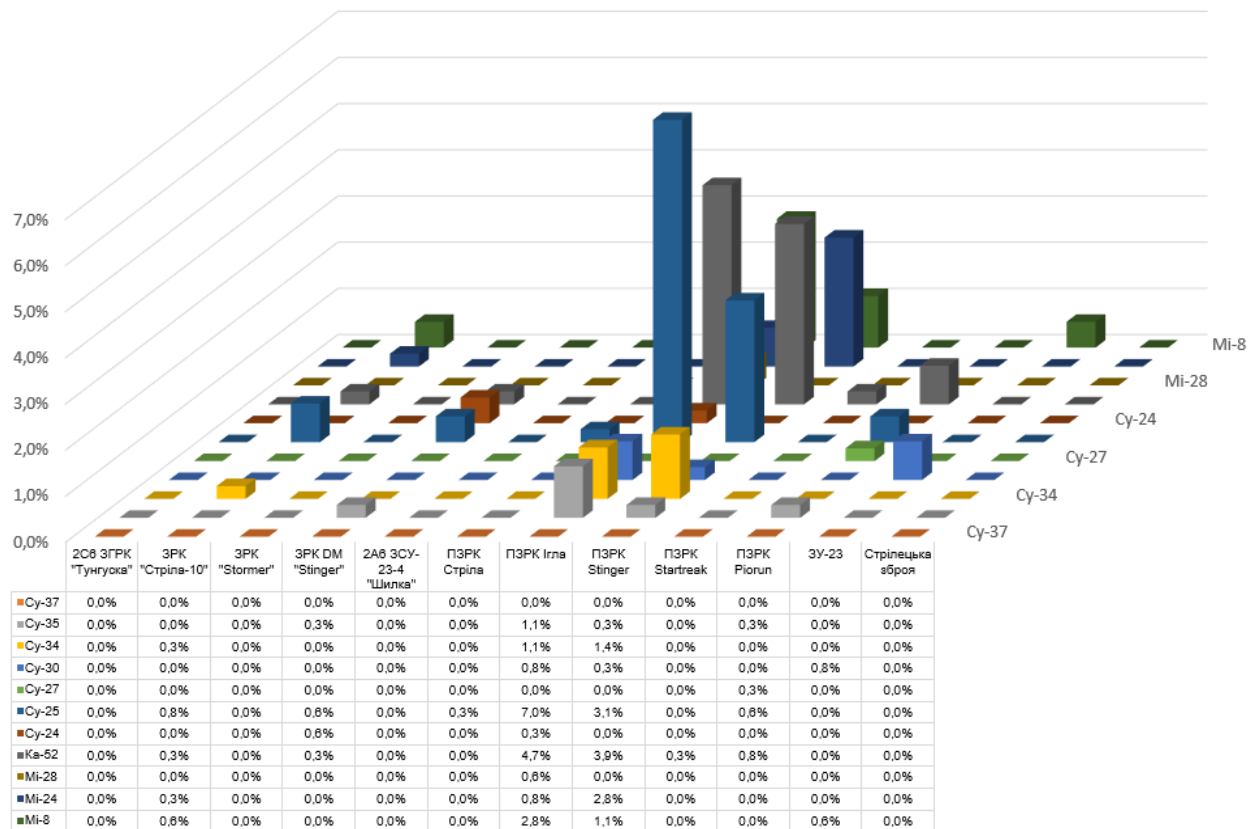


Рис.2. Графічна модель ураження пілотованих ЗПН засобами ППО зрадн

Таблиця 2

## Тактико-технічні характеристики комплексів ППО з оптико-електронною системою наведення

Назва	Тип	Держава виробник	Шифр ЗРК	Рік прийняття на озброєння	Вогневі можливості											Тип ЦК	Маневрені можливості	
					Дстр		Нц		Р(м)	V <sub>д</sub> max		Рур 1-й ЗУР	Час реакції, с	Кількість ЗРК на установці	Цикл стрільби		Трозг (хв)	Тзг (хв)
					max	min	max	min		назустр	навздогін							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Стріла-10 М2(М)	ЗРК	СССР	9К35	1981	5000	800	3500	25	3000	415	305	0,3... 0,6	6,5	4	12	день	0,5	0,5
Stormer HVM	ЗРК	Велика Британія	FV4333	1997	7000	300	7000	10	6000	1200	800		5	8	10	Не всепогодний	0,5	0,5
Stinger	ПЗР К	США	FIM-92	1981	5500	500	3500	10	4000	440	440	0,3... 0,5	5	1		Всепогодний	0,25	0,5
Стріла-2М	ПЗР К	СССР	9К32	1970	4200	800	2300	50	2000	150	260	0,25	10	1		День	0,3... 0,5	0,3 ... 0,6
Ігла-1	ПЗР К	СССР	9К310	1981	5000	500	3500	10	2000	360	320	0,45... 0,6	5	1	8... 10	День	0,3.. 0,5	0,3 ... 0,6
Starstreak	ПЗР К	Велика Британія	LML	1997	7000	300	7000	10	6000	1200	800		5	1...3	10	Не всепогодний		
PPZR Piorun	ПЗР К	Польща		1995	6000	500	4000	10	6000	400	320		5	1			0,3... 0,5	0,3 ... 0,6

Результат аналізу дає підстави стверджувати, що комплекси ППО виробництва західних країн-партнерів за вогневиими можливостями є кращими. Тому, одним з варіантів покращення вогневих можливостей комплексів ППО радянського виробництва є модернізація.

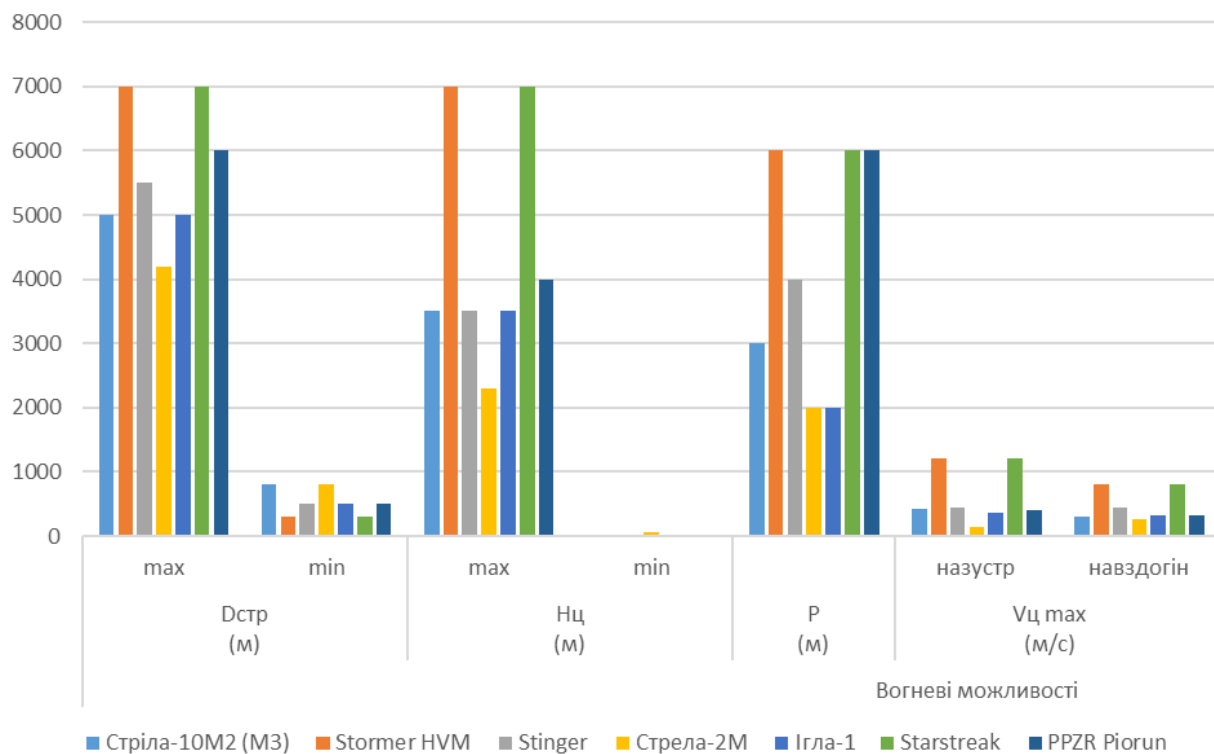
Для проведення оцінки напрямків модернізації комплексів ППО, із сукупності можливих, часто використовують критерій “ефективність – вартість”. Але цей критерій є більш зручним, коли мова йде про порівняння варіантів розробки нового озброєння. При відсутності своєчасного оновлення озброєння та військової техніки, та в умовах

обмежених можливостей промислової бази для здійснення модернізації озброєння та військової техніки, доцільно використовувати критерій “ефективність – вартість – час”, який є більш прийнятним, особливо у випадку, якщо мова йде про пошук альтернативних шляхів модернізації зразка озброєння [7].

Одним із найбільш поширеним, в механізованих підрозділах, комплексом ППО з оптико-електронною системою наведення радянського виробництва є ЗРК “Стріла 10” різних модифікацій. Доцільним напрямком його модернізації є заміна оптичного візиту на оптико-електронну станцію (ОЕС), за

допомогою якої, можна значно покращити виявлення та супровід цілей. Розглянемо особливості побудови і

функціонування оптико-прицільних станцій наведення, що наведено на рис.4.



Dстр(м) – дальність стрільби по ЗПН, Нц(м) – висота ЗПН, що уражуються,  
Р(м) – параметр ЗПН, Vц max(м/с) – максимальна швидкість ЗПН, що уражуються

Рис.3. Результати порівняльного аналізу основних ТТХ радянських комплексів ППО та західних країн партнерів  
Джерело: [14].

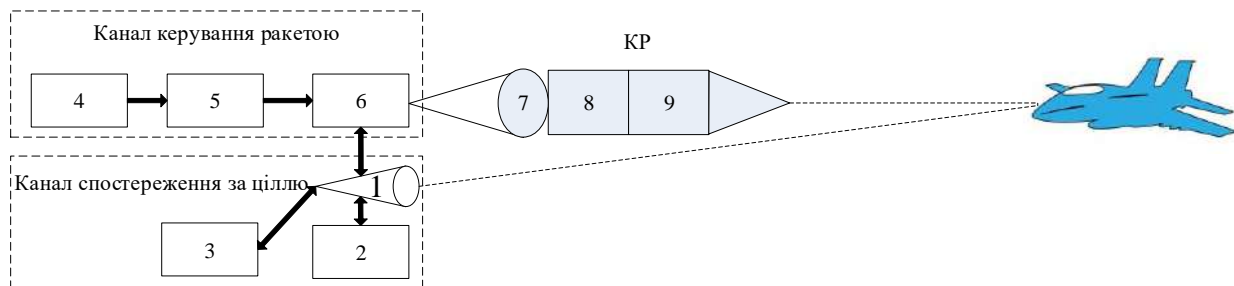


Рис.4. Узагальнена схема побудови оптико-прицільної станції наведення

Оптико-прицільна станція наведення складається з каналів спостереження за ціллю і управління ракетою. Канал спостереження за ціллю включає візирний пристрій 1 з приводами горизонтального та вертикального наведення 2 і оператора 3. Візирний пристрій може бути виконано у вигляді оптико-візуального чи тепловізійного прицілу (чи їх комбінації). Канал керування ракетою складається з лазерного джерела випромінювання 4, блоку формування інформаційного поля керування 5, ракетою і шифратора команд 6. На ракеті встановлюється об'єктив лазерного детектора 7, дешифратор команд керування ракетою 8 і привод

керма 9.

Ринок оптичних прицільних станцій є досить конкурентним, існують як вітчизняні, так і закордонні виробники. Серед найбільших закордонних виробників оптичних прицільних станцій можна відзначити такі компанії як Zeiss, Leica, Schmidt & Bender, Steiner та інші.

Науково-технологічний та промисловий потенціал України дозволяє в достатньо стислі терміни виготовити власну оптико-прицільну станцію наведення (ОПЧН) на основі розробок Ізюмського приладобудівного заводу, яка дозволить значно поліпшити виявлення, супроводження та

вибір цілі в денних та нічних умовах, та складається з:

- тепловізора китайського виробництва (він продемонстрував найкращі результати у порівнянні з конкурентами) з дальністю виявлення цілей до 14,5 км та розпізнавання цілей до 6 км;

- лазерного каналу наведення (для станції навідника; у варіанті для командира цей канал відсутній), який дозволяє запускати ракети на відстані до 7 км;

- двох тепловізійних каналів вузького та широкого поля зору, в яких використовуються цифрові камери виробництва США з високою роздільною здатністю;

- лазерного далекоміра з максимальною вимірювальною здатністю до 15 км.

Завдяки поєднанню оптики, тепловізору, далекоміру та лазерного каналу управління, станція є надточною [3].

Існують також приклади закордонних аналогів оптичних прицілних станцій:

- Панорамні системи відеоспостереження Gatekeeper і Artemis забезпечують спостереження в кольоровому та/або інфрачервоному спектрі [10];

- Sea Eagle FCEO (Fire Control Electro Optical) — це передова електрооптична система керування вогнем, яка забезпечує точне відстеження надводних і повітряних цілей і точне керування вогнем у надводних (ASuW), повітряних (AAW) і берегових (NGS) боях [11].

З метою впровадження концепції обертового високошвидкісного сканування простору на 360°, французька компанія HGH вирішила розробити камеру Vigiscan з роздільною здатністю, що приблизно в 60 разів більше, ніж у пристроїв типу “Fish eye” [12].

Електронна оптична система розвідки, спостереження та цілевказування турецької фірми Aselsan обладнана високопродуктивною інфрачервоною камерою системи наведення на ціль із загальною апертурою (CATS) [13].

Залежно від технічних характеристик та якості матеріалів, ціни на оптичні прицілні станції можуть значно відрізнятися та коливатися від кількох тисяч доларів до декількох сотень тисяч доларів.

Українські виробники оптичних прицілних станцій мають певні конкурентні переваги, такі як доступність та локальність виробництва. Згідно зі статистикою, вартість виробництва оптичних прицілних станцій в Україні може бути нижчою, ніж у деяких країнах Європи чи США, але вищою, ніж у деяких країнах Азії. Так, французький аналог такої станції коштує близько 1,5 млн євро. Він розроблявся приблизно 1,5 роки. Вітчизняний

аналог з Ізюмського приладобудівного заводу коштує вдвічі дешевше і був створений за 8 місяців (хоча сама концепція від задуму до зразка розроблялася майже 2 роки) [4].

На вартість виробництва впливають такі фактори, як вартість сировини, витрати на працю та енергію, вартість обладнання та інфраструктури, а також податки та інші витрати. Окрім того, на вартість виробництва можуть впливати інші фактори, такі як ринкова конкуренція, технічні характеристики та якість виробів, рівень автоматизації виробництва тощо.

Якщо зважити на додаткові витрати на транспортування та митні збори, то вартість імпортованих аналогів може значно збільшитися. Однак, важливо зазначити, що для вирішення більшості завдань, які стоять перед військовими, виробництво вітчизняних оптичних прицілних станцій зазвичай є досить ефективним та економічним рішенням. Тому, при прийнятті рішення про вибір між вітчизняними та закордонними аналогами варто зважити на багато факторів, таких як потреби та бюджет користувача, технічні характеристики, наявність сервісного обслуговування та гарантій.

Також одним із важливих факторів вогневих можливостей є швидкість ракети. Зазвичай даний комплекс використовував ракету 9М37 максимальна швидкість якої не перевищувала 415 м/с. У зв'язку з цим, є можливим створення нової ракети по іншій аеродинамічній схемі, яка була б більш точною та мала б більшу швидкість.

Дану ракету можливо замінити ракетою РК 10, яка має аеродинамічну схему “качка”. Зенітною версією цієї ракети буде ракета Р-10-ОФ. Дальність стрільби до 10 км, висота – 3,5 км, швидкість до 750 м/с, що значно більше ракети 9М37. Сама ЗКР має вагу 45 кг (з тпк – 57 кг) та осколково-фугасну бойову частину (бч) вагою 6,2 кг з ударним ядром та неконтактним детонатором [6].

## Висновки

Нові оптико-електронні системи можуть забезпечити більш точне визначення координат цілей, швидше їх виявлення та зниження часу реакції на зміну ситуації на полі бою. Крім того, нові технології можуть дозволити ЗРК Стріла-10 працювати в умовах електронної бойової обстановки та перешкод.

Модернізація ЗРК Стріла-10, з метою покращення можливостей виявлення та супроводження цілей, може бути доцільною, оскільки це дозволить збільшити ефективність системи в умовах сучасної бойової обстановки.

Однак, перед модернізацією необхідно

врахувати вартість робіт та часові обмеження, системами зброї та зв'язку, що використовуються на пов'язані зі здійсненням такої модернізації. Також полі бою. Всі ці фактори потрібно врахувати при необхідно забезпечити сумісність з іншими прийнятті рішення щодо модернізації ЗПК Стріла-10.

## Список літератури

1. Ляшенко В. А., Зогуля В. М., Юла О. В., Мазур В. Ю., Стрельбіцкий М. А. Обґрунтування складу та тактико-технічних характеристик перспективного мобільного оптико-електронного комплексу траєкторних вимірювань. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОВТ*. 2020. Вип. 2(4). С. 63–74.
2. Проекти зенітно-ракетних комплексів від ДержЖКБ “ЛУЧ”: веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/projekti\\_zenitno\\_raketnih\\_kompleksiv\\_vid\\_derzhkbb\\_luch-444.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/projekti_zenitno_raketnih_kompleksiv_vid_derzhkbb_luch-444.html).
3. Українські підприємства представили надсучасну розробку, яка необхідна як для модернізованої, так і для нової техніки Збройних Сил України: веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/news/na\\_zbroja\\_ta\\_bezpeka\\_20\\_21\\_pokazali](https://defence-ua.com/news/na_zbroja_ta_bezpeka_20_21_pokazali).
4. Цього місяця випробують оптико-прицільну станцію вітчизняного виробництва: веб-сайт. URL: <https://uprom.info/news/vpk/tsoho-misiatsia-vyprobuiut-optiko-prytsilnu-stantsiiu-vitchyznianoho-vyrobnytstva/>.
5. Модернізація комплексів ППО: що пропонують вітчизняні виробники: веб-сайт. URL: <https://armyinform.com.ua/2021/11/02/modernizaciya-kompleksiv-pro-shho-proponuyut-vitchyznaniyvyrobnyky/>.
6. Випробування ракети РК 10: веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/vognevi\\_viprobuvannja\\_zenitnoji\\_rk\\_10\\_vid\\_kb\\_luch\\_ekskljuzivne\\_video\\_ta\\_intervju\\_olega\\_korostelova-5705.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/vognevi_viprobuvannja_zenitnoji_rk_10_vid_kb_luch_ekskljuzivne_video_ta_intervju_olega_korostelova-5705.html).
7. Нікул С. О. Порівняння варіантів модернізації озброєння і військової техніки за узагальненим критерієм “ефективність – вартість – час”. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2014. Вип. 45. С. 52–56. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znrviknu\\_2014\\_45\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znrviknu_2014_45_10).
8. Нор П. І., Щипанський П. В., Гогоняц С. Ю. Методика оцінки технічного рівня зразків озброєння та військової техніки. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014, № 3(39) С. 49–54. URL: [https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2413/soivt\\_2014\\_3\\_12.pdf](https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2413/soivt_2014_3_12.pdf).
9. Демидов Б. А., Науменко М. В. Методичний підхід до вибору раціонального варіанту проведення модернізації зразків озброєння і військової. *Системи озброєння і військова техніка*. 2009, № 4(20). С. 41–44. URL: [https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/1481/soivt\\_2009\\_4\\_11.pdf](https://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/1481/soivt_2009_4_11.pdf) (дата звернення: 14.03.2023).
10. Above water warfare: web site. URL: <https://www.thalesgroup.com/en/global/activities/defence/naval-forces/above-water-warfare> (дата звернення: 24.03.2023).
11. Chess Dynamics To Supply Sea Eagle FCEO For Belgian And Royal Netherlands Navies Future MCM Vessels: web site. URL: <https://www.navalnews.com/event-news/euronaval-2020/2020/10/chess-dynamics-to-supply-sea-eagle-fceo-for-belgian-and-royal-netherlands-navies-future-mcm-vessels> (дата звернення: 24.03.2023).
12. Vigiscan HGH long range infrared panoramic camera technical data sheet specifications information: web site. URL: [https://www.armyrecognition.com/france\\_french\\_army\\_military\\_equipment\\_uk/vigiscan\\_hgh\\_long\\_range\\_infrared\\_panoramic\\_camera\\_technical\\_data\\_sheet\\_specifications\\_information.html#identification](https://www.armyrecognition.com/france_french_army_military_equipment_uk/vigiscan_hgh_long_range_infrared_panoramic_camera_technical_data_sheet_specifications_information.html#identification) (дата звернення: 17.03.2023).
13. CATS ELECTRO-OPTICAL RECONNAISSANCE, SURVEILLANCE AND TARGETING SYSTEM: web site. URL: <https://www.aselsan.com/en/savunma/product/2633/cats#section-magazine>. (дата звернення 16.03.2023).
14. Іванець М. Г., Артикула А. Г., Спірін Д. А., Погорілий О. С., Шинкаренко О. М. Шляхи модернізації зенітних ракетних комплексів ближньої дії з оптико-електронною системою наведення для підвищення розвідувальних можливостей щодо виявлення повітряних цілей. *Нові технології – для захисту повітряного простору*: матеріали XIX міжнародної наукової конференції ХНУПС ім. Івана Кожедуба. 2023.
15. Тищенко-Ламанський Р. Яку зброю Україні передають союзники та що потрібно ще для перемоги: web site. URL: [https://tvoemisto.tv/exclusive/skilky\\_ta\\_yakoi\\_zbroi\\_peredaly\\_soyuznyky\\_ukraini\\_oglyad\\_134481.html](https://tvoemisto.tv/exclusive/skilky_ta_yakoi_zbroi_peredaly_soyuznyky_ukraini_oglyad_134481.html) (дата звернення: 24.03.2023).
16. Кондрат В. В., Костенко О. І., Куценко В. В. Шляхи модернізації оптико-електронних засобів розвідки та прицілювання ОВТ. *Radiotekhnika*. 2018. № 194. С. 34–37.

Надійшла до редколегії 31.03.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

#### Спірін Денис Анатолійович

науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0009-0008-1656-7876>

#### Погорілий Олександр Сергійович

молодший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0009-0001-6916-5351>

### Information about the authors:

#### Denys Spirin

Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0008-1656-7876>

#### Oleksandr Pohoriliy

Junior Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0001-6916-5351>

**Шинкаренко Ольга Миколаївна**

кандидат економічних наук  
науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7621-7017>

**Olga Shynkarenko**

PhD in Economic  
Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7621-7017>

## JUSTIFICATION OF MODERNIZATION PATHS FOR SHORT-RANGE AIR DEFENSE MISSILE SYSTEMS OF LAND FORCES

D. Spirin, O. Pohorilyi, O. Shynkarenko

*Modern air defense systems of large, medium, short, and close range are among the most complex types of military equipment. The ability of a country to independently produce modern air defense systems is an indicator of the level of development of its defense industry. Therefore, the development, serial production, and modernization of these systems require a high level of scientific and technological advancement, as well as significant investment in research and development.*

*During the full-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, both manned and unmanned aerial attack means were employed by the air and space forces. From the initial moments of the invasion, all components of the air defense encountered the need for the modernization of the existing air defense systems.*

*The need for the modernization of existing air defense systems in Ukraine is justified by a comparative assessment of their tactical and technical characteristics with similar systems provided by Western partner countries within the framework of material and technical assistance. The modernization of air defense missile systems covering mechanized units will enhance the capability to detect and track targets, thereby increasing the effectiveness of the system in modern combat conditions.*

*The issue of air defense system modernization has been the subject of numerous publications. These works discuss prospective directions for the development of short-range air defense systems, including the description of new technologies and materials that can be utilized to enhance the functionality and reliability of such systems. The publications focus on various methodological approaches to evaluate options for upgrading weapons and military equipment.*

**Keywords:** air defense; surface-to-air missile system; modernization; electro-optical systems; guidance systems.

## МЕТОД СЕГМЕНТУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО ВІДЕОМОНІТОРИНГУ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ K-MEANS

Наведена конфігурація системи відеомоніторингу. Удосконалено метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу в якому, на відміну від відомих, проводиться розбиття вихідного зображення на RGB канали яскравості; визначення евклідової відстані між пікселями; розподіл усієї множини пікселів зображення на підмножини; перерахунок “центрів” кожної підмножини; перепризначення нових “центрів” кожної підмножини; мінімізація повної внутрішньокласової дисперсії. Проведені експериментальні дослідження сегментування зображення з системи дистанційного відеомоніторингу. Встановлено, що існує візуальна можливість визначення об’єктів інтересу на сегментованих зображеннях. При цьому лише при  $k=4$  з’являється можливість візуального визначення елементів захисної накидки, в той час як при  $k=2$  та  $k=3$  така можливість ускладнена. Напрямками подальших досліджень є визначення оптимальної значення величини  $k$  при використанні алгоритму  $k$ -means та оцінка якості сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу.

**Ключові слова:** метод сегментування; дистанційний моніторинг; зображення;  $k$ -means; відстань між пікселями; внутрішньокласова дисперсія; об’єкт інтересу.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відомо [1–2], що дистанційний відеомоніторинг проводиться для вирішення різноманітних завдань. В теперішній час системи відеомоніторингу широко застосовуються в системах охорони об’єктів, позицій підрозділів тощо [3].

Як правило, конфігурація системи відеомоніторингу складається з [4]:

- програмно-апаратного комплексу;
- центрального серверного комплексу (одного або декількох) – апаратний хостинг, розміщений у спеціально обладнаних приміщеннях;
- ситуативного центру системи відеомоніторингу;
- мережі передавання даних, що функціонує як єдина система у результаті або за умови забезпечення передачі даних каналами зв’язку;
- системи захисту інформації в частині забезпечення захисту інформації від несанкціонованого доступу.

Обробка потокового відео та зображень з систем відеомоніторингу для визначення об’єктів інтересу суттєво залежить від якості сегментування зображення [2].

Тому в даній статті основна увага приділяється методу сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [5] відмічається, що для локалізації об’єкту інтересу на зображенні використовують методи, які базуються на бінаризації, виділенні контурів, морфологічній обробці зображень. Метод

локалізації об’єкту інтересу [5] передбачає наступну послідовність дій.

1. Перетворення вихідного кольорового зображення в полутонове.
2. Проведення обробки зображення операторами Собеля (або Превітта). Формування зображення, в якому яскравість пікселів дорівнює модулю градієнту у відповідній точці зображення.
3. Проведення бінаризації зображення.
4. Проведення операцій морфологічного закриття з прямокутником у якості структуруючого елемента.
5. Визначення контуру на зображенні.
6. Визначення областей, що обмежені контурами.
7. Визначення області, параметри якої відповідають об’єкту інтересу.

Перевагою [5] є вирішення завдання локалізації об’єкту інтересу на зображенні. Основними недоліками методу [5] є чутливість операторів Собеля, Превітта, морфологічних операторів до різного роду шумів на зображенні (Гауса, спекл, “сіль та перець”).

Для локалізації об’єкту інтересу може бути використаний метод Віоли-Джонса [6]. Сутність методу полягає у знаходженні ознак на зображенні з використанням ознак Хаара. Ознака Хаара складається зі із суміжних прямокутних областей, які знаходяться на зображенні. Потім проводиться сумування яскравості пікселів в областях та між сумами розраховується різниця. На етапі виявлення заданої області використовується вікно визначеного розміру, яке переміщується по зображенню. Ознака

Хаара розраховується для кожної області зображення. Наявність або відсутність предмету у вікні визначається різницею між значенням ознаки та порогом. Перевагою [6] є використання апріорної інформації стосовно об'єкту інтересу на зображенні. Основними недоліками [6] є:

- на зображенні може бути декілька об'єктів;
- висока трудомісткість обчислень;
- неефективний при відсутності виражених границь на зображенні.

Для визначення місцеположення об'єкту інтересу на зображенні використовується метод опорних векторів (support vector machine (SVM)) [7]. Основні переваги [7]:

- навчання методу може бути зведено до задачі квадратичного програмування. Така задача має єдине рішення, яке достатньо ефективно може бути визначено на великих вибірках;
- положення оптимальної гіперплощини залежить лише від невеликої долі об'єктів, що використовуються для навчання (опорних векторів);
- за допомогою введення функції ядра метод може бути узагальнений на випадок нелінійних поверхонь, що не розділяються.

Основним недоліком [7] є те, що стандартний метод опорних векторів використовується лише для бінарної класифікації.

Для випадку декілька класів найбільш використовуються наступні підходи [8–9]. В [8] запропоновано створити набір класифікаторів та обрати клас, на якому об'єкт знаходиться далі всього від поверхні, що розділяє. В [9] запропоновано створити набір бінарних класифікаторів, а потім обрати клас, що запропонований більшістю з цих класифікаторів. Перевагами [8–9] є застосування двох етапів для класифікації об'єкту інтересу на зображенні. Це підвищує якість класифікації. Недоліками [8–9] є складність знаходження границі між класами та складність проведення обчислень при зростанні кількості класів.

В [10] запропоновано метод гістограмного аналізу регіонів. Метод заснований на тому, що об'єкти інтересу є контрастними. Перевагою [10] є простота роботи гістограмного методу. Недоліком [10] є нестійкість методу до спотворюючих факторів. Також, у випадку великої перспективи (великого кута нахилу камери при зніманні) виділення максимуму проекції ускладнено.

Як правило, об'єкти інтересу мають відносно невеликий розмір, границі тощо. Тому для визначення об'єкту інтересу можна застосувати метод на основі перетворення Хафа для ліній [11]. Метод [11] передбачає:

- визначення ліній;
- формування прямої лінії з середніх значень

всіх точок ліній, що отримані;

- обчислення куту між отриманою прямою лінією та лінією горизонту.

В [12] розглянуто особливості прикладного застосування перетворення Хафа до визначення елементів міської інфраструктури. Додатково на першому етапі запропоновано застосування методу Канні. Перевагами [11–12] є використання простих геометричних примітивів, зниження обчислювальних витрат. Недоліками [11–12] є доцільність використання перетворення Хафа при визначенні простих геометричних примітивів та наявність великої кількості “сміттєвих” об'єктів.

В [13] запропоновано метод виявлення та розпізнавання об'єктів інтересу для потокового відео. Метод заснований на нейронній мережі зі зворотнім зв'язком. Апріорні значення прямого та двонаправленого зіставлення між послідовними кадрами потокового відео належним чином поєднуються зі структурами шарів, які спеціально розроблені для виявлення об'єктів інтересу. В [13] наведений набір відео кадрів для глибокого навчання запропонованої мережі. Перевагою [13] є те, що під час навчання мережі виконується аугментація даних на основі повороту зображення. Недоліком методу [13] є необхідність виконання багатоциклового налаштування внутрішніх елементів мережі та зв'язку між ними.

В [14] запропоновано метод, який дозволяє розпізнавати об'єкти інтересу визначеної форми. Розпізнавання виконується за допомогою архітектури глибокого навчання на основі нейронної мережі (LPR-Net). LPR-Net являє собою гібридну глибоку архітектуру. Перевагами [14] є те, що архітектура складається з мережі залишкових помилок для отримання основних ознак, багатомасштабної мережі для отримання багатомасштабних ознак, регресійної мережі для визначення місцезнаходження об'єктів інтересу та мережі класифікації для розпізнавання. Недоліком методу [14] є невелика швидкість навчання у процедурі навчання LPR-Net.

В [15] запропоновано єдина глибока нейронна мережа, яка локалізує об'єкти інтересу та розпізнає їх одночасно за один прохід по вибірці. Тобто усю мережу навчають з початку та до кінця. Використання даного методу дозволяє уникнути проміжного накопичення помилок, прискорити швидкість обробки зображення. Недоліком методу [15] є проблеми під час підготовки навчальної вибірки, які пов'язані з труднощами знаходження достатньої кількості навчальних прикладів.

В [16] запропоновано метод, заснований на дробовому операторі Рісса. Даний метод використовується для підвищення деталізації крайової інформації на зображеннях.

Запропонований підхід виконує операцію згортки дробової похідної Рісса над кожним вхідним зображенням, посилюючи в ньому силу краю. Але для вирішення завдання виявлення та розпізнавання об'єктів інтересу необхідно застосовувати додаткові методи виявлення та розпізнавання.

В [17] запропонована нейронна мережа для виявлення системою відеомоніторингу дрібних та нахилених номерних знаків автомобілів на зображеннях камер відеомоніторингу. Метод заснований на застосуванні аналізу відношення транспортного засобу до номерного знаку. Запропоновано оцінити локальну область навколо номерного знаку, використовуючи відношення між транспортним засобом та номерним знаком. Це дозволяє значно скоротити область пошуку та виявляти дуже маленькі номерні знаки. Чотирикутна рамка номерного знаку визначається шляхом регресії чотирьох кутів номерного знаку. Недоліком методу [17] є те, що даний метод ефективно працює лише для невеликих та похилих номерних знаків.

В [18] запропонований метод, який є сукупністю таких алгоритмів, як ковзне вікно, гістограма направленої градієнту та метод опорних векторів. Зображення обробляється методом ковзного вікна, щоб знайти положення об'єкту інтересу. Вилучення ознак при кожному русі ковзного вікна проводиться за допомогою методу опорних векторів та методу гістограми направлених градієнтів. Перевагою методу [18] є висока точність виявлення об'єктів інтересу на зображенні навіть поганої якості. Недоліком [18] є великі часові затрати, та як наслідок, неможливість виявлення об'єктів інтересу у режимі реального часу.

Таким чином, аналіз відомих методів сегментування зображень у системах відеомоніторингу показав, що ці методи не задовільняють вимогам до якості сегментування зображень в системі відеомоніторингу. Тому розробка методу сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу є актуальним завданням.

**Мета статті** – розробка методу сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу на основі алгоритму k-means.

## Виклад основного матеріалу

Прикладами системи відеомоніторингу лінії зіткнення є система відеомоніторингу спеціальної моніторингової місії Організації з безпеки та співробітництва в Європі (рис.1), комплекс батальйонного відеоспостереження (рис.2, рис.3) тощо.

Програмно-апаратний комплекс системи відеомоніторингу є комплектом устаткування, що розміщується на лінії зіткнення та забезпечує

первинний збір і обробку відеосигналу, його подальше зберігання та передачу в захищеному вигляді з використанням мережі передавання даних до центральних серверних комплексів [3–4].



Рис.1. Система відеомоніторингу спеціальної моніторингової місії Організації з безпеки та співробітництва в Європі  
Джерело: розроблено авторами.



Рис.2. Комплекс батальйонного відеоспостереження  
Джерело: розроблено авторами.



Рис.3. Комплекс батальйонного відеоспостереження  
Джерело: розроблено авторами.

Конфігурація програмно-апаратного комплексу включає:

- відеокамери з роздільною здатністю не менш як (640x480) пікселів, з можливістю передачі звукового сигналу та швидкістю відеопотоку не менш як 25 кадрів на секунду, можливістю кольорової відеозйомки, а також обов'язковою фіксацією дати та часу зйомки;

- пристрій для запису та передавання відеосигналу, який здатен забезпечити запис із роздільною здатністю не менш як (640x480) пікселів із швидкістю відеопотоку не менш як 25 кадрів на секунду, тривалістю не менше 120 годин з кожної камери та передавання відеосигналу до центру обробки даних з роздільною здатністю та швидкістю залежно від якості каналу передавання даних, але не менш як (320x240) пікселів із швидкістю відеопотоку не менш як 15 кадрів на секунду;

- систему безперебійного електропостачання обладнання програмно-апаратного комплексу протягом не менш як однієї години;

- необхідне комутаційне обладнання та з'єднувальні кабелі;

- програмне забезпечення, необхідне для функціонування програмно-апаратного комплексу.

Чинниками, що ускладнюють сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу є:

- недостатня деталізація зображення;
- обмеженість використання різних типів об'єктів камери;
- наявність коливань камери;
- обмеженість щодо розмірів матриці камери;
- обмеженість режимів фокусування та масштабування камери;
- відсутність режиму стеження за об'єктом, особливо, коли об'єкт наближується (відсутність слідкуючого автоматичного фокусу);
- відсутність реалізації ефекту “боке”;
- обмеженість використання додаткових опцій (настроювання різкості, сепія, визначення балансу білого кольору та його фіксація, кольорові фільтри, розмиття деяких деталей тощо).

Метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу будемо розглядати на основі алгоритму k-means.

Сегментування вихідного зображення у системах відеомоніторингу  $f(X)$  є відображення (1):

$$f(X) \rightarrow fc(X), \quad (1)$$

де  $f(X)$  – вихідне зображення;

$fc(X)$  – результуюче сегментоване зображення.

Сегментування вихідного зображення  $f(X)$  відповідно до виразу (1) передбачає розподіл усієї множини пікселів (об'єктів) вихідного зображення

на порівняно однорідні неперетинаючі підмножини (сегменти). Розподіл проводиться за ознакою пікселя (об'єкта). Вибірку пікселів (об'єктів) в просторі ознак за обраним критерієм порівняння (метрикою) проводять відносно значення визначеного пікселя (об'єкту) (так званого “центру”) підмножини (сегменту).

У якості ознаки пікселя (об'єкта) використовується значення інтенсивності кольору. Для RGB зображення це значення інтенсивності кольору у тривимірному просторі; для тонового зображення – в одновимірному просторі. Метрикою є “відстань” від кожного з “центрів” підмножини (сегменту) до об'єкту (пікселя) зображення з подальшим віднесенням його до тієї підмножини (сегменту), відстань до “центру” якого є мінімальною.

Отже, результатом проведення сегментування є вираз (2):

$$f(X) \rightarrow Y, \quad (2)$$

де  $Y = \{1, 2, \dots, K\}$  – множина “центрів” (номерів) підмножин (сегментів).

Функція (2) будь-якому об'єкту  $x_i \in X$  ставить у відповідність лише один “центр” (номер) сегменту  $y_i \in Y$ . При цьому кожному пікселю (об'єкту)  $x_i \in X$  надається номер підмножин (сегментів)  $y_i \in Y$ .

Отже, математичне формулювання задачі сегментування зображення в загальному вигляді приймає вид (3):

$$\begin{cases} f(X) \rightarrow Y, \text{ для } Y = \{1, 2, \dots, K\}; \\ f(X) = \bigcup_{k=1}^K fc_k(X); \\ fc_i(X) \cap fc_{i+1}(X) = \emptyset; \\ \forall x_i \exists y_k, \quad k = \overline{1, K}; \\ x_i \in fc_K(X), \text{ якщо } d(x_i, y_k) \approx y_k, \quad k = \overline{1, K}; \end{cases} \quad (3)$$

де  $fc(X) = \{fc_1(X), fc_2(X), \dots, fc_K(X)\}$  – сегменти на зображенні  $fc(X)$ ;

$d(x_i, y_k)$  – функція відстані між пікселями (об'єктами)  $x_i$  та  $y_k$ ;

$y_k$  – “центри” підмножин (сегментів);

$I$  – кількість пікселів (об'єктів) на  $f(X) \cdot f(X)$ ,  $i = (1, 2, \dots, I)$ ;

$K$  – кількість підмножин (сегментів) на  $fc(X)$ ,  $k = (1, 2, \dots, K)$ .

Результатом сегментування зображень є розділення зображення на підмножини (сегменти), основною вимогою якого є близькість щодо обраної

метрики всередині підмножини та суттєва відмінність щодо метрики з різних підмножин. При цьому кількість підмножин (сегментів) може бути є визначеним на початку сегментування, а їх “центри” (номери) – невизначеними. За метрику може бути обрана люба з наявних варіантів критерію порівняння та визначається перед початком роботи методу.

Метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу на основі алгоритму k-means передбачає наступне.

#### 1. Введення вихідних даних:

– цифрового зображення для сегментування –  $f(X)$ , що є матрицею пікселів (елементів), де кожен з елементів представлений вектором характеристик (4):

$$f(X) = \{x_1, x_2, \dots, x_i\}, \quad (4)$$

де  $i$  – розмірність простору характеристик зображення.

Кожний піксель (елемент)  $x$  для розбиття на сегменти представляється вектором характеристик (5):

$$O = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, \quad (5)$$

де  $n$  – розмірність простору характеристик пікселя (елементу).

При умові сегментування тонового зображення вектор характеристик (5) складається з координат розташування пікселів (елементів) та зі значення їх інтенсивності кольору в одновимірному просторі. При умові сегментування RGB зображення до вектору характеристик (5) додаються значення елементів інтенсивності кольору у тривимірному просторі:

- кількості сегментів –  $k$ ;
- максимальна кількість ітерацій роботи алгоритму –  $T$ ;
- кількість ітерацій, протягом якої значення “центрів” сегментів є незмінними –  $M$ .

2. Вибір на вихідному зображенні  $f(X)$  випадковим чином визначеної кількості “центрів” сегментів, що дорівнює  $k$ . Лише на початку роботи алгоритму k-середніх такий вибір є випадковим.

#### 3. Вибір критерію порівняння (метрики).

#### 4. Розрахунок критерію порівняння (метрики).

Початок ітераційного процесу сегментування. В якості критерію порівняння (метрики) при сегментуванні зображення обрано евклідова відстань – відстань між пікселями (об’єктами) у  $n$  вимірному просторі характеристик.

Даний критерій порівняння розраховується згідно виразу (6):

$$d(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad (6)$$

де  $x_i$  – значення інтенсивності кольору пікселів;

$y_i$  – значення інтенсивності кольору “центру” сегменту.

5. Розподіл усієї множини пікселів зображення на підмножини (сегменти) за результатами обчислення виразу (6) та при умові мінімального значення такої відстані до “центру” сегменту.

6. Перерахунок “центрів” кожної підмножини (сегменту) як середнє арифметичного усіх їх пікселів (елементів).

7. Перепризначення нових “центрів” кожної підмножини (сегменту).

Пункти 4–7 алгоритму k-середніх повторюються до тих пір, поки не буде виконана одна з наступних умов зупинки роботи алгоритму:

– виконання максимальної кількості ітерацій роботи алгоритму;

– незмінність значення “центрів” усіх підмножин (сегментів) протягом визначеної кількості ітерацій роботи алгоритму.

Отже, головною метою алгоритму k-середніх є мінімізація повної внутрішньокластерної дисперсії  $D$ , що представлено виразом (7):

$$D = \sum_{k=1}^K \sum_{O_j \in y_k} (O_j - y_k)^2. \quad (7)$$

Враховуючи представлення вихідного зображення в кольоровому просторі RGB, основні етапи методу сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу на основі алгоритму k-means застосовуються окремо до Red, Green та Blue каналів яскравості.

Отже, метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу на основі алгоритму k-means передбачає:

- розкладання вихідного зображення на RGB канали яскравості;
- визначення евклідової відстані між пікселями;
- розподіл усієї множини пікселів зображення на підмножини (сегменти);
- перерахунок “центрів” кожної підмножини;
- перепризначення нових “центрів” кожної підмножини (сегменту);
- мінімізація повної внутрішньокластерної дисперсії.

Для прикладу розглянемо сегментування зображення з системи відеомоніторингу на лінії зіткнення при веденні бойових дій під час російсько-української війни.

На рис.4 наведено зображення з системи відеомоніторингу військовослужбовця в бойовому спорядженні та військовослужбовця в такому ж спорядженні, але у спеціальній накидці, що маскує.



Рис.4. Зображення з системи відеомоніторингу військовослужбовця в бойовому спорядженні та військовослужбовця в такому ж спорядженні, але у спеціальній накидці, що маскує  
Джерело: розроблено авторами.

На рис.5–7 наведені сегментовані зображення методом сегментування на основі алгоритму k-means при різних значеннях  $k$  (рис.5 –  $k=2$ , рис.6 –  $k=3$ , рис.7 –  $k=4$ ).



Рис.5. Сегментоване зображення методом сегментування на основі алгоритму k-means ( $k=2$ )  
Джерело: розроблено авторами.



Рис.6. Сегментоване зображення методом сегментування на основі алгоритму k-means ( $k=3$ )  
Джерело: розроблено авторами.

Аналіз рис.5–7 свідчить про візуальну можливість визначення об'єктів інтересу на сегментованих зображеннях.



Рис.7. Сегментоване зображення методом сегментування на основі алгоритму k-means ( $k=4$ )  
Джерело: розроблено авторами.

При цьому лише на рис.7 ( $k=4$ ) з'являється можливість візуального визначення елементів захисної накидки, в той час як на сегментованих зображеннях (рис.5 ( $k=2$ ) та рис.6 ( $k=3$ )) така можливість ускладнена.

Таким чином, на відміну від відомих, метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу передбачає розбиття вихідного зображення на RGB канали яскравості; визначення евклідової відстані між пікселями; розподіл усієї множини пікселів зображення на підмножини; перерахунок "центрів" кожної підмножини; перепризначення нових "центрів" кожної підмножини; мінімізація повної внутрішньокластерної дисперсії.

## Висновки

Удосконалено метод сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу в якому, на відміну від відомих, проводиться розбиття вихідного зображення на RGB канали яскравості; визначення евклідової відстані між пікселями; розподіл усієї множини пікселів зображення на підмножини; перерахунок "центрів" кожної підмножини; перепризначення нових "центрів" кожної підмножини; мінімізація повної внутрішньокластерної дисперсії.

Проведені експериментальні дослідження сегментування зображення з системи дистанційного відеомоніторингу. Встановлено, що існує візуальна можливість визначення об'єктів інтересу на сегментованих зображеннях. При цьому лише при  $k=4$  з'являється можливість візуального визначення елементів захисної накидки, в той час як при  $k=2$  та  $k=3$  така можливість ускладнена.

Напрямами подальших досліджень є визначення оптимальної значення величини  $k$  при використанні алгоритму k-means та оцінка якості сегментування зображень в системі дистанційного відеомоніторингу.

## Список літератури

1. Переваги і недоліки відеоспостереження та відеофіксації у закладах освіти: веб-сайт. URL: [https://znayshov.com/News/Details/perevahy\\_i\\_nedoliky\\_videosposterezhennia\\_ta\\_vidيوفiksatsii\\_u\\_zakladakh\\_ospity](https://znayshov.com/News/Details/perevahy_i_nedoliky_videosposterezhennia_ta_vidيوفiksatsii_u_zakladakh_ospity) (дата звернення 13.05.2023).
2. Khudov H., Makoveichuk O., Misiuk D., Pievtsov H., Khizhnyak I., Solomonenko Y., Yuzova I., Cherneha V., Vlasuk V., Khudov V. Devising a method for processing the image of a vehicle's license plate when shooting with a smartphone camera. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. № 1/2(115). P. 6–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252310>.
3. Organization for Security and Co-operation in Europe. OSCE Special Monitoring Mission to Ukraine (SMM) Daily Report: веб-сайт. URL: <https://www.osce.org/special-monitoring-mission-to-ukraine/510200> – daily (дата звернення 13.04.2023).
4. Технічний моніторинг на лінії зіткнення: робота заради людей: веб-сайт. URL: <https://www.osce.org/uk/special-monitoring-mission-to-ukraine/483764> (дата звернення 16.04.2021).
5. Кирпичников А. П., Ляшева С. А., Обухов А. В., Шлеймович М. П. Автоматическое распознавание автомобильных номеров. *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 4. С. 218–222.
6. Viola P. Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR*. 2001. Vol. 1. P. 511–518.
7. Gholami R., Fakhari N. Support Vector Machine: Principles, Parameters, and Applications. *Handbook of Neural Computation*. 2017. Chapter 27. P. 515–535. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811318-9.00027-2>.
8. Awad M., Khanna R. Support Vector Machines for Classification. *Efficient Learning Machines*. 2015. Chapter 3. P. 39–66. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-5990-9_3).
9. Jun Z. The Development and Application of Support Vector Machine. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 1748. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1748/5/052006>.
10. Hung K.-M., Hsieh C.-T. A Real-Time Mobile Vehicle License Plate Detection and Recognition. *Tamkang Journal of Science and Engineering*. 2010. Vol. 13. No. 4. P. 433–442.
11. Hassanein A. S., Mohammad S., Sameer M., Ragab M. E. A Survey on Hough Transform, Theory, Techniques and Applications. *International Journal of Computer Science Issues*. 2015. Vol. 12. Is. 1. No. 2. P. 139–156.
12. Ruban I., Khudov H., Makoveichuk O., Khizhnyak I., Lukova-Chuiko N., Pevtsov G., Sheviakov Y., Yuzova I., Drob Y., Tytarenko O. Method for determining elements of urban infrastructure objects based on the results from air monitoring. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 4/9(100). P. 52–61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174576>.
13. Yoo S. B., Han M. Temporal Matching Prior Network for Vehicle License Plate Detection and Recognition in Videos. *ETRI Journal*. 2020. Vol. 42. Is. 3. P. 411–419. <https://doi.org/10.4218/etrij.2019-0245>.
14. Wang D., Tian Y., Geng W., Zhao L., Gong C. LPR-Net: Recognizing Chinese license plate in complex environments. *Pattern Recognition Letters*. 2020. Vol. 130. P. 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2018.09.026>.
15. Li H., Wang P., Shen C. Toward end-to-end car license plate detection and recognition with deep neural networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2019. Vol. 3. P. 1126–1136.
16. Raghunandan K. S., Shivakumara P., Jalab H. A., Ibrahim R. W., Kumar G. H., Pal U., Lu T. Riesz fractional based model for enhancing license plate detection and recognition. *IEEE Transactions Circuits Systems for Video Technology*. 2018. Vol. 28. Is. 9. P. 2276–2288. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2017.2713806>.
17. Chen S.-L., Tian S., Ma J.-W., Liu Q., Yang C., Chen F., Yin X.-C. End-to-end Trainable Network for Degraded License Plate Detection via Vehicle-Plate Relation Mining. *Neurocomputing*. 2020. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2021.03.040>.
18. Astawa I., Caturbawa G. N. B., Sajayasa M., Atmaja A. D. S. Detection of License Plate using Sliding Window, Histogram of Oriented Gradient, and Support Vector Machines Method. *Journal of Physics: Conference Series. The 2nd International Joint Conference on Science and Technology (IJCSST)*. 2017. P. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012062>.

Надійшла до редколегії 07.06.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

## Відомості про авторів:

**Худов Геннадій Володимирович**

доктор технічних наук професор  
начальник кафедри  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

**Місюк Дмитро Леонідович**

викладач  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
Харків, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-7759-1780>

## Information about the authors:

**Hennadii Khudov**

Doctor of Engineering Science Professor  
Head of Department  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3311-2848>

**Dmytro Misiuk**

Instructor  
of Ivan Kozhedub Kharkiv  
National Air Force University,  
Kharkiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-7759-1780>

## THE METHOD OF SEGMENTATION OF THE IMAGES IN THE REMOTE VIDEO MONITORING SYSTEM BASED ON THE K-MEANS ALGORITHM

H. Khudov, D. Misiuk

*The configuration of the video monitoring system, which is widely used in the protection systems of objects and positions of units, is given. Examples of the collision line video monitoring system are given, namely: the video monitoring system of the special monitoring mission of the Organization for Security and Cooperation in Europe and the battalion video surveillance complex. An analysis of known methods of image segmentation in video monitoring systems has been carried out. The analysis showed that these methods do not meet the requirements for the quality of image segmentation in the video monitoring system. The image segmentation method in the remote video monitoring system has been improved, in which, unlike the known ones: the source image is divided into RGB brightness channels; determination of the Euclidean distance between pixels; division of the entire set of image pixels into subsets; recalculation of "centers" of each subset; reassignment of new "centers" of each subset; minimization of total intra-cluster variance. Experimental studies of image segmentation from the remote video monitoring system were conducted. The image from the video monitoring system on the contact line during hostilities during the russian-ukrainian war is used as the source image. The segmentation results of this source image are given. It was established that there is a visual possibility of identifying objects of interest on segmented images. At the same time, it is possible to visually determine the elements of the protective cape only at  $k=4$ , while at  $k=2$  and  $k=3$  this possibility is complicated. The directions of further research are the determination of the optimal value of the value  $k$  when using the k-means algorithm and the evaluation of the quality of image segmentation in the remote video monitoring system.*

**Keywords:** *method of segmentation; remote monitoring; image; k-means; distance between pixels; intra-class variance; object of interest.*

О.М. Чебаков, В.П. Гайдак, Ю.В. Дирман, І.Г. Гайдак

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси*

## ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МАКЕТІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

*Для ефективного використання озброєння та військової техніки в бойових умовах необхідно постійно підтримувати професійну підготовку фахівців. У статті проведено дослідження застосування макетів озброєння та військової техніки в різних умовах. Враховано досвід роботи в умовах бойового застосування та як тренажерів для професійної підготовки фахівців і особливості створення та побудови макетів військової техніки. Позначено, що використання макетів як тренажерів можна розглядати як перспективний шлях підтримки рівня підготовки професійних вмінь та навичок, необхідних військовослужбовцям.*

**Ключові слова:** макет озброєння та військової техніки; ефективність використання макетів; макети-тренажери.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід сучасних локальних війн (конфліктів і операцій) свідчить про те, що значна роль у досягненні мети війни приділяється розвитку та підготовці кваліфікованих кадрів. Це, у свою чергу, обумовлює об'єктивну необхідність створення зразків макетів техніки, які можливо було б використовувати під час підготовки (пере- та допідготовки) фахівців.

Ефективне використання озброєння та військової техніки неможливе без професійних фахівців з високим рівнем кваліфікації та компетентності. Досвід, набутий під час проведення антитерористичної операції та операції Об'єднаних сил на сході України та широкомасштабної військової агресії російської федерації, показав актуальність завдань щодо впровадження нових організаційно-технічних рішень і методів підготовки військ з використанням макетів озброєння та військової техніки з урахуванням реальних умов його застосування.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Огляд публікацій присвячених досвіду створення та використання макетів озброєння та військової техніки, засвідчив, що авторами, як правило, аналізуються організаційні заходи як використовувати макети під час підготовки фахівців, а також як за допомогою розробки макетів озброєння та військової техніки ввести в оману противника в ході ведення бойових дій [1–5].

У публікаціях на цю тему також аналізуються розробки наукової та науково-виробничої інтеграції та описуються експериментальні дослідження, що ведуть до розробки макетів техніки, які можна використовувати як тренажери для фахівців.

Однак публікацій, що дозволяють обґрунтовано проаналізувати перспективи використання макетів сучасного озброєння та військової техніки, не виявлено.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у необхідності створення та активного використання макетів озброєння та військової техніки в умовах бойового застосування.

**Метою статті** є визначення найбільш важливих можливостей та механізмів функціонування системи створення та використання макетів озброєння та військової техніки.

### Виклад основного матеріалу

Для того, щоб дослідити макети озброєння та військової техніки і перспективи їх використання необхідно визначити, що таке макет озброєння та військової техніки. Макет озброєння та військової техніки – об'ємно-просторове зображення зразка озброєння, боеприпасів або військової техніки, що призначене для:

- виконання організаційних заходів маскування з метою імітації фальшивих районів розташування та пересування підрозділів, об'єктів;
- проведення випробувань дослідного зразка з використанням аналога;
- навчання правилам поведінки.

Макетами можна імітувати матеріальну частину, бойову, транспортну та спеціальну техніку, озброєння та військову техніку (рис.1).

Для імітації озброєння та військової техніки часто використовують нерухомі макети.

Нерухомі макети можуть бути безкаркасними і каркасними. Безкаркасна нерухома модель матеріальної частини виготовляють з землі або снігу.



Рис. 1. Схема макетів озброєння та військової техніки

Джерело: [5].

Щоб зменшити обсяг робіт, макети розташовують в окопах або укриттях, збільшуючи при цьому ефект імітації, так як таке розташування найбільш поширене і, безумовно, більш правдоподібне.

Корпус безкаркасних макетів зазвичай виготовляється з ґрунту або снігу. Це такі елементи, як вежа танка, верхня частина корпусу самохідної артилерійської установки, кабіна автомобіля або трактора, викладаються з дерну влітку і снігу взимку.

Корпус стаціонарної моделі танка або самохідної артилерійської установки (далі – САУ) імітується кріпленням колоди на башті.

Щоб скоротити час монтажу безкаркасних нерухомих макетів матеріальної частини, вежу моделі танка, верхню частину корпусу самохідної артилерійської установки та інші компоненти часто готують заздалегідь, щоб їх можна було встановити на земляний або сніговий корпус макету.

Ще однією перевагою цієї розбірної моделі вежі є те, що її можна періодично обертати на твердому корпусі моделі танка, посилюючи ефект імітації.

Каркасно-фіксовані макети матеріальних частин зазвичай складаються з каркаса, виготовленого на місці розташування макета і обшивки, що імітує поверхню об'єкта. При влаштуванні каркасів використовують жердини, металеві трубки, дріт і оболонки (рис.2) [5–8].

Разом з тим, у переносному макетному

обладнанні, призначеному для повітряної розвідки, з метою зменшення ваги та зменшення витрат сил і засобів можливе відтворення лише видимої з повітряних об'єктів верхньої частини імітованого об'єкта.

Навіть під час наземної розвідки противника розміщення такого макета в чагарнику мало б бажаний ефект. Переносні макети матеріальної частини можуть бути табельними або виготовленими з існуючих матеріалів.

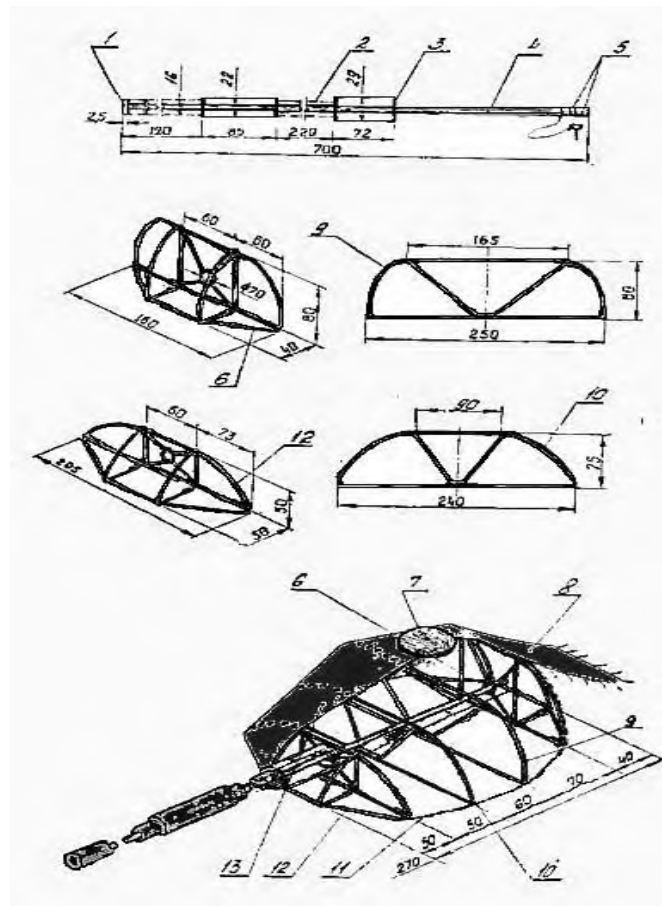
Під час бойових дій в районі Перської затоки армія Іраку дуже широко використовувала легкі надувні макети техніки (танки, бронетранспортери, РЛС, ракетні установки, вантажівки) з легких синтетичних матеріалів.

Загалом було використано десятки тисяч цих макетів заводського виробництва. Саме по них була нанесена основна частина ракетно-бомбових ударів авіації США, Великобританії та Франції. Надувні макети зазвичай оснащені металевою ниткою, тому їх добре засікає бортові РЛС літаків і вертольотів.

Досвід бойових дій у районі Перської затоки, Чечні та Афганістану показав, що за допомогою аеророзвідки важко розпізнати макети озброєння та військової техніки.

Рухливі макети матеріальної частини найчастіше складаються з каркаса і обшивки і поділяються на переносні, буксировані і самохідні.

Переносні макети зазвичай складаються з легких каркасів, обшитих тонкою, щільною або сітчастою тканиною (рис.3) [5].



1 – коло з дошки;

2 – контур оболонки ствола;

3 – кільце з 4-мм дроту;

4 – труба діаметром 5 см, довжиною 3,5 м – 2 шт.;

5 – отвори для чеки;

6, 9, 10, 12 – елементи каркасу;

7 – диск з фанери діаметром 65 см (кріпиться до оболонки);

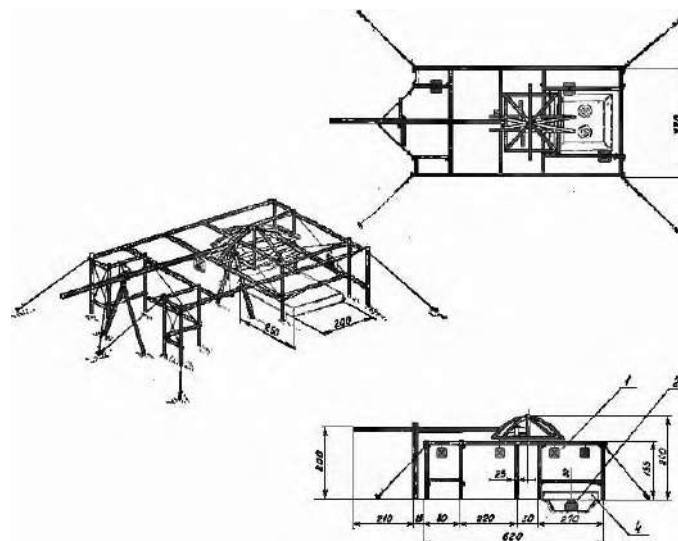
8 – клапан в оболонці для набивання макету сіном або стружками;

11 – контур оболонки башти;

13 – оболонка з тканини.

Рис.2. Макет башти танка, виготовлений з круглої сталі і тканини

Джерело: [5].



1 – відбивач; 2 – тепловий імітатор; 3 – маскувальне покриття

Рис.3. Макет танку

Джерело: [5].

Під час озброєного конфлікту в Нагірному Карабасі у 2020 році, армія Вірменії використовувала дерев'яні макети озброєння та військової техніки для введення в оману безпілотні комплекси збройних сил Азербайджану. Камери спостереження ударних безпілотників в Азербайджані зафіксували такий випадок, коли було ураження імітації зенітного ракетного комплексу "Оса".

Буксирований макет матеріальної частини використовується, як для демонстрації переміщення бойової та транспортної техніки з одного місця на інше, так і для моделювання руху буксируваних танків, автомобілів і БТР. Залежно від потужності тягача та стану дороги, на прямій ділянці поспіль можна буксирувати до п'яти моделей. Каркас макета повинен мати достатню міцність, тому велика увага приділяється опорним елементам рами, нижній рамі і закріпленням на ній осям, до яких кріпляться колеса.

Для буксирування на снігу замість коліс використовували полози. Щоб зменшити трудомісткість виготовлення причіпних моделей, допускається можливим істотне спрощення їх конструкції. Цей спрощений макет являє собою жорстку раму, до якої прикріплено найбільш характерні елементи машини, помітні з неба.

Самохідні макети в основному використовуються для імітації руху танків, САУ, БМП, БТР і призначені для введення в оману повітряну розвідку противника. Такі моделі часто встановлюють на вантажівки і мотоцикли, а їх рух

справляє враження рухомої військової техніки.

Розташування макетів на місцевості має бути тактично обґрунтовано. У всіх випадках, коли використовуються макети озброєння та військової техніки, прокладають сліди руху до них. При роботі з макетами з низькою деталізацією необхідно частково їх закривати матеріалами для часткового маскування та стандартними маскувальними елементами покриттів. Особливу увагу слід звернути на деталі, які дозволяють ворожій розвідці виявити хибний об'єкт (макет) як озброєння та військову техніку.

Розвиток новітніх технологій, а також рівень пізнання навколишнього світу завжди йшли пліч-о-пліч з війною і безпосередньо впливали на її вигляд. Прискорення технічного прогресу ставило на службу війні все нові відкриття та винаходи [12].

У воєнній сфері ці технології призначені для покращення здатності військ і засобів діяти в оперативній обстановці, що швидко змінюється. Так, у 2020 році був представлений макет САУ українського виробництва.

Даний вибір є детальною надувною гумовою копією повнорозмірної 152-мм САУ 2С3 "Акація", яка в основному використовується для введення в оману ворога під час бойових дій. САУ приводиться в "бойове положення" приблизно за 20 хвилин. Такий макет важко відрізнити від реальної техніки, а подібний імітатор також здатний ввести в оману тепловізори при спостереженні на відстані кількох кілометрів (рис.4) [5].



Рис.4. Надувний гумовий макет та оригінал 152-мм САУ 2С3 "Акація"  
Джерело: [5].

Концепція підготовки військовослужбовців передбачає введення в навчальний процес особового складу та підрозділів навчально-тренувальних комплексів, що моделюють бойові дії з використанням новітніх технологій.

Загалом, експертні системи підготовки, що використовуються в поєднанні з бойовими стрільбами, тактичними тренуваннями дозволяють

реалізувати ефективний безперервний, цілеспрямований і контрольований навчальний процес для розвитку та вдосконалення бойових професійних навичок військовослужбовців. Макети-тренажери відтворюють зразок озброєння та його властивості.

Сьогодні можна говорити про особливу важливість впровадження макетів військової техніки

для підготовки військових фахівців з кількох причин:

- необхідність збереження ресурсів і військової техніки;
- необхідність відпрацювання особливостей тактики та взаємодії різних підрозділів військ під час навчання;
- екологічні заборони на застосування реальної бойової техніки;
- використання макетів-тренажерів військової

техніки та озброєння збільшить кількість способів та умов бойового застосування під час навчання, що призведе до скорочення часу навчання.

У 2022 році німецький Бундесвер отримав для навчання роботизовані макети, що імітують серію “Т” російських танків Т-90А, Т-14 “Армата”. Тренувальні макети були створені для тестування та стрільб, а також мають найголовніше – інфрачервоне випромінювання для точних тренувальних пострілів на полігоні (рис.5) [9–11].

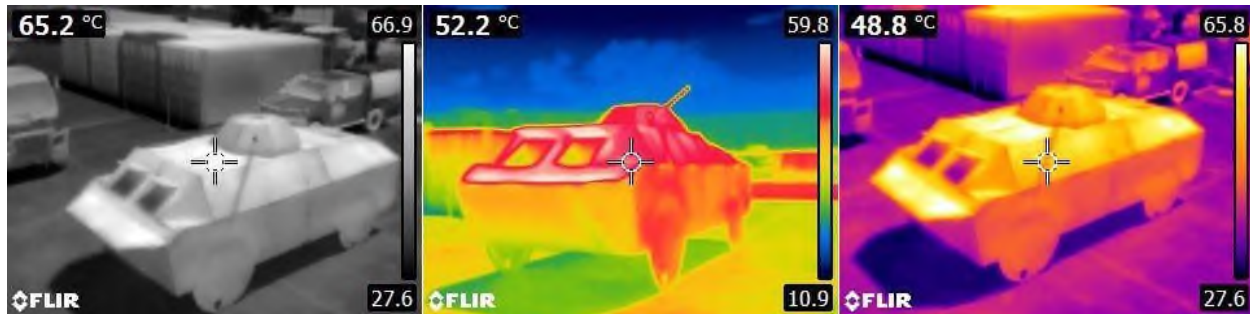


Рис.5. Макет БРДМ

Джерело: [5].

За рахунок науково-виробничої інтеграції та експериментальних досліджень в Україні були розроблені макети озброєння та військової техніки, які можна використовувати як тренажери для фахівців. Особливої уваги вимагають наступні:

- макет системи самонаведення з людиною-оператором в контурі управління, який здійснює визначення нерухомих та рухомих цілей на відеозображенні. Макет може бути застосований як тренажер для підготовки операторів станцій наведення високоточного ракетного озброєння для

ударних БПЛА;

- аеродинамічно подібний масштабний макет дослідного зразка універсальної безпілотної платформи;

- макет кореляційно-екстремальної системи навігації та самонаведення для крилатих ракет та БПЛА (рис.6), який працює в умовах застосування противником засобів РЕБ [5]. Макет може бути застосований як тренажер для підготовки професійних вмінь військовослужбовців.



Рис.6. Макет кореляційно-екстремальної системи навігації та самонаведення для крилатих ракет та БПЛА

Джерело: [5].

## Висновки

Під час дослідження перспективи створення та використання макетів військової техніки, було

проаналізовано проблеми та основні дослідження цієї тематики щодо їх вирішення. Розглянуто підходи до створення макетів озброєння і військової

техніки та виконання заходів для їх застосування з урахуванням реальних умов.

Щодо перспектив розвитку, варто зазначити, що досвід сучасних локальних війн (конфліктів і операцій) свідчить про те, що зараз актуально створювати та використовувати макети військової техніки для посилення своєї позиції в процесі підготовки професійних військовослужбовців.

Резюмуючи вище сказане, слід зауважити, що використання макетів військової техніки при підготовці військових фахівців, допоможе отримати здатність, як швидкого та якісного навчання з урахуванням реальних умов його застосування, так і високу ефективність в умовах бойового застосування, а саме введення в оману противника.

## Список літератури

1. Кучеренко Ю. Ф., Носик А. М. Погляди щодо напрямів розвитку тактики дій формувань тактичного рівня при їх застосуванні в сучасних операціях (війнах). *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. № 2(19). С. 24–26.
2. Демідов Б. О., Величко О. Ф., Кучеренко Ю. Ф., Куцак М. В. Управління проектами зі створення зразків озброєння та військової техніки в умовах прояву факторів невизначеності та ризику. *Озброєння та військова техніка*. 2016. № 2(10). С. 15–19.
3. Війни інформаційної епохи: міждисциплінарний дискурс: монографія / за ред. В. А. Кротюка. Харків: ФОП Федорко М.Ю., 2021. 558 с.
4. Хомчак Р. Б. Метод визначення оптимальних внесків видів (родів) військ в успішне вирішення ними бойових завдань з встановленою величиною відверненого збитку за умови мінімізації необхідних для цього затрат. *Військово-технічний збірник Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*. 2020. № 23. С. 86–90. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.23.2020>.
5. Наукова та науково-технічна діяльність у Збройних Силах України. Київ, 2020. 178 с. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/pdf/science\\_note.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/pdf/science_note.pdf).
6. Про затвердження Положення про організацію наукової і науково-технічної діяльності у Збройних Силах України: Наказ Міністерства оборони України від 27 липня 2016 № 385. URL: [www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1172-16#Text](http://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1172-16#Text).
7. Політика і процес замовлення воєнно-наукової продукції, організації та виконання науково-дослідних робіт: Наказ Міністра оборони України від 17 квітня 2000.
8. Про затвердження Порядку державного обліку секретних науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт і дисертацій: Наказ Міністерства освіти і науки України від 09 червня 2009 року № 494. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0606-09>.
9. Чепков І. Б. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т. 4. Воєнно-технічна політика провідних країн світу: монографія / І.Б. Чепков, В.В. Зубарєв, В.О. Смірнов. К.: ВД Дмитра Бураго, 2016. 388 с.
10. Чепков І. Б. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т. 6. Воєнно-економічний аналіз життєвого циклу озброєння та військової техніки: теоретико-методологічні засади: монографія / І.Б. Чепков, В.В. Зубарєв, В.К. Борохвостов. К.: ВД Дмитра Бураго, 2018. 475 с.
11. Гловін О. О., Зірка М. В., Кадет Н. П., Коцюрба Н. М. Методика нечіткого оцінювання для систем підтримки прийняття проектних рішень на етапах створення зразків озброєння і військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2019. № 3(23). С. 99–109.
12. Чепков І. Б. Найпривабливішим шляхом є розробка і виробництво найскладніших зразків озв у співробітництві з іншими країнами URL: <https://surl.li/hsayi>.

Надійшла до редколегії 15.02.2023

Схвалена до друку 27.06.2023

### Відомості про авторів:

#### Чебаков Олег Максимович

науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-0906-1753>

#### Гайдак Віктор Петрович

старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-2529-9809>

#### Дирман Юрій Віталійович

молодший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8048-074X>

### Information about the authors:

#### Oleh Chebakov

Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-0906-1753>

#### Victor Haydak

Senior Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-2529-9809>

#### Yuriy Dyrman

Junior Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8048-074X>

**Гайдак Ірина Григорівна**

науковий співробітник

Державного науково-дослідного інституту

випробувань і сертифікації

озброєння та військової техніки,

Черкаси, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4795-5085>**Iryna Haydak**

Researcher

of State Scientific Research Institute

of Armament and Military Equipment

Testing and Certification,

Cherkasy, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4795-5085>

## PROSPECTS OF CREATION AND USE OF MODELS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

O. Chebakov, V. Haydak, Yu. Dyrman, I. Haydak

*In order to achieve high efficiency in the use of military equipment in the conditions of hostilities, it is necessary to constantly support the training of specialists. The article examines the ways of using mock-ups of military equipment, taking into account the experience of using mock-up samples in the conditions of combat use, as well as when they are used as simulators for training specialists. The experience of modern local wars (conflicts and operations) shows that a significant role in achieving the goal of war is given to the development and training of qualified personnel. This, in turn, determines the objective necessity of creating mock-ups of models of equipment that could be used during the training (re- and re-training) of specialists. High efficiency in the use of military equipment cannot be achieved without support at a high level of the skills and abilities of specialists. The experience gained during the anti-terrorist operation and the operation of the joint forces in the east of Ukraine and the open military attack of the Russian Federation indicates the relevance of tasks related to the implementation of new organizational and technical solutions and approaches to the training of the military, using models of military equipment and models of weapon simulators, taking into account the real conditions of its use. Thus, the relevance of the research lies in the fact that at the current stage, in the conditions of combat use, there is a need to create and actively use samples of military equipment. The purpose of the article is to determine the most important possibilities and mechanisms of the system of creating and using samples of military equipment.*

*Regarding development prospects, it is worth noting that the experience of modern local wars (conflicts and operations) shows that it is now relevant to create and use models of military equipment to strengthen one's position in the process of training professional military personnel.*

*Summarizing the above, it should be noted that the use of models of military equipment in the training of military specialists will help to obtain the ability of both quick and high-quality training taking into account the real conditions of its use and high efficiency in the conditions of combat use, namely to mislead the enemy.*

**Keywords:** creation of models of military equipment; weapons and military equipment; efficiency of using models.

V. Chupryna, O. Cherednikov, V. Fedenko

*State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification, Cherkasy*

## APPLICATION OF DECOMPOSITION METHODS IN TESTS OF COMPLEX MILITARY EQUIPMENT

*A methodology for the decomposition of complex technical systems of weapons and military equipment and their properties has been developed to increase the accuracy of the assessment of characteristics during tests. General information about operational characteristics of military technical systems, which are controlled during tests and features of their assessment are provided.*

**Keywords:** *weapons and military equipment; testing; operational characteristics; decomposition; diacoptic; modeling.*

### Introduction

**General problem statement.** In order to ensure the effective development of all components of the Armed Forces of Ukraine, the concepts and prospects for the development of information technologies, the latest defense technologies and technologies of the defense-industrial complex are defined in the Road Map of Creation project in Ukraine [1–3].

It should be noted that the further development of the Armed Forces of Ukraine is impossible without international cooperation in carrying out systematic studies on the implementation of NATO's basic principles regarding the search for ways to re-equip the army with the latest types of weapons and military equipment (WME), their testing and certification [4].

The latest samples of WME mostly represent complex technical systems (TS) and complexes that have many constituent parts, subsystems and elements with developed cross-connections. Determining the initial parameters and characteristics of such systems is a rather difficult problem during tests. Modern modeling methods using powerful computing systems, supercomputers, and cluster computing are often used to solve the problems of evaluating the characteristics of test objects. However, the accuracy of calculations significantly decreases with an increase in the number of elements of the studied system. In order to increase the accuracy of the obtained data, it is necessary to develop modern decomposition methods for determining the characteristics of the TS in parts.

**The purpose** of the work is to develop a methodology for the decomposition of complex technical systems and their properties to assess the quality of weapons and military equipment during tests based on the results of modeling, observation and control.

### Main material

The following tasks must be solved to achieve the

goal:

- determine the structure of the TS of the WME sample (main components and sets of connections between them), as well as the list of properties (characteristics) subject to control;
- determine the possibility of applying decomposition methods to the analysis of the TS (test object);
- formulate conceptual requirements for the testing system;
- to determine the methodology of decision-making about the quality of the WME sample in parts.

A technical system is a system of service functions and parameters that determine the principles of its functioning and the structure of structural elements for the implementation of these functions. Regardless of the official purpose, TS are conventionally divided into design and technological ones, since any technical system is created to meet the needs of society (for example, the creation of WME) or to implement technological processes.

It is advisable to analyze a complex TS in parts (subsystems) using decomposition methods, as well as mathematical and structural-parametric modeling [5].

The information model of the properties of a complex TS is described in functional and structural terms in the form of a “black box” (fig.1) from a cybernetic point of view which functions in space and time. There is a cross set of different types of connections Z in TS: dimensional connections R; time connections T; connections of materials W; economic relations C and informational relations I, each of which affects each other [6].

Considerable experience has been accumulated in the field of practical decision-making based on the results of simulations and observations of changes in properties during the TS life cycle over the years of research and testing of WME. Each sample of WME is represented by a set of simple or complex properties that distinguish it from others. For example, reliability is

a complex property that contains simpler components: reliability, preservation, durability, maintainability [7].

It should be noted that the statistical processing of empirical data is an urgent task not only in monitoring the process of testing and controlled operation of WME,

but also in determining trends and directions of modernization, their maintenance and repair. The degree of manifestation of one or more properties of the product is assessed using quality indicators.

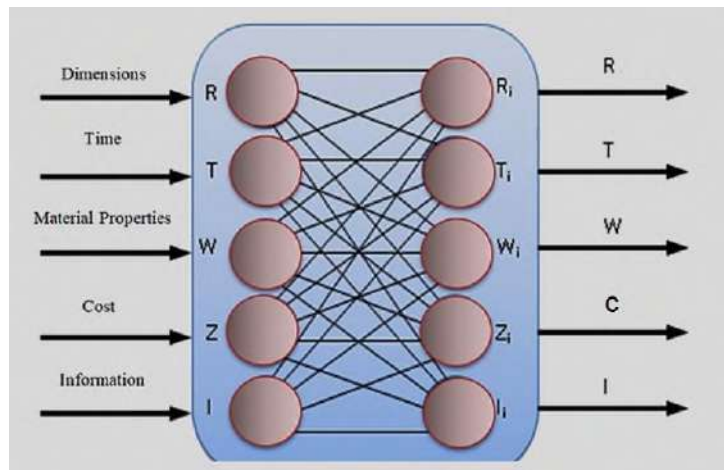


Fig.1. Cybernetic model and TS connections

The structure of a complex TS  $S$  (fig.2) is considered as an ordered collection of interconnected

subsystems and elements necessary for the performance of specified functions.

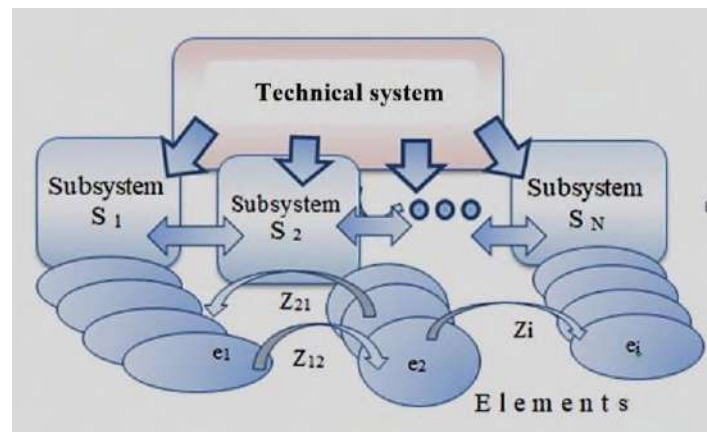


Fig.2. Hierarchical structure of the technical system

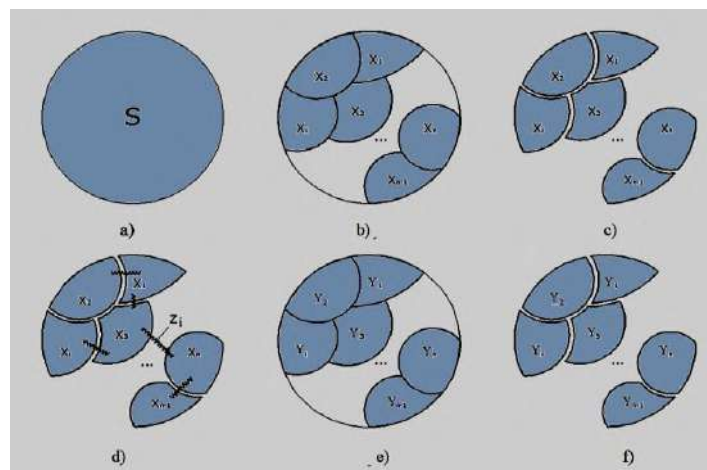


Fig.3. Diagrams of the division of an arbitrary system  $S$  into constituent elements

- |  |  |
|--|--|
| a) complete (undivided) system;        | b) division of the system into elements; |
| c) independent elements of the system; | d) connection of elements;               |
| e) breakdown with related elements;    | f) selection of related elements         |

It can be described as a set of system elements  $E$  and a set of connections  $Z$  between elements of a certain structure:

$$S = \{E, Z\}, \quad (1)$$

$E$  is a set of  $N$  elements selected by a certain feature,

$$E = \{e1, e2, e3, \dots, eN\} \quad (2)$$

$Z$  is a set of connections of a certain kind between these elements,

$$Z = \{z1, z2, z3, \dots, zI\} \quad (3)$$

We will solve the problem of studying a complex system in parts in a general way on the basis of the system theory of sets.

Let the complex system  $S$  (fig.3a) have an unknown finite set  $D$  of its own properties.

When the complete system is divided into  $n$  parts (Fig. 3b) by breaking the connections  $Z$ , we get a number of independent subsystems and the corresponding system  $S$  of sets of their properties:

$$S = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}. \quad (4)$$

At the same time, the  $S$  system must satisfy the following basic conditions:

– an arbitrary set  $X_k$  from the system  $S$  is a subset of the set  $D$ :

$$\forall X \in S : X \subseteq D; \quad (5)$$

– any two sets  $X_i$  and  $X_j$  from the system  $S$  are completely independent:

$$\forall X_i, X_j \in S : X_i \cap X_j = \emptyset; \quad (6)$$

– any two sets  $X_i$  and  $X_j$  from the system  $S$  are not the same:

$$\forall X_i, X_j \in S : X_i \neq X_j; \quad (7)$$

– any two sets  $X_i$  and  $X_j$  from the system  $S$  must have no connections between themselves (their disjunction is zero):

$$\forall X_i, X_j \in S : X_i \oplus X_j \neq \emptyset; \quad (8)$$

– an arbitrary set  $x_k$  itself can be a system of sets of properties of a lower level (that is, it is possible to build a system according to a hierarchical structure):

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}; \forall x_k, x_1 \in X \Rightarrow \forall x \subset S \Rightarrow x \subset D. \quad (9)$$

Thus, the problem arises of finding the properties of each of the elements of the system  $S$  separately, as independent (unrelated) subsystems with properties  $X_i$ .

Then the unknown set of properties  $D$  of the complete system can be found by a simple combination of the properties of all sets included in the partition  $S$ :

$$U_{X \subset S} X \subseteq D \Rightarrow U_{X \subset S} (U_{X \subset S} X) \subseteq D. \quad (10)$$

Based on this statement of the problem, decomposition methods can be used to study the properties of the complete system.

Decomposition is the division of the system into separate parts and the independent analysis of the resulting parts under the conditions of accepting simplified assumptions about the mutual influence of the parts. At the same time, the complete system is usually divided into a number of subsystems of a lower order, they are examined independently, and then a solution for the complete system is obtained. This makes it possible to significantly reduce computing resources (machine time –  $T_m$  and machine memory –  $I_m$ ) for obtaining the solution of a large system of equations in mathematical modeling on computers. Thus, the  $T_m$  indicator is estimated by the expression  $T_m = C \cdot n^\alpha$ , where  $C$  is the proportionality coefficient,  $n$  is the order of the system of equations,  $\alpha$  is the degree index, and usually  $\alpha > 2$ . If we divide the model into  $m$  equal parts, we get  $T_m = C \cdot m \cdot (n/m)$ , that is, the machine time  $T_m$  decreases by  $k = m^{\alpha-1}$  times. The amount of required machine memory  $I_m$  is also significantly reduced.

This approach can be used for a simplified solution of many problems during the analysis of complex systems in which the connections between subsystems are not significant (for example, to find volumetric, mass-inertial, thermal and other static indicators and characteristics of machines as component units).

However, in dynamics (in a complex dynamic system), any connections between subsystems are significant and cannot be ignored. When independent subsystems are combined into one system, additional connections are imposed on them, and when disconnected, they are removed. According to Rayleigh's theorems, when additional connections are imposed on an oscillating system (or when they are removed), all frequencies of the system change.

In complex dynamic systems connections can be very influential and must be taken into account. Therefore, to the analysis of dynamic systems in general, diacoptic methods are more suitable for the study of complex dynamic systems in parts.

Diacoptic is a direction of research of complex systems in parts, taking into account all existing connections between subsystems. It differs from decomposition by the absence of a simplified approach to taking into account the mutual influence of constituent parts. At the same time, the efficiency of the diacoptic method is comparable to the decomposition method and the accuracy is much higher.

When considering system (4), it is necessary to change the conditions for the entry of subsystems  $X$  into the complete system  $S$  of the finite set of properties  $D$ , taking into account the above-mentioned features of the connected dynamic systems (fig.3d). Thus, while

keeping the conditions (5)–(7) and (9), it is necessary to add to the properties of the isolated subsystems  $X$  also the properties of the links  $Z$  that connect them in the complete system, that is, to change the condition (8).

Then, in the general case, the system of sets of properties of subsystems  $S$  will consist of  $n$  interconnected subsystems  $Y$  (fig.3e)

$$S = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}. \quad (11)$$

moreover

$$Y \neq X : Y \supset X : Y \supset Z : Y \supseteq X \cup Z. \quad (12)$$

From here we have

$$Y = X \cap Z \cap X = Y \setminus Z. \quad (13)$$

At the same time,  $Y$  also belongs to the finite set  $D$

$$\forall Y \in S : Y \subseteq D. \quad (14)$$

However, in contrast to condition (8), for any two sets  $Y_i$  and  $Y_j$  from the system  $S$  that have connections between them, their disjunctive combination will no longer be equal to zero

$$\forall Y_i, Y_j \in S : Y_i \oplus Y_j \neq \emptyset, \quad (15)$$

that is, these subsystems of sets in the complete system intersect

$$\forall Y_i, Y_j \in S \Rightarrow Y_i \cap Y_j \neq \emptyset. \quad (16)$$

Then the initial set of properties  $D$  of the complete original system, taking into account the connections between subsystems, can be found by combining the properties of all sets that are part of the

system  $S$  (fig.3f)

$$U_{Y \subseteq S} Y \subseteq D \Rightarrow U_{Y \subseteq S} (X \cup Z) \subseteq D \quad (17)$$

Thus, knowing the properties of the sets of isolated subsystems  $X$  and their connections  $Z$  of the system  $S$ , it is possible to find the set of properties  $D$ , that is, to perform the task of synthesizing the properties of the complete system by the properties of its subsystems.

The proposed diacoptic approach establishes the conceptual foundations for the theoretical justification of the methodology of dividing a complex system into subsystems with the selection of individual subsystems as independent units with their own properties. This opens up new opportunities for researching the dynamics of complex vehicles in parts.

Decomposition methods are quite effectively used in the study of complex WME systems. They are the basis of the block-hierarchical approach during the design and mathematical analysis of complex objects using CALS technologies [8].

The structural elements that are part of the WME system are determined by the tactics of the most complete realization of the combat potential. They, in turn, can be systems. Therefore, the concepts of “system” and “system element” are relative.

For example, we will show the application of decomposition methods during tests of the specialized armored vehicle “NOVATOR” (fig.4). When analyzing its strength by modeling, the following subsystems were separately calculated: armored cabin (capsule), front and rear axles, transmission and others.

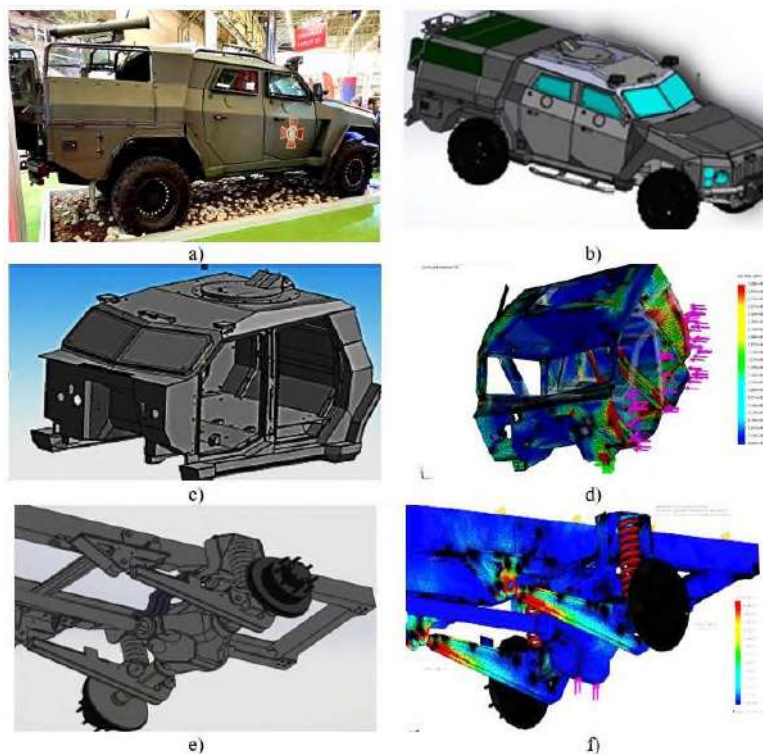


Fig.4. Specialized armored vehicle “NOVATOR” and its elements:  
a) general appearance (photo); b) 3D model; c) capsule; d) capsule stress graph;  
e) rear bridge; f) stress diagram of the rear axle

The general conclusion about the strength of the entire system of the “NOVATOR” specialized armored vehicle was made based on the analysis of the strength of its individual subsystems and elements as components of the entire structure.

If the quality of even one element does not meet the specified criterion (for example, strength), then this object is considered to have failed the quality check.

In many other TS, the distribution by subsystems is carried out according to a similar scheme.

## Conclusions

A methodology for the decomposition of complex technical systems and their properties has been developed to assess the quality of weapons and military equipment during tests based on the results of modeling,

observations and control. It is advisable to use this methodology to increase the assessment accuracy of the characteristics of the test objects and to make decisions about their quality as a whole. This will ensure an increase in the efficiency of all types of tests (preliminary, interdepartmental, determining departmental, state, etc.).

The comparative characteristics of decomposition and diacoptic methods showed that diacoptic methods are more accurate and it is advisable to use them for systems with influential interconnections.

Based on the results of structural-parametric modeling and observations during the life cycle of the WME, the technique of ranking the properties of test objects subject to control during tests and during controlled operation has been improved.

## References

1. План дій щодо впровадження оборонної реформи у 2016 – 2020 роках (дорожня карта оборонної реформи): веб-сайт. URL: [http://www.mil.gov.ua/content/tenders/Plan\\_2208.pdf](http://www.mil.gov.ua/content/tenders/Plan_2208.pdf).
2. Дроздов С. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: зб. тез доповідей XVI міжнародної наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 15 – 16 квітня 2020 р. Х.: ХНУПС, 2020. С. 5–6.
3. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: зб. тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції, Львів, 14-15 травня 2020 року. Львів: НАСВ, 2020. 365 с.
4. Башинський В. Г., Телевний І. В., Павленко А. Г. Міжнародна кооперація у сфері випробувань озброєння і військової техніки у США та країнах західної Європи. *Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах*: зб. тез доповідей XVI науково-технічної конференції, Чернігів: ДНБЦ ЗСУ, 2016 С. 41–43.
5. Dmytriiev V. A., Chupryna V. M., Chimbanga E. K. Modern Methods of Modelling in Testing and Certification of Special Technique. *Математичне та імітаційне моделювання систем*: матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції МОДС 2018. Київ, 2018. С. 376–378.
6. Бондаренко С. Г., Чередніков О. М. Розмірні зв'язки конструкцій та технологічних процесів: монографія. Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т, 2013. 463 с.
7. Голуб В. М., Павленко А. Г., Чередніков О. М., Чуприна В. М. Аналіз методичних підходів до оцінювання надійності авіаційної техніки державної авіації за експлуатаційними даними. *Збірник наукових праць ДНДІ ВС ОБТ*. Чернігів: Брагинець О. В., 2019. Вип. 2. С. 53–61.
8. NATO CALS handbook. – June 2000 version 2. 329 p.: web-site. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.194.9777&rep=rep1&type=pdf>.

Received by Editorial Board 23.03.2023

Signed for Printing 27.06.2023

### Відомості про авторів:

#### Чуприна Володимир Михайлович

доктор технічних наук доцент  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-4886-090X>

#### Чередніков Олег Миколайович

кандидат технічних наук доцент  
старший науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-1258-590X>

### Information about the authors:

#### Volodymyr Chupryna

Doctor of Engineering Science Associate Professor  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-4886-090X>

#### Oleg Cherednikov

PhD in Engineering Associate Professor  
Senior Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-1258-590X>

**Феденько Володимир Михайлович**  
начальник науково-дослідного відділу  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
orcid.org/ orcid.org/0000-0002-6211-6901

**Volodymyr Fedenko**  
Head of Scientific Research Department  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military  
Equipment Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
orcid.org/ orcid.org/0000-0002-6211-6901

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ СКЛАДНОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ**

В.М. Чуприна, О.М. Чередніков, В.М. Феденько

*Наведена структура складної технічної системи, яка розглядається як упорядкована сукупність взаємопов'язаних підсистем та елементів, необхідних для виконання заданих функцій.*

*Дана порівняльна характеристика методів декомпозиції і діакоптики та умови їх застосування. Показано, що діакоптичні методи більш точні і застосовуються для систем з впливовими взаємозв'язками підсистем.*

*Наведено загальні відомості про експлуатаційні характеристики складних військових технічних систем, що контролюються під час випробувань, та особливості їх оцінки. На основі результатів структурно-параметричного моделювання та спостережень на протязі життєвого циклу озброєння та військової техніки удосконалена методика ранжування властивостей об'єктів випробувань, що підлягають контролю при випробуваннях та під час підконтрольної експлуатації.*

*Розроблена методологія декомпозиції складних технічних систем і їх властивостей для оцінки якості озброєння і військової техніки під час випробувань на основі результатів моделювання та спостережень і контролю. Розроблену методологію доцільно використовувати для підвищення точності оцінки характеристик об'єктів випробувань при прийнятті рішень про їх якість в цілому. Застосування методології забезпечить підвищення ефективності виконання усіх видів випробувань (попередніх, міжвідомчих, визначальних відомчих, державних тощо).*

**Ключові слова:** озброєння і військова техніка; випробування; експлуатаційні характеристики; декомпозиція; діакоптика; моделювання.

I. Riapolov, S. Bodnar, I. Syl'a

*State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification, Cherkasy*

## SYNTHESIS OF SIGNALS FOR MULTI-FREQUENCY RADAR WITH PARAMETERS DETERMINED BY REAL INTERFERENCE SITUATION

*The synthesis of the probing signal has been carried out, which makes it possible to increase the range of the radar in a real jamming environment. The article assumes that during location a lot of waves re-radiated by inhomogeneities located within the resolving volume of the radar arrive at the receiving point. The length of the paths passable by the waves is different and randomly changes in time so the waves come at the receiving point with a different and randomly changing relative delay time. Optimization of the probing signal parameters of a multi-frequency radar in the presented case has been carried out. The possibility of reducing modulating noise when using multi-frequency signals and rational choice of their parameters is shown. A multi-frequency signal with a rectangular envelope and parameters that provide an increase in the radar detection range is synthesized.*

**Keywords:** multi-frequency radar; interference environment; probing signal synthesis.

### Introduction

**Formulation of the problem.** A raid by enemy air attack weapons at low and extremely low altitudes may lead to the need to search for new methods to increase the range of their detection, and the presence of modulating and passive interference when locating targets may lead to the need to find methods and means of combating them.

The presented situation is characterized by the non-simultaneity of wave arrival and fluctuations of their group delay time, which causes signal distortion and limits the possible frequency band and duration of coherent processing of probing signals.

Signal distortions are all the more noticeable, the greater the delay time between individual waves, which decreases with narrowing of the transmitting and receiving antenna diagrams. Distortions can manifest themselves as modulating noise.

One of the ways to solve this problem in such a jamming environment can be the optimization of the probing signal parameters of a multi-frequency radar. The use of multi-frequency signals and the rational choice of their parameters can reduce the amount of modulating noise.

**Analysis of recent research and publications.** It was shown in [1–3] that regardless of the objects nature of synthesis and specific conditions, the problem is reduced to minimizing the distance between some sets in the corresponding space. It should be emphasized that such an approach to synthesis covers only deterministic problems.

Signal synthesis, like other optimization issues, is reduced to variation problems. It was shown in [2–3] that the synthesis problem is very closely related to the approximation problem.

The criteria for assessing the quality of

approximation can be different, but the most common are quadratic and uniform (minimax). In the first case, they seek to minimize the quadratic difference of functions on a given interval  $(-T/2, +T/2)$ :

$$\int_{-T/2}^{T/2} |y(t) - x(t)|^2 dt = \min, \quad (1)$$

and in the second, the largest deviation of functions in the same interval –

$$\max_{t \in T} |y(t) - x(t)| = \min. \quad (2)$$

In the general case, the approximation criterion is determined by a condition of the type:

$$\varepsilon(x, y) = \min,$$

$\varepsilon$  – is positive functional, and minimization is performed over all possible  $x$ .

The choice of an approximation criterion is almost always a difficult and controversial issue. There are often only intuitive considerations are used in such a choice, or preference is given to the criterion that leads more easily to a decision. As a rule, the criterion (1) is applied.

**The purpose of the article** consists in the development of a mathematical apparatus for the synthesis of signals for multi-frequency radars with parameters determined by the real jamming environment.

### Main material

The problem of synthesizing a multi-frequency probing signal with a rectangular envelope, which has good correlation properties, can be solved using the method described in [5–8]. Its essence is as follows.

It is known that the autocorrelation function  $R(t)$

uniquely determines the signal power spectrum:

$$|a(2\pi f)|^2 = \int_{-\infty}^{\infty} R(t) e^{-j2\pi f t} dt,$$

so all desired signals  $x(t)$  multiplicity  $X$  have the same amplitude spectrum  $a(2\pi f)$ , depending on the given  $R(t)$ :

$$\dot{x}(2\pi f) = a(2\pi f) e^{-j\alpha(2\pi f)}. \quad (3)$$

Phase spectrum  $a(2\pi f)$  is arbitrary, this is what distinguishes one signal of the set  $X$  from another.

Let there be an arbitrary admissible signal  $y(t)$  with spectrum:

$$\dot{y}(2\pi f) = b(2\pi f) e^{-j\beta(2\pi f)} \quad (4)$$

The proof is as follows:

a) the best approximation to the signal  $y(t)$  with the spectrum (4) gives on the set  $X$  signal  $x(t)$ , the spectrum of which is determined by the condition:

$$\dot{x}(2\pi f) = a(2\pi f) e^{-j\beta(2\pi f)} \quad (5)$$

for all values  $f$ , at which  $b(2\pi f) \neq 0$ ;

b) if the amplitude spectrum  $b(2\pi f)$  is different from zero in every interval  $2\pi f$  of finite measure, the signal of the best approximation on the set  $X$  the only one;

c) minimum distance  $d^2(y, X)$  between signal  $y(t)$  and multitude  $X$  and the corresponding proximity coefficient  $C(y, X)$  with the quadratic criterion (1) equal:

$$d^2(y, X) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [a(2\pi f) - b(2\pi f)]^2 df, \quad (6)$$

$$C(y, X) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a(2\pi f) b(2\pi f) df}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |a(2\pi f)|^2 df \int_{-\infty}^{\infty} |b(2\pi f)|^2 df}} \leq 1. \quad (7)$$

To get the shortest distance  $d_{min}$ , it is necessary to minimize the right part (6) by signals  $y(t)$ :

$$\begin{aligned} d_{min}^2 &= \min_{y \in Y} d^2(y, X) = \\ &= \min_{y \in Y} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [a(2\pi f) - b(2\pi f)]^2 df, \end{aligned} \quad (8)$$

or that is equivalent,

$$C(Y, X) = \max_{y \in Y} \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a(2\pi f) b(2\pi f) df}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |a(2\pi f)|^2 df \int_{-\infty}^{\infty} |b(2\pi f)|^2 df}}. \quad (9)$$

Thus, the optimal permissible signal  $y \in Y$ ,

implementing distance  $d_{min}$  gives the best quadratic approximation of the amplitude spectrum  $b(2\pi f)$  to the given amplitude spectrum  $a(2\pi f)$ .

Approximation of amplitude spectra, achieved when applying the proximity criterion, ensures a certain approximation of the correlation function of the signal to the given one. In particular, there is an identity:

$$\begin{aligned} &\int_{-\infty}^{\infty} |R(t) - R_y(t)|^2 dt = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |a^2(2\pi f) - b^2(2\pi f)|^2 df, \end{aligned}$$

showing that the best quadratic approximation of the correlation functions is achieved with a similar approximation of the power spectra – the squares of the amplitude spectra.

Suppose that the desired signal has a rectangular envelope that belongs to a set of multi-frequency signals, formed by the method of phase modulation and has the form of an amplitude-frequency spectrum corresponding to any weight window. In accordance with the assumptions, a signal with harmonic phase modulation can be taken as admissible (4). The expression for the complex envelope of such a signal has the form:

$$\begin{aligned} \dot{U}(t) &= U_m e^{jM_\phi \sin(2\pi f_M t + \phi_M)} = \\ &= U_m \sum_{\xi=-\infty}^{\infty} J_\xi(M_\phi) e^{j[\xi 2\pi f_M t + \xi \phi_M]}, \end{aligned} \quad (10)$$

$U_m$  – is complex envelope amplitude;

$M_\phi$  – phase modulation index;

$f_M$  – modulation frequency of the harmonic modulating function;

$\phi_M$  – initial phase of the harmonic modulating function (further  $\phi_M = 0$ ).

$J_\xi(M_\phi)$  – Bessel functions of the first kind  $\xi$  orders with modulation index  $M_\phi$  as an argument.

An analysis of the expressions for the spectral density shows that they are real, which means that the phase frequency spectrum multi-frequency signal takes the values 0 or  $\pi$  [6–9].

The complex envelope of multi-frequency signal can be written:

$$y(t) = B(t) e^{j\phi(t)}, \quad (11)$$

there for a rectangular envelope we have

$$B(t) = \begin{cases} 1/\sqrt{\tau_c} & n\pi u - \frac{\tau_c}{2} < t < \frac{\tau_c}{2}, \\ 0 & n\pi u |t| > \frac{\tau_c}{2} \end{cases},$$

provided that the signal energy  $E_s = 1$ ;  
 $\phi(t) = \beta \sin(2\pi f_M t)$  – phase modulation law.

The signal spectrum (11) is described by expression (4). According to (5), the desired signal  $x(t)$  must have a phase frequency spectrum that coincides with the phase frequency spectrum of the signal with harmonic phase modulation. Then, in accordance with (3) we have:

$$\dot{x}(2\pi f) = a(2\pi f)e^{-j\beta(2\pi f)},$$

$\beta(2\pi f)$  is determined from the expression:

$$\begin{aligned} \dot{y}(2\pi f) &= b(2\pi f)e^{-j\beta(2\pi f)} = \\ &= \int_{-\tau_c/2}^{\tau_c/2} B(t)e^{j[\phi(t)-2\pi ft]} dt \end{aligned} \quad (12)$$

With the assumptions made, the proximity coefficient  $C(y, X)$  depends only on the amplitude spectrum  $b(2\pi f)$  and is given by the formula (7). To get the shortest distance  $d_{min}$  it is necessary to maximize the coefficient of proximity by signals  $y(t)$ .

As a result, it is necessary to solve a variational problem. Required to define a function  $\varphi(t) = \Phi(t)$ , giving the maximum value:

$$\begin{aligned} C(y, X) &= \\ &= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a(2\pi f)b(2\pi f)df}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |a(2\pi f)|^2 df \int_{-\infty}^{\infty} |b(2\pi f)|^2 df}} = \max, \end{aligned} \quad (13)$$

$b(2\pi f)$  defined in the form:

$$b(2\pi f) = \left| \int_{-\tau_c/2}^{\tau_c/2} B(t)e^{j[\varphi(t)-2\pi ft]} dt \right|. \quad (14)$$

$$\varphi(t) = \arctg \frac{2U_m \sum_{\xi=1}^{\infty} J_{\xi}(M_{\phi}) \cos(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}) \sin(\frac{\xi\pi}{2})}{U_m J_0(M_{\phi}) + 2U_m \sum_{\xi=1}^{\infty} J_{\xi}(M_{\phi}) \cos(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}) \cos(\frac{\xi\pi}{2})}. \quad (15)$$

This expression determines the relationship between the shape of the spectrum of the harmonically modulated multi-frequency signal and the modulating function.

In accordance with the assumption that the phase-frequency spectra of the desired and permissible signals (5) are equal, it can be assumed that a similar dependence (15) also exists for the synthesized signal with phase modulation of a periodic voltage of a more complex shape, where an arbitrary phase-modulated periodic voltage oscillation is written in the form:

$$\begin{aligned} \dot{u}(t) &= U_m e^{j[2\pi f_0 t + \phi(t)]} = \\ &= U_m \sum_{\xi=-\infty}^{\infty} A_{\xi} e^{j(2\pi f_0 + \xi 2\pi f_M)t} \end{aligned} \quad (16)$$

Function  $\varphi(t) = \Phi(t)$ , that satisfies these conditions is the sought-for law of phase modulation. The solution of the mentioned variational problem encounters certain difficulties and does not always lead to a positive result.

It is possible to avoid solving the variational problem if we carry out a series of simple arguments.

The shape of the amplitude-frequency spectrum of a signal with harmonic phase modulation is determined by the dependence of the values of the Bessel functions  $J_{\xi}(M_{\phi})$  on the order of the functions  $\xi$  (10). Frequency component amplitudes of  $\xi$  order of the phase-shift keyed waveform are equal to the amplitude of the unmodulated waveform multiplied by the absolute value of the quantity  $J_{\xi}(\beta)$ .

Expression (10) for the complex envelope of a multi-frequency signal with harmonic phase modulation can be represented as:

$$\begin{aligned} \dot{U}(t) &= \\ &= U_m \left[ J_0(M_{\phi}) + \sum_{\xi=1}^{\infty} J_{\xi}(M_{\phi}) e^{j\xi 2\pi f_M t} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{\xi=1}^{\infty} (-1)^{\xi} J_{\xi}(M_{\phi}) e^{-j\xi 2\pi f_M t} \right] \end{aligned}$$

After some simple transformations, we can get:

$$\begin{aligned} \dot{U}(t) &= U_m \left[ J_0(M_{\phi}) + \right. \\ &+ 2 \sum_{\xi=1}^{\infty} \left[ J_{\xi}(M_{\phi}) \left( \cos\left(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}\right) \cos\left(\frac{\xi\pi}{2}\right) + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + j \cos\left(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}\right) \sin\left(\frac{\xi\pi}{2}\right) \right) \right] \right] \end{aligned}$$

Then the law of phase modulation is given by the expression:

It is noteworthy that in expression (16) there are no phase increments of the frequency components, which corresponds to condition (5).

In this case, given the distribution  $A_{\xi}$  frequency components of the amplitude-frequency spectrum of the synthesized signal, it is possible to obtain the phase modulation law, under which condition (13) will be satisfied. Therefore, the expression for the required phase modulation law has the form:

$$\Phi(t) = \arctg \frac{2 \sum_{\xi=1}^{\infty} A_{\xi} \cos(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}) \sin(\frac{\xi\pi}{2})}{A_0 + 2 \sum_{\xi=1}^{\infty} A_{\xi} \cos(\xi 2\pi f_M t - \frac{\xi\pi}{2}) \cos(\frac{\xi\pi}{2})}. \quad (17)$$

The signal energy does not depend on the type of

modulating function with phase modulation, but depends on the energy of the modulated radio pulse, so you need to take into account that  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} A_{\xi}^2 = 1$ .

It should also be noted that the amplitude-frequency spectrum of the signal is considered in a limited frequency band. Therefore, the limits of the sum in expressions (15-17) will be finite. The width of the amplitude-frequency spectrum of a signal with harmonic phase modulation can be estimated by the formula:

$$\Delta f = (1 + M_{\varphi} + \sqrt{M_{\varphi}}) f_M, \quad (18)$$

$M_{\varphi}$  – is modulation index.

This does not take into account the frequency components, the amplitude of which does not exceed 1% of the amplitude of the unmodulated carrier. The required width of the amplitude-frequency spectrum and the arrangement of frequency components are set initially for the synthesized signal. These values predetermine the number of components in the spectrum of a multifrequency signal.

Modulating voltages were synthesized  $\Phi(t)$  in accordance with expression (17), realizing multifrequency signals with an amplitude-frequency spectrum, the shape of which is close to the weight functions.

Amplitudes of the frequency components of the spectrum  $\xi$  orders are the product of the tabulated values of the Bessel functions not only of different orders, but also of different modulation indices. This feature, as well as a finite number of frequency components, can explain the fact that it is impossible to synthesize a multi-frequency signal with an arbitrary shape of the amplitude-frequency spectrum with absolute accuracy.

In calculations, the duration of the signals was taken equal to 10 modulation periods  $\tau_c = 10T_M$ . The width of the main lobe of the autocorrelation function is calculated relative to half the width of the main lobe of

the autocorrelation function. Amplitude of the first sidelobe  $R_1$  calculated as  $20 \log \frac{R_1}{R(0)}$  (there  $R(0)$  – is

amplitude of the main peak of the autocorrelation function). In addition, the proximity factor  $C(y, X)$  (13), characterizing the “distance” between the desired signal and the synthesized one.

## Conclusions

Calculations show that for any weight function and a different number of frequency components of the amplitude-frequency spectrum of the synthesized signal, the proximity coefficient  $C(y, X)$  always is more than 0.9. This indicates a high correlation of the spectra and the autocorrelation function of the ideal and synthesized signals, as well as the validity of all the assumptions made when solving the synthesis problem.

Unfortunately, there is the fact that, despite the high value of the proximity coefficient  $C(y, X)$ , an amplitude of the first side lobe of the autocorrelation function of the synthesized signals is somewhat larger than in the case of ideal and desired signals. Such a difference in the levels of the side lobe of the autocorrelation function of ideal and synthesized signals is due to the fact that the amplitudes of the frequency components of the spectrum are distributed in a complex way over combinations of Bessel functions. The latter, in their turn, have strictly tabulated values. Therefore, it is impossible to realize any form of the amplitude-frequency spectrum with absolute accuracy. The obtained results prove that the value  $C(y, X)$  is an integral criterion.

As a result, the synthesis of signals for multifrequency radars is considered, which allows to obtain a modulating voltage that best implements such a signal for a given number of frequency components and the shape of the amplitude-frequency spectrum of a multifrequency signal.

Thus, the problem of signal synthesis for multifrequency radars with parameters determined by the real interference situation has been solved.

## References

1. Николаев А. И., Ширман Я. Д. О возможности приближения к широкополосным шумоподобным сигналам при сохранении одноканальности (малокаанальности) обработки. *Вопросы обработки радиолокационных сигналов и помехозащиты РЛС*. 1973. С. 11–17.
2. Franks L. E. Signal theory. Prentice Hall Publ., 1991. 318 с.
3. Картьяну Г. Частотная модуляция. Бухарест: “Меридиан”, 1964. 672 с.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. м.: Сов. радио, 1969. 752 с.
5. Леонов И. Г., Коржов А. М., Животовский Р. М., Присяжный А. Е. Перешкодозахищеність маловисотних РЛС приморського базування. “*Новітні технології – для захисту повітряного простору*”: зб. тез доп. VIII наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012 року. Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. С. 304.
6. Леонов И. Г., Животовский Р. М., Присяжный А. Е., Сидоренко Д. С. Инвариантный подход к обнаружению радиолокационных сигналов на фоне пассивных помех в условиях априорной неопределенности. *Системы обработки информации*. 2013. Вып. 6(113). С. 103–107.
7. Леонов И. Г., Коржов А. М., Животовський Р. М., Дзеркалій Я. І. Вимоги до параметрів багато частотних зондуючих сигналів при виявленні аеродинамічних цілей в тропосферному хвилеводі. *Проблеми інформації: матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції*. Черкаси: ЧДТУ; Тольятті: ТДУ, 2014. С. 30.

8. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2-х т. / пер. с фр. Н. Г. Волкова. м.: Мир, 1983. Т.1 312 с; т.2. 256 с.
9. Ширман Я. Д. Теоретические основы радиолокации: учебное пособие для вузов. м.: сов. радио, 1970. 560 с.
10. Shirman Y. D., Gorshkov S. A., Leshenko S. P., Orlenko V. M., Sedyshev S. Y., Sukharevsky O. I. Computer Simulation of Aerial Target Radar Scattering, Recognition, Detection, And Tracking. Editor Shirman Y.D. Boston-London: Artech House, 2002. 294 p.
11. Леонов И. Г., Коржов А. Н., Животовский Р. М., Пичугин И. М. О возможности согласования частотных характеристик радиолокационного канала и амплитудно-частотного спектра многочастотного зондирующего сигнала. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 3. С. 122–126.
12. Животовський Р. М. Удосконалена математична модель тропосферного радіохвильоводу. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 7. С. 45–48.

Received by Editorial Board 04.06.2023

Signed for Printing 27.06.2023

#### **Відомості про авторів:**

##### **Ряполов Іван Євгенович**

кандидат технічних наук  
провідний науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>

##### **Боднар Світлана Іванівна**

науковий співробітник  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0009-0007-9372-4890>

##### **Сила Ігор Михайлович**

начальник науково-дослідного управління  
Державного науково-дослідного інституту  
випробувань і сертифікації  
озброєння та військової техніки,  
Черкаси, Україна  
<https://orcid.org/0000-0002-8029-6598>

#### **Information about the authors:**

##### **Ivan Riapolov**

PhD in Engineering  
Leading Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-3139-1644>

##### **Svitlana Bodnar**

Researcher  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0009-0007-9372-4890>

##### **Ihor Sylva**

Head of Scientific Research Office  
of State Scientific Research Institute  
of Armament and Military Equipment  
Testing and Certification,  
Cherkasy, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0002-8029-6598>

### **СИНТЕЗ СИГНАЛІВ ДЛЯ БАГАТОЧАСТОТНИХ РЛС З ПАРАМЕТРАМИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬСЯ РЕАЛЬНОЮ ПЕРЕШКОДОВОЮ ОБСТАНОВКОЮ**

І.Є. Ряполов, С.І. Боднар, І.М. Сила

Проведено синтез зондувального сигналу, який дозволяє збільшити дальність дії РЛС у реальній переешкодовій обстановці. У статті припущено, що при локації в точку прийому приходять безліч перевипромінених неоднорідностями електромагнітних хвиль (ЕМХ). Довжина шляхів, що проходять ЕМХ, різна і випадково змінюється в часі, тому ЕМХ приходять в точку прийому з різним відносним часом запізнення, що випадково змінюється. Неодночасність приходу ЕМХ та флуктуації їх групового часу запізнення викликає спотворення сигналу та обмежує можливу смугу частот та тривалість когерентної обробки зондувальних сигналів (смугу частот та час когерентності). Спотворення сигналу тим більше помітні, чим більше час запізнення між окремими ЕМХ, який зменшується при звуженні діаграм спрямованості передавальної та приймальної антени. Спотворення проявляють себе як модулюючі переешкоди багаточастотної РЛС. Проведено оптимізацію параметрів зондувального сигналу багаточастотної РЛС у такій переешкодовій обстановці. Показана можливість зменшення впливу переешкод, що модулюють, при використанні багаточастотних сигналів і раціональному виборі їх параметрів. Розрахунки показують, що для будь-якої вагової функції та різної кількості частотних складових амплітудно-частотного спектру синтезованого сигналу коефіцієнт близькості завжди більше 0,9. Це свідчить про високу кореляцію спектрів та автокореляційної функції ідеального та синтезованого сигналів, а також правдивість усіх припущень, допущених при вирішенні задачі синтезу. Синтезований багаточастотний сигнал з прямокутною огинаючою та параметрами, які забезпечують підвищення дальності виявлення РЛС. Розглянуто синтез сигналів для багаточастотних РЛС, що дозволяє для заданого числа частотних складових та форми амплітудно-частотного спектра багаточастотного сигналу отримати модулюючу напругу, яка найкраще реалізує такий сигнал. Таким чином, вирішена задача синтезу сигналів для багаточастотних РЛС з параметрами, що визначаються реальною переешкодовою обстановкою.

**Ключові слова:** багаточастотна РЛС; переешкода; синтез зондувального сигналу.

## Алфавітний покажчик

Баркатов І.В. ....	20	Кожин О.В. ....	54	Спірін Д.А. ....	75
Башинський В.Г. ....	46	Козачук В.Л. ....	32	Третяк Н.М. ....	70
Бурцев В.В. ....	7	Коломійцев О.В. ....	7	Тюрін В.О. ....	20
Буряк С.П. ....	14	Крижанівський Є.С. ....	60	Фарафонов В.С. ....	20
Варакута В.П. ....	20	Ларін В.В. ....	65	Хаврич Г.П. ....	32
Василець Д.О. ....	54	Місюк Д.Л. ....	82	Худов Г.В. ....	82
Волювач С.А. ....	7	Мокринський О.В. ....	54	Чебаков О.М. ....	90
Воронін В.В. ....	7	Нікітченко А.О. ....	60	Шинкаренко О.М. ....	75
Гайдак В.П. ....	90	Олійник Н.О. ....	70	Юла О.В. ....	37
Гайдак І.Г. ....	90	Павленко А.Г. ....	65	Bodnar S. ....	103
Гапоненко Г.М. ....	65	Перегончук В.П. ....	60	Cherednikov O. ....	97
Давидов І.Г. ....	32	Печура Д.С. ....	60	Chupryna V. ....	97
Дирман Ю.В. ....	90	Погорілий О.С. ....	75	Fedenko V. ....	97
Засядько А.А. ....	37	Рижков О.В. ....	37	Riapolov I. ....	103
Зозуля В.М. ....	37	Рисований О.М. ....	7	Syla I. ....	103
Калита О.В. ....	7	Ряполов Є.І. ....	20		
Камак Ю.О. ....	46	Собора А.І. ....	70		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ДЕРЖАВНОГО НАУКОВО-ДОСЛІДНОГО ІНСТИТУТУ ВИПРОБУВАНЬ І СЕРТИФІКАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Випуск 2(16)

Відповідальний за випуск *І.Є. Ряполов*

Комп'ютерна верстка і макетування *О.В. Журна*

Переклад англійською *А.В. Далудіна*

Комп'ютерний дизайн обкладинки *О.А. Усачова*

Техн. редактор *О.В. Журна*      Коректор *І.Є. Ряполов*

Формат 60×84/8      Ум.-друк. арк. – 12,55

Підписано до друку 11.07.2023

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації

КВ № 23995–13835Р від 19.06.2019 р.

Ціна договірна. Тираж 80 пр. Зам. 2402-23

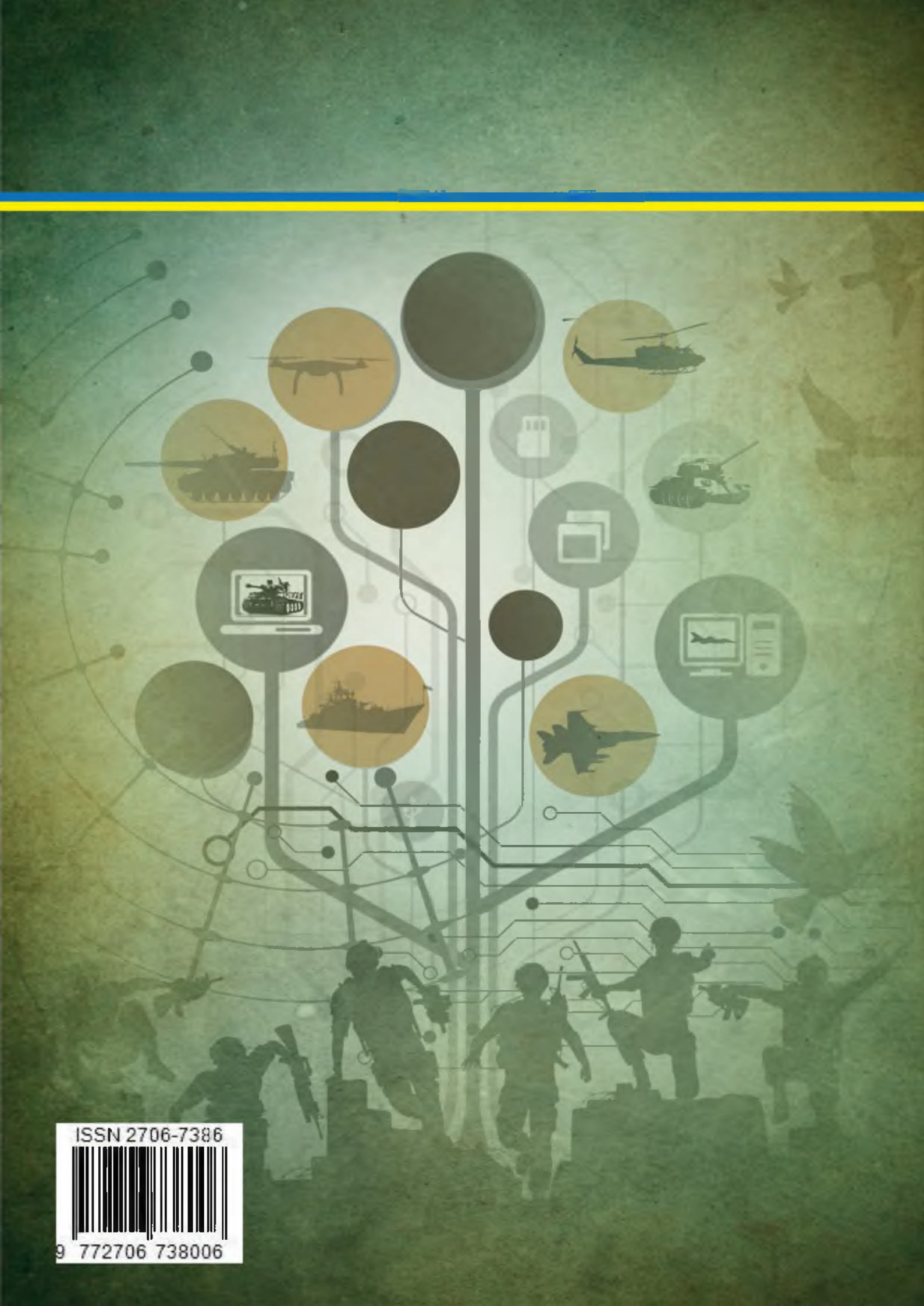
Адреса редакції: 18003, Черкаси, вул. В'ячеслава Чорновола, 164

тел. +38 (067) 979 90 39 e-mail: niv\_dndi@ukr.net



Віддруковано з готових оригінал-макетів замовника у друкарні ФОП О.О. Євенок  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції України  
серія ДК № 3544 від 05.08.2009 р.

м. Житомир, вул. М. Бердичівська, 17А  
тел.: +38 (063) 101 22 33, e-mail: printintz@gmail.com



ISSN 2706-7386



9 772706 738006