

# ПОВІТРЯНА МІЦЬ УКРАЇНИ

№ 1 (4)  
2023

## Науково-практичний журнал

### Засновник і видавець

Національний університет  
оборони України  
Журнал заснований у 2021 році

### Адреса редакції

Національний університет  
оборони України  
Інститут авіації  
та протиповітряної оборони

Повітрофлотський проспект, 28,  
Київ, 03049

телефон: (044)-271-05-88,  
(050)-981-49-83

e-mail: [SAP\\_journal@nuou.org.ua](mailto:SAP_journal@nuou.org.ua)  
електронна версія журналу:  
[sap.nuou.org.ua](http://sap.nuou.org.ua)

Журнал зареєстровано в Міністерстві юстиції  
України (Свідоцтво КВ № 24979-14919Р)

Журнал видається змішаними мовами  
(українською та англійською)  
та виходить 2 рази на рік

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного університету оборони України  
(протокол № 7 від 26 червня 2023 року)

При використанні матеріалів посилання на журнал  
“Повітряна міць України” обов’язкове

Редакція може не поділяти точку зору авторів  
Відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть  
автори

### В номері:

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ УКРАЇНИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ.....	5
Підхід до побудови функціонально стійкої розподіленої системи передачі радіолокаційної інформації ( <i>Барабани О.В., Кіреско В.В.</i> ).....	5
ПИТАННЯ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ, ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ, РАДІОТЕХНІЧНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК, ЗВ’ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ.....	9
Уроки застосування безпілотних літальних апаратів у російсько-українській війні ( <i>Корищець О.А., Горбенко В.М.</i> ).....	9
Перспективи удосконалення системи протиповітряної оборони для протидії оперативно-тактичним ракетами ( <i>Шкурат Б.Ж., Глоба О.В., Резнік Д.В., Левченко М.А., Мельниченко В.С.</i> ).....	18
Аналіз факторів та загроз, що впливають на кіберзахисність системи зв’язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування в оборонній операції ( <i>Ясинецький В.П., Хажанець Ю.А., Павлюченко В.О.</i> ).....	27
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	32
Застосування принципів теорії марковських випадкових процесів для оцінювання ефективності прикриття об’єктів засобами протиповітряної оборони від ударів крилатих ракет ( <i>Загорка О.М., Поліщук С.В., Загорка І.О.</i> ).....	32
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПЛОТНОЇ АВІАЦІЇ.....	40
Обґрунтування способу аналізу алгоритму управління спільною авіаційною групою за допомогою апарату мережі Петрі ( <i>Ярошенко Я.В., Герасименко В.В., Коротін С.М., Мартинюк О.Р., Блискун О.Є.</i> ).....	40
ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	46
Визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння ( <i>Драник П.А., Кітік С.В., Паталаха В.Г., Целищев Ю.П.</i> ).....	46
Розвиток інформаційного забезпечення відновлення зенітного ракетного озброєння ( <i>Опенько П.В., Феськов О.С., П’явчук О.О., Федоров О.В.</i> ).....	51
Аналіз роботи органів військового управління щодо забезпечення матеріально-технічними засобами військ протягом 2020 – 2022 років в зоні проведення операції об’єднаних сил ( <i>Смиченко Є.О., Поліщук В.В., Миронок М.Ю., Коломієць Ю.М., Базіло С.М.</i> ).....	58
ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ’ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	63
Оцінка ефективності доробок авіаційної техніки ( <i>Климчук В.П., Бутенко М.П., Іванов В.І., Косков Ю.М., Яблонський П.М.</i> ).....	63
Моделювання роботи системи технічної експлуатації військово-транспортних вертольотів на основі марковського процесу з дискретними станами та безперервним часом ( <i>Сафонов І.Є., Коротін С.М., Радько О.В.</i> ).....	67
Збереження фінансово-економічної стійкості як запорука стабілізації економіки держави та надійного фінансового забезпечення потреб оборони і безпеки умов повномасштабної агресії РФ проти України ( <i>Луцик Ю.О., Деменев О.М., Пархоменко П.П., Телегін В.В.</i> ).....	74
Схема оформлення статей.....	81

## **Редакційна колегія**

### ***Головний редактор***

*КРАВЧЕНКО Юрій Васильович*  
доктор технічних наук, професор

### ***Заступник головного редактора***

*КОРОТІН Сергій Михайлович*  
кандидат технічних наук, доцент

### ***Члени редколегії:***

*Салій Анатолій Григорович*  
кандидат військових наук, професор

*Мищенко Андрій Віталійович*  
доктор технічних наук, професор

*Горобець Юрій Олексійович*  
кандидат військових наук, доцент

*Пуховий Олександр Володимирович*  
кандидат військових наук, доцент

*Коршець Олена Антонівна*  
кандидат технічних наук, доцент

*Гаврилко Євген Володимирович*  
доктор технічних наук, професор

*Горбенко Володимир Михайлович*  
кандидат військових наук, доцент

*Медведев Володимир*  
*Костянтинівич*

кандидат військових наук, професор  
*Радько Олег Віталійович*

кандидат технічних наук, доцент  
*Паталаха Валерій Григорович*

кандидат військових наук, доцент

*Здзіслав Сліва*

габілітований доктор

*Герасименко Володимир Вікторович*  
кандидат військових наук

*Диптан Валентин Петрович*  
кандидат військових наук, доцент

*Миронюк Микола Юрійович*  
кандидат військових наук

*Мартинюк Олексій Ростиславович*  
кандидат технічних наук, доцент

*Авраменко Олександр Васильович*  
доктор технічних наук

*Коровін Іван Павлович*  
кандидат технічних наук, доцент

*Опенько Павло Вікторович*  
кандидат технічних наук, старший

дослідник

*Резнік Дмитро Вікторович*  
кандидат військових наук

*Павел Бернат*  
доктор філософії

### ***Технічні редактори***

*Майстров Олексій Олексійович*  
кандидат технічних наук, доцент

*Ясинецький Василь Павлович*  
кандидат військових наук, доцент

### ***Відповідальний секретар***

*Коломієць Юрій Миколайович*  
доктор філософії

# AIR POWER OF UKRAINE

№ 1 (4)  
2023

## Scientific and Practical Journal

### Founder and publisher

National Defence  
University of Ukraine  
The journal was founded in 2021

### Address

National Defence  
University of Ukraine,  
Aviation and Air Defence Institute

Povitroflotskiy ave. 28, Kyiv, 03049  
Telephone: (044)-271-05-88,  
(050)-981-49-83

e-mail: [SAP\\_journal@nuou.org.ua](mailto:SAP_journal@nuou.org.ua)  
on-line version of journal:  
[sap.nuou.org.ua](http://sap.nuou.org.ua)

The journal is registered in the Ministry of Justice of  
Ukraine (certificate KB № 24979-14919P)

The journal is published in Ukrainian and English  
twice a year

Recommended for publication by the Scientific Council  
of the National Defence University of Ukraine  
(protocol № 7 from June, 26, 2023)

When using materials reference to the journal  
“Air Power of Ukraine” is obligatory

The editorial board can have a different viewpoint  
than that of the authors  
The content of the materials is the authors' responsibility

### Contents:

THE ISSUES OF DEVELOPMENT, APPLICATION AND PROVISION OF THE AIR FORCES OF UKRAINE, IMPROVEMENT OF THEIR MANAGEMENT SYSTEM.....	5
Approach to building a functionally sustainable distributed radio information transmission system (Barabash O., Kireyenko V.).....	5
THE ISSUES OF COMBAT USE OF MILITARY UNITS OF THE STATE AVIATION OF UKRAINE, ANTI-AIRCRAFT, RADIO TECHNICAL AND SPECIAL TROOPS, COMMUNICATION, RADIO ENGINEERING SUPPORT AND CONTROL AUTOMATION.....	9
Lessons from the application of unmanned aircrafts in the russian-ukrainian war (Korshets O., Horbenko V.).....	9
Prospects of improving the air defense system against operational and tactical missiles (Shkurat B., Hloba O., Riezniak D., Levchenko M., Melnychenko V.).....	18
Analysis of factors and threats impacting the cybersecurity of communication systems, radio technical support, and automation of air command in operations (Yasinetskiy V., Khazhanets Y., Pavliuchenko V.).....	27
SIMULATION OF THE APPLICATION PROCESSES OF THE TROOPS AND SPECIAL FORCES OF THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	32
Application of the principles of the theory of markov random processes to assess the effectiveness of protection of objects from cruise missiles strikes (Zahorka O., Polishchuk S., Zahorka I.).....	32
RESEARCH OF MANAGEMENT AND APPLICATION PROCESSES OF MANNED AND UNMANNED AVIATION.....	40
Justification of the joint aviation group management algorithm analysis method using the Petri net apparatus (Yaroshenko Y., Herasymenko V., Korotin S., Martyniuk O., Blyskun O.).....	40
THE ISSUES OF DEVELOPMENT OF LOGISTIC SUPPORT OF KINDS OF AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	46
Determination of the anti-aircraft missile weapon radio electronic equipment maintenance optimum periodicity (Drannyk P., Kitik S., Patalakha V., Tselishev Y.).....	46
Development of information support for the recovery of surface to air missile (SAM) weapons (Open'ko P., Feskov O., Pyavchuk O., Fedorov O.).....	51
Analysis of the work of the military administration bodies regarding the provision of material and technical assets to the troops during 2020 - 2022 in the zone of the operation of the united forces (Smychenko Y., Polishchuk V., Myroniuk M., Kolomiets Y., Bazilo S.).....	58
INNOVATIVE PROCESSES IN THE FIELDS OF AVIATION, AUTOMOTIVE, RADIO ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS, AS WELL AS INFORMATION TECHNOLOGIES.....	63
Assessment of the efficiency of aviation technique products (Klimchuk V., Butenko M., Ivanov V., Koskov Y., Yablonskiy P.).....	63
Simulation of operation of the maintenance system of military transport helicopters based on the markov process with discrete states and continuous time (Safonov I., Korotin S., Radko O.).....	67
Preservation of financial and economic stability as a guarantee of stabilization of the state's economy and reliable financial support for defense and security needs in the context of full-scale russian aggression against Ukraine (Lutsyk Y., Demenev O., Parkhomenko P., Telehin V.).....	74
Paper template.....	81

## **Editorial Board**

### ***Chief Editor***

*Yurii KRAVCHENKO*

Doctor of technical sciences, professor

### ***Deputy Editor***

*Serhii KOROTIN*

Candidate of technical sciences, associate professor

### ***Editorial Board Members:***

*Anatolii Salii*

Candidate of Military Sciences, professor

*Andriy Mishchenko*

Doctor of Technical Sciences, professor

*Yurii Horobets*

Candidate of Military Sciences, associate professor

*Oleksandr Pukhovyi*

Candidate of Military Sciences, associate professor

*Olena Korshets*

Candidate of Technical Sciences, associate professor

*Yevhen Havrylko*

Doctor of Technical Sciences, professor

*Volodymyr Horbenko*

Candidate of Military Sciences, associate professor

*Volodymyr Medvediev*

Candidate of Military Sciences, professor

*Oleg Radko*

Candidate of Technical Sciences, associate professor

*Dmytro Rieznik*

Candidate of Military Sciences

*Zdzisław Sliwa*

Dr. habil.

*Volodymyr Herasimenko*

Candidate of Military Sciences

*Valentyn Dyptan*

Candidate of Military Sciences, associate professor

*Valerii Patalakha*

Candidate of Military Sciences, associate professor

*Oleksii Martyniuk*

Candidate of Technical Sciences, associate professor

*Oleksandr Avramenko*

Doctor of Technical Sciences

*Ivan Korovin*

Candidate of Technical Sciences, associate professor

*Mykola Mironyuk*

candidate of military sciences

*Pavlo Openko*

Candidate of Technical Sciences, senior researcher

*Paweł Bernat*

Ph.D.

### ***Technical Editors***

*Oleksii Maystrov*

Candidate of Technical Sciences, associate professor

*Vasyl Yasynetskii*

Candidate of Military Sciences, associate professor

### ***Responsible Secretary***

*Yurii Kolomiets*

Ph.D.

## **ПИТАННЯ РОЗВИТКУ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-5-8

УДК 623.746

**Барабаш Олег Володимирович** (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>

**Кіреєнко Володимир Володимирович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-0230-9450>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

### **ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ФУНКЦІОНАЛЬНО СТІЙКОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

*Стаття присвячена побудові функціонально стійкої системи передачі радіолокаційної інформації. Забезпечення функціональної стійкості пропонується здійснювати з допомогою запровадження надмірності між структурними елементами системи. Зважаючи на характер ієрархічної побудови існуючої системи передачі радіолокаційної інформації, дослідження проводилися за допомогою графової моделі, а саме розглядалися питання побудови оптимально зв'язної структури. Також було показано, що при заданій кількості вершин та ребер різним ймовірностям існування ребра можуть відповідати різні оптимальні структури графа. Таким чином, на основі представленого підходу можна оптимально вводити коригувальні зв'язки, тим самим підвищувати функціональну стійкість структури.*

**Ключові слова:** функціональна стійкість; система передачі радіолокаційної інформації; структурна зв'язність.

#### **Вступ**

Після вторгнення в Україну 24 лютого Росія здійснила кібератаки на комп'ютерні системи українського уряду, військових і критичну інфраструктуру, спричинивши збій у роботі деяких систем. Також через кібератаки припинив роботу КА-SAT (телекомунікаційний супутник зв'язку високої пропускну здатності), який використовували українські військові та розвідувальні служби. З початку повномасштабного вторгнення стало зрозуміло, що в Збройних силах існує нагальна потреба щодо побудови функціонально стійких систем військового призначення. Однією з таких систем є система передачі радіолокаційної інформації (СПРІ), яка повинна виконувати свої функції в умовах внутрішніх та зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Необхідність побудови функціонально-стійкої системи передачі радіолокаційної інформації обумовлено важливістю завдань, що вирішуються, а саме передача радіолокаційної інформації до споживачів.

Основною особливістю функціонально-стійких систем є їхня здатність змінюватись на структурному рівні до повної відмови системи, тобто виключати відмовивши елементи, перестроювати структуру, налаштувати параметри системи до нових умов експлуатації. Аналогічно

поведінки живих організмів, при втраті ними деяких частин та функцій слід синтезувати СПРІ, яка б виконувала основну функцію (передачу радіолокаційної інформації) при виході з ладу елементів системи (вузлів комутації та ліній зв'язку).

Таким чином вирішення задачі синтезу СПРІ, тобто визначення її структури та значень параметрів елементів у відповідності з визначеними обмеженнями та критеріями є актуальною.

В статті пропонується розглянути узагальнений підхід до забезпечення функціональної стійкості в розподілених інформаційних системах, якою є система передачі радіолокаційної інформації.

Вирішенню задачі побудови функціонально-стійких складних систем присвячено множина наукових робіт [1, 2, 3, 4]. Однак, основна увага в них приділяється рішенням часткових задач, а саме – побудови резервованих інформаційно-керованих систем, адаптивних систем управління, відмово стійких обчислювальних систем.

Мета статті – викладення основних положень щодо побудови функціонально стійкої системи передачі радіолокаційної інформації, яка може функціонувати під впливом потоків відмов та в умовах впливу противника. Результатом вирішення даної задачі буде множина ліній зв'язку між вузлами комутації СПРІ.

## Матеріали та методи

Для вирішення поставленої задачі скористаємось графовим її поданням, як найбільш поширеною та зручною формою подання структур взагалі. Будемо рахувати, що вершинам графа відповідають вузли комутації (ВК), а ребрам графа лінії зв'язку. Якщо побудова оптимально-зв'язного графа для заданих кількості вершин і ребер розглядалося в літературі і є деякі результати, зокрема по однорідності ступенів вершин таких графів і довжини простих ланцюгів, то питанням оптимального з'єднання декількох точок в існуючих графах або оптимального з'єднання графів ще не розглядалося.

## Результати

В [5] було показано, що при заданій кількості вершин та ребер, різним ймовірностям існування ребра можуть відповідати різні оптимальні структури графа.

В наведеній блок-схемі прийнято рахувати, що ВК з'єднується корегуючим ребром до

найближчого ВК. Однак більш детальний розгляд показує, що доцільно робити прив'язку не до найближчого вузлу, а до того з яким пов'язане більше число входжень споживачів з якими ведеться передача радіолокаційної інформації. При цьому за рахунок деякого збільшення довжини та вартості з'єднань скоротиться навантаження, в результаті чого вартість структури СПРІ зменшиться.

Проведений аналіз [6] показав, що найбільш ефективними є евристичні методи оптимізаційних процедур (методи заміни), синтезу, метод графів. Дані методи є пошуковими процедурами, які покращують структуру СПРІ, послідовно змінюючи невеликі її ділянки.

Розглянемо задачу синтезу структури СПРІ в якій потрібно визначити сукупність ліній зв'язку, які забезпечують зв'язність структури при її мінімальній вартості. Зазначена задача вирішується в удосконаленій методиці (рис. 1), яка базується на елементах оптимізації на графах та мережах.

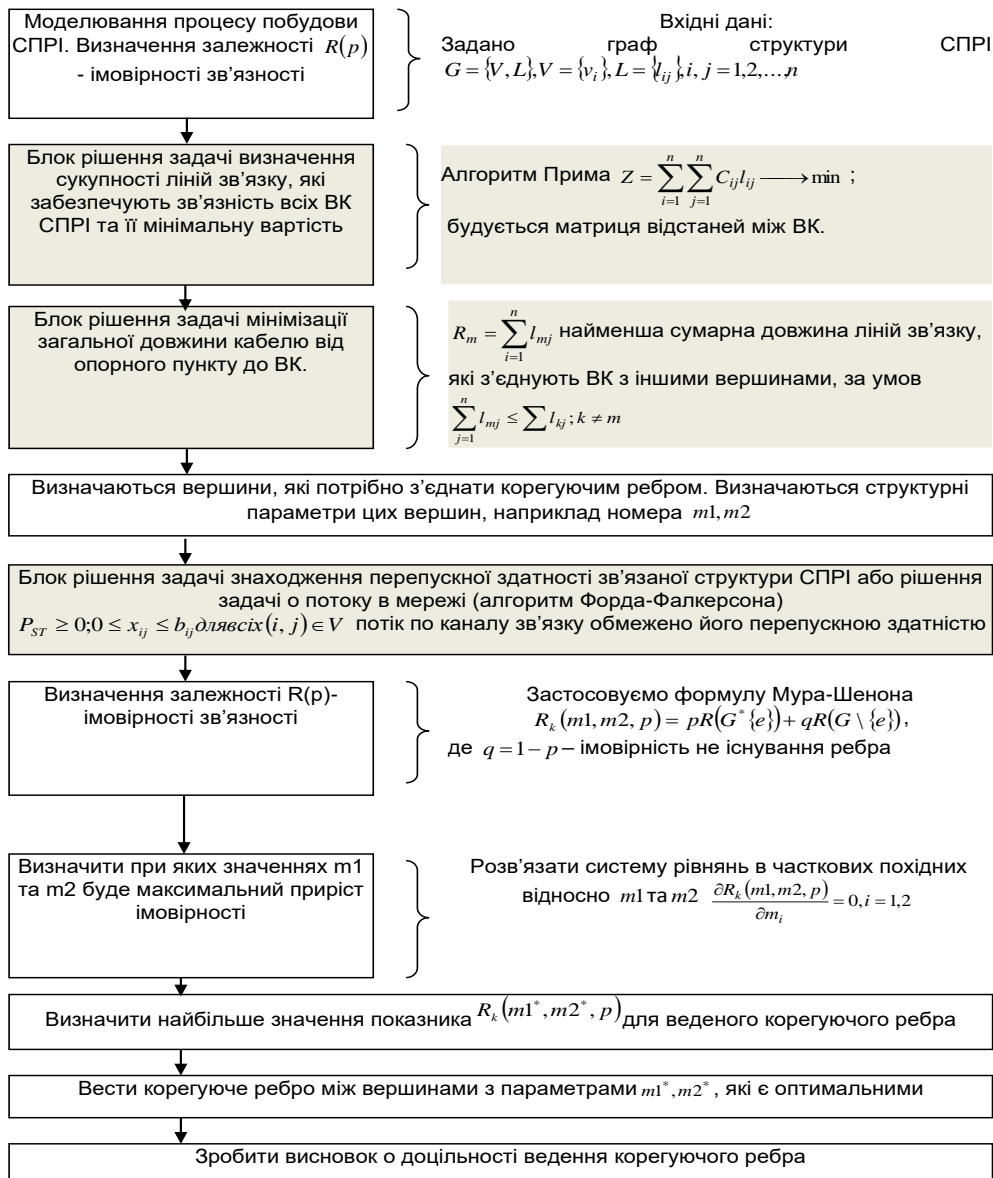


Рисунок 1. Блок-схема побудови функціонально стійкої СПРІ

Математична задача синтезу структури мінімальної вартості формулюється наступним чином.

Задано неорієнтований граф  $G(N, V)$ , де множина вершин  $N$  відповідає множині ВК, загальне число дорівнює  $n$ , а множина ребер  $V$  – відстаням  $\{l_{ij}\}$  між парами ВК. Відома вартість 1 кілометра лінії зв'язку між пунктами  $i$  та  $j$ .

Необхідно знайти дерево  $G'(N', V')$ , для якого досягається мінімум цільової функції:

$$Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} l_{ij} \rightarrow \min$$

Для рішення даної задачі застосуємо алгоритм Прима. Алгоритм реалізується шляхом присвоєння поміток вершинам ВК, які водяться у шуканий граф  $G'(N', V')$  та послідовного ведення в нього найбільш коротких ребер (ліній зв'язку), загальна кількість яких не повинна перевищувати  $(n-1)$  та забезпечувати зв'язність між всіма  $n$  вершинами покривного дерева.

Покрокова форма алгоритму має вигляд:

Крок 0. Шукана структура  $G'(N', V')$  в початковому стані містить  $n$  вершин та не містить ребер. Обирається одна вершина ВК і та помічається як “обрана”. Інші  $(n-1)$  вершин помічаються як “невибраних”.

Крок 1. Знаходиться ребро  $(i, j)$ , яке приналежить підмножині обраних вершин, а вершина  $j$  до підмножини не обраних вершин.

Крок 2. Ребро  $(i, j)$  включається до шуканої структури  $G'(N', V')$ , вершина  $j$  виключається з підмножини невибраних вершин. Якщо підмножина невибраних вершин виявилась порожньою – кінець роботи алгоритму. В протилежному випадку – переходимо до кроку 1.

Наведемо роботу алгоритму Прима на прикладі системи, яка складається з семи елементів. Маємо сім ВК, які входять до складу комплексів засобів автоматизації, відстань між якими зведені до

матриці  $L = \|l_{ij}\|$ , а саме:

	0	10	5	12	9	3	9
10	0	7	2	8	4	6	
5	7	0	3	1	5	11	
L = 12	2	3	0	10	15	10	
9	8	1	10	0	12	9	
3	4	5	15	12	0	17	
9	6	11	10	9	17	0	

На кроці 0 шуканий граф містить 6 вершин ВК та не містить жодного ребра (ліній зв'язку). Обираємо вершину 3 та помічаємо її як обрану (рис. 2).

На 1 кроці обираємо ребро  $l_{35}$  як ребро з найменшою вагою, у якого вершина  $i=3$  належить

підмножині обраних вершин (поки, що містить одну вершину 3), а вершина  $j=5$  – підмножину невибраних вершин (всі інші вершини).

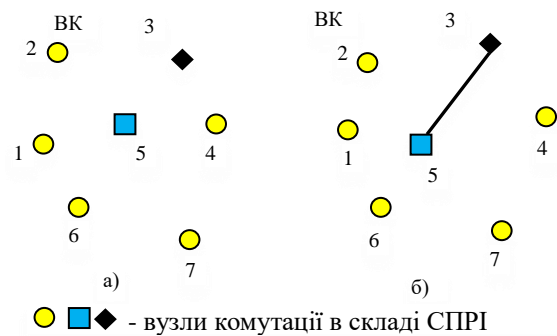


Рисунок 2. Початкові структури у вигляді графів

На кроці 2 ребро  $l_{35}$  водиться в шуканий граф  $G'(N', V')$ , а вершина 5 водиться у підмножину обраних вершин (рис. 2а). Оскільки підмножина невибраних вершин не порожня, повторюємо крок 1. Для цього знаходимо ребро мінімальної ваги, перебираючи поєднання кожної пари вибраних та невибраних вершин.

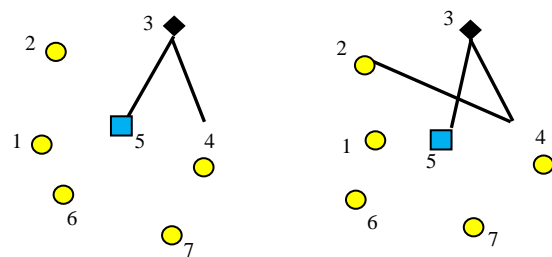


Рисунок 2а.

Рисунок 2б.

Таким є ребро  $l_{34}$  (рис. 2б), яке додається у граф  $G'$ , а вершина 4 стає обраною. Наступним вибираються ребра:  $l_{26}$  (рис. 3 а);  $l_{31}$  (рис. 3 б);  $l_{27}$  (рис. 3 в).

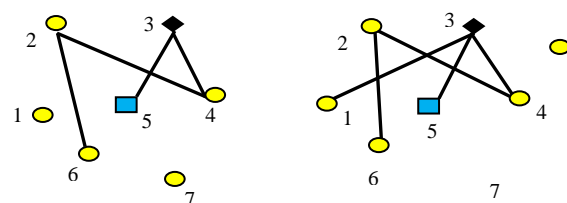


Рисунок 3а.

Рисунок 3б.

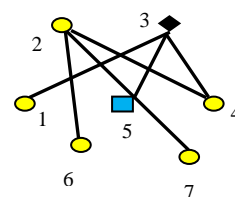


Рисунок 3в.

## Висновки

В результаті проведення досліджень

встановлено, що запровадження побудови функціонально стійкої системи передачі радіолокаційної інформації дозволяє оптимальним способом додавати резервні канали передачі до існуючої структури. В якості вихідної структури доцільно обирати кільцеву структуру, з метою мінімізації кількості та довжини ліній зв'язку між вузлами комутації.

Отримано шуканий граф, який представляє собою покривне дерево, оскільки він включає всі вершини, містить число ребер на одиницю менше числа вершин ( $n=7$ ,  $v=6$ ) та забезпечує зв'язність кожної пари вершин.

Отримані результати можуть знайти подальше застосування під час наукових досліджень в напрямку розроблення перспективних систем передачі даних.

### Список використаних джерел

1. Дубовой В. М. Моделювання та оптимізація систем / В. М. Дубовой. – Вінниця., 2017. – 325 с.

2. Васильев В. И. Графы кодов, устройства и сети передачи сигналов данных / В. И. Васильев, В. М. Коновалов, Л. Я. Заманский – М. : “Радио и связь”, №11, 1985.

3. Барабаш О. В., Застосування дискретної оптимізації для синтезу структури мережі передачі даних / О. В. Барабаш, Ю. В. Пономарьов // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. Збірник наукових праць. – Житомир : ЖВІРЕ, – 2003. – Вип. 6. – С. 132–141.

4. Богатырев В. А. Оценка вероятности полной связности локальных сетей при неполнодоступности резервированных магистралей / В. А. Богатырев. // Электронное моделирование, – 1999. – №5. – С. 102–112.

5. Новиков Д. А. Сетевые структуры и организационные системы / Д. А. Новиков. – М. : ИПУ РАН, 2003. – 102 с.

6. Запорожець Ю.А. Моделювання та оптимізація об'єктів та систем управління [Електронний ресурс]: навчальний посібник / Ю.А. Запорожець., С.Л. Мердук, С.В. Плашихін. – Київ: КПІ ім Ігоря Сікорського, 2021. 99 с.

## APPROACH TO BUILDING A FUNCTIONALLY SUSTAINABLE DISTRIBUTED RADIO INFORMATION TRANSMISSION SYSTEM

**Oleh Barabash** (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>

**Volodymyr Kireyenko** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-0230-9450>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article is devoted a construction functionally to the steady system and passing to radio-location information. It is suggested to carry out providing of functional stability due to introduction and surplus between the structural elements of the system. Because of character the hierarchical construction of the existent system of passing to radio-location information, researches were conducted by a count model, the questions the construction optimum of coherent structures were namely examined. It was also shown that at the set amount of tops and ribs the different optimum structures of count can correspond different probabilities of existence of rib. Thus, on the basis of the presented the approach it is possible optimum appearance to enter correcting's connections, the same to promote functional stability of structure.*

**Keywords:** functional stability; system of passing to radio-location information; structural coherentness.

### References

1. Dubovoi V. M. Modeliuvannia ta optymizatsiia system / V. M. Dubovoi. – Vinnytsia., 2017. – 325 s.

2. Vasilev V.I. Konovalov V.M., Zamanskij L.J. (1985), Columns of codes, device and network of transmission of signals of data. [Grafyi kodov, ustroystva i seti peredachi signalov danih], Radio i svyaz, №11.

3. Barabash O.V., Ponomarov Y.V. (2003) Application of discrete optimization for the synthesis of network of transmission structure information [Zastosuvannya diskretnoi optimizatsii dlya sintezu strukturi merezhi peredachi danih] Zbirnyk naukovkh prats. Zhytomyr: ZhVIRE, № 6. pp. 132–141.

4. Bogatyrev V.A. (1999), Estimation of probability of complete coherentness of local networks at nepolnodostupnosti of the reserved highways. [Otsenka veroyatnosti polnoy svyaznosti lokalnyih setey pri nepolnodostupnosti rezervirovannyih magistralej], Elektronnoe modelirovanie, №5 pp. 102–112.

5. Novikov D.A. (2003), Network structures and organizational systems [Setevyie struktury i organizatsionnyie sistemy], IPU RAN, 102 p.

6. Zaporozhets Yu.A. Modeliuvannia ta optymizatsiia ob'ektiv ta system upravlinnia [Elektronnyi resurs]: navchalnyi posibnyk / Yu.A. Zaporozhets., S.L. Merdukh, S.V. Plashykhin. – Kyiv: KPI im Ihoria Sikorskoho, 2021.99s.



## **ПИТАННЯ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ, ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ, РАДІОТЕХНІЧНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК, ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ**

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-9-17

УДК 623.746

**Коршець Олена Антонівна** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-7225-0848>

**Горбенко Володимир Михайлович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-7030-0995>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

### **УРОКИ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ У РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ**

*На підставі досвіду застосування Повітряних Сил Збройних Сил України під час триваючої російсько-української війни, визначені особливості та способи дії безпілотних літальних апаратів збройних сил російської федерації та особливості застосування безпілотної авіації ЗС України. В статті проаналізовано способи застосування, тактичні прийоми, можливості та завдання безпілотних авіаційних комплексів в умовах повномасштабної агресії російської федерації. Розглянуті проблемні питання боротьби з безпілотними літальними апаратами противника та застосування безпілотних літальних апаратів Повітряних Сил ЗС України з метою обґрунтування можливих напрямків як протидії ним так і розвитку даного виду засобів боротьби у повітрі в найближчій перспективі. Запропоновані можливі напрямки розвитку безпілотних літальних апаратів, які сьогодні є одним із ключових видів сучасного озброєння.*

**Ключові слова:** *Повітряні Сили, застосування безпілотної авіації, безпілотні авіаційні комплекси безпілотні літальні апарати.*

#### **Вступ**

Досвід активної фази російсько-української війни свідчить, що однією з основних рис ведення бойових дій (операцій) є широке застосування сучасних засобів повітряного нападу, в тому числі застосування сучасних безпілотних літальних апаратів (БпЛА) різного призначення. Це призводить до змін характеру збройної боротьби, форм та способів застосування військ (сил).

В даних умовах є актуальним питання, як успішно протистояти збройному нападу РФ на Україну з повітря, які тенденції має розвиток збройної боротьби, як розвивається військово-мистецтво в умовах стрімкого розвитку технологій, появи нового озброєння та військової техніки. Про це свідчать уроки бойових дій на території Чеченської республіки (1994-1996 рр. та у 1999-2003 рр.), Грузії (2008 р.), Сирії та Нагорному Карабасі, а також операції Об'єднаних сил (АТО) на Сході України.

Збройна агресія РФ проти України характеризується активним застосуванням БпЛА для вирішення завдань розвідки, вогневого ураження противника (ВУП), корегування вогню артилерії та інших спеціальних завдань. Противник

широко застосовує як нові так і модифіковані БпЛА, що створює постійні загрози з повітря у зв'язку з їх малою помітністю та складністю виявлення.

На території України БпЛА агресора вперше застосовуються в умовах активної протидії протиповітряної оборони (ППО) ЗС України. Відмічаються тенденції до зростання кількості застосованих комерційних міні та середніх БпЛА, а також баражуючих боєприпасів (БпЛА-камікадзе) для нанесення ударів по криничній інфраструктурі України.

Збройні Сили України починаючи з 2014 року отримали значний досвід застосування безпілотної авіації, в основному для виконання завдань повітряної розвідки та корегування вогню артилерії у боротьбі за вогневу перевагу на полі бою. Основою для досягнення успіху у цій боротьбі є ефективна взаємодія між різнорідними та різновидовими силами і засобами, які приймають участь у вогневому ураженні противника. Одним з ключових елементів цієї взаємодії є ланцюг ураження "Виявлення-Знищення" (Sensor-To-Shooter Kill Chain).

Цей процес складається із застосування ряду

сенсорів, наприклад, безпілотних авіаційних комплексів для виявлення цілі в реальному часі, у взаємодії з центрами координації вогню та підрозділами вогневої підтримки, щоб максимізувати шанси на успіх точкових та зосереджених вогневих ударів.

В статті пропонується розглянути узагальнений досвід застосування безпілотних літальних апаратів збройних сил (зс) російської федерації (рф) та особливості використання безпілотної авіації ЗС України у ході російсько-української війни.

Мета статті – аналіз набутого досвіду застосування БпЛА в російсько-українській війні, виявлення проблемних питань боротьби з БпЛА противника та застосування БпЛА ПС ЗС України з метою обґрунтування можливих напрямків як протидії БпЛА противника так і розвитку даного виду засобів боротьби у повітрі в найближчій перспективі.

### **Матеріали та методи**

Аналіз досвіду російсько-української війни з 2014 року, останніх локальних війн та збройних конфліктів, визначає основні тенденції збройної боротьби в повітрі та особливості виконання завдань ПС ЗС України в операціях (бойових діях). В цьому контексті важливим є аналіз сучасних форм дій та способів застосування засобів повітряного нападу. На підставі якого має здійснюватися обґрунтування напрямків удосконалення існуючої структури та складу виду, шляхів підвищення бойових спроможностей підрозділів (частин), тактики авіації, зенітних ракетних та радіотехнічних військ, а також вимог до нових зразків ОВТ ПС ЗС України.

Наразі, першочерговим для ПС ЗС України є зосередження основних зусиль на виконанні завдання стратегічного рівня – охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття важливих державних і військових об'єктів від ударів засобів повітряного нападу, основу яких складають саме БпЛА. Також, нагальною є необхідність подальшого розвитку теорії та практики протидії БпЛА противника та тактики застосування підрозділів БпЛА ПС ЗС України в об'єднаних операціях [1, 14].

В роботі використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз і узагальнення.

### **Результати**

Уроки застосування безпілотної авіації збройними силами російської федерації. 24 лютого 2022 року зс рф розпочали широкомасштабне вторгнення на територію України. Перші дні агресії характеризувалися високим темпом просування батальйонних тактичних груп противника. В той же час, на початковому етапі ворог майже не застосовував БпЛА, навіть для розвідки. Що стало однією з можливих причин розгрому передових сил противника, які діяли в умовах інформаційного вакууму. І лише після уповільнення наступу та

переходу на деяких ділянках до оборони, противник почав застосувати БпЛА.

Причина цього – мала кількість БпЛА у військах. Так, на час початку бойових дій у складі дивізії була лише одна рота БпЛА з двома “Орланами” та двома “Елеронами”. В цілому, на озброєнні зс рф на початок війни знаходилося кілька сотень різнотипних БпЛА, але серед них не було ударних. В основному це були БпЛА, які призначені для розвідки в тактичній глибині (“Тахион”, “Елерон-3”, “Леер”, “Орлан-10”, “Орлан-30”, “Форпост”, “Гранат”, “Застава”, “ZALA”).

Сьогодні противник з метою уточнення положення наших військ та коригування вогню артилерії здійснює в середньому до 40 вильотів БпЛА на добу. Відмічається зростання інтенсивності застосування малорозмірних БпЛА-камікадзе (“КУБ-БЛА”, “Ланцет-1” та “Ланцет-3”).

У якості ударних БпЛА широко застосовуються комерційні міні квадрокоптери з надрукованими на 3D принтерах засобами скидання осколкових боєприпасів та ручних гранат. Єдиними ударними БпЛА є “Форпост-Р” (оснащений двома ракетами загальною масою не більше 100 кг, всього 30 шт.) та експериментальні “Орион” та С-70 “Охотник”, які й досі залишаються дослідними екземплярами. Після втрати двох БпЛА “Форпост” противник відмовився від їх застосування у якості ударних. Відмічено також втрату одного розвідувально-ударного БпЛА іранського виробництва “Mohajer-6” над Чорним морем (на даний час збито щонайменше чотири БпЛА даного типу).

Крім вищезгаданих БпЛА, в ході бойових дій для викриття позицій засобів ППО ЗС України та у якості хибних цілей, росіяни застосовують повітряні мішені комплексів “Адьютант”, “Клєн”, “Е-95М” та “ВМ-В”. Також зафіксовано випадок застосування з цією метою крилатої ракети радянського виробництва Х-55 з ваговим імітатором замість бойової частини.

Особливістю війни стало широке застосування міні-БпЛА тактичного призначення типу DJI Mavic чи DJI Spark, як для розвідки та корегування вогню, так і для виконання інших бойових завдань. Наприклад, застосовуються міні-БПЛА для скидання пляшок із запальною сумішшю або саморобних міні-авіабомб, які кріпляться до підвісу, надрукованого на 3D-принтері, а самі авіабомби є кумулятивними або осколковими ручними гранатами або гранатами ВОГ-17, оснащеними стабілізаторами, також надрукованими на 3D-принтері.

Також у противника помічені БПЛА китайської компанії SJRC (F11, F7 4K Pro), американської компанії Autel Robotics, компанії Xiaomi (серія FIMI), а також безіменні або маловідомі БпЛА, в основному китайського виробництва.

До проблем експлуатації даних комерційних міні-БПЛА в підрозділах тактичної ланки (відділення, рота, батальйон) слід віднести:

слабка потужність сигналу між БПЛА і пультом управління (чим сильніша потужність сигналу, тим складніше перехоплення);

обмеження, пов'язані з польотними зонами, внаслідок чого за допомогою “електронної гвинтівки”, можливе приземлення БПЛА;

трансляція в ефір свого ID і координат вихідної точки вильоту, що дає можливість противнику вчасно відреагувати на можливу загрозу, а також завдати удару по координатах точки вильоту.

Не маючи успіху на лінії бойового зіткнення, агресор перейшов до стратегії терору цивільного населення та шантажу політичного керівництва України широким застосуванням БПЛА для ураження об'єктів критичної інфраструктури, замінюючи тим самим значно дорожчі крилаті ракети. З вересня 2022 року відмічено, застосування дронів-камікадзе “Shahed-136” (Герань-2).

БПЛА-камікадзе “Shahed-136” – іранський БПЛА (баражуючий боеприпас), призначений для ураження наземних стаціонарних об'єктів шляхом наведення навігаційним способом та контактного підриву бойової частини БПЛА. Може запускатись залпом з мобільних пускових установок, замаскованих під кузов цивільної автівки, кожна з яких може одночасно запускати до 5 БПЛА.

Політ БПЛА супроводжується специфічним гучним звуком працюючого двигуна, який схожий на звук двигуна мопеда. Баражуючий боеприпас біля цілі знижується до висоти 200-300 м та летить з малою швидкістю (150-200 км/год), основну ділянку маршруту долає на висоті біля 2000 м, як правило застосовується групами по 2-3 од. Застосування БПЛА можливе лише по нерухомій цілі.

Переваги БПЛА “Shahed-136”:

велика дальність польоту “дронів-камікадзе” “Shahed-136” дозволяє його застосовувати для ураження стаціонарних цілей навіть у стратегічній глибині;

можливість здійснення підготовки до пуску у польових умовах за рахунок завантаження польотного завдання за допомогою портативного комп'ютеру (ноутбук, планшет).

Недоліки БПЛА “Shahed-136”:

неможливість ураження рухомих цілей;

відсутність засобів зв'язку, що унеможлиблює управління ними у режимі реального часу, зміну польотного завдання тощо;

мала вага бойової частини тому для ураження однієї цілі необхідно кілька влучань подібних БПЛА;

ефективна поверхня розсіювання, порівняно великі розміри та гучна робота двигуна робить його достатньо помітним об'єктом для виявлення та знищення засобами ППО.

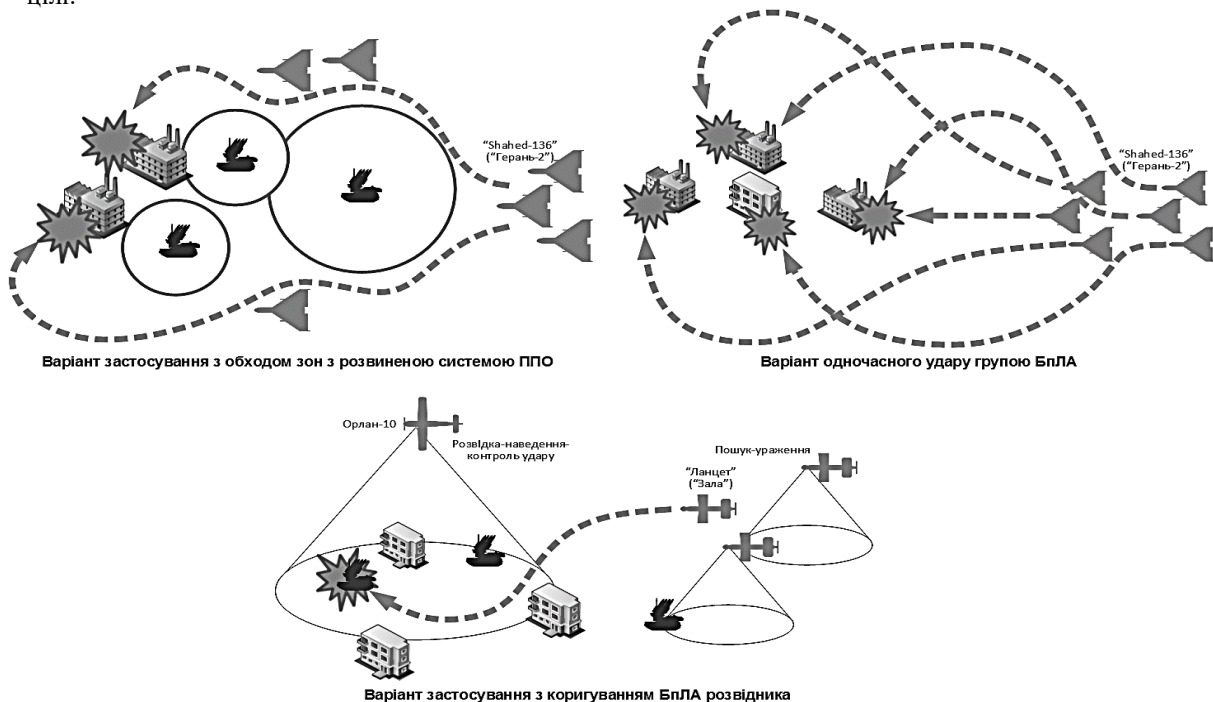
Зазначається, що рф придбала близько 1500 подібних баражуючи боеприпасів. Наразі можливе збільшення кількості та їх виробництво на території рф. Проте досягнута висока ефективність знищення подібних ворожих БПЛА, не нижче 90%.

Основними варіантами застосування БПЛА “Shahed-136” (Герань-2) є:

обхід БПЛА зон з розвинутою системою ППО;

нанесення ударів групою БПЛА.

На сьогодні відмічається нова тактика застосування противником “дронів-камікадзе” типу “Ланцет”, яка полягає в наведенні їх БПЛА “Орлан”. Самі ж “дрони-камікадзе” баражують певний час у визначених зонах очікування з метою пошуку військової техніки та її ураження (рис. 1).



**Рисунок 1.** Основні варіанти застосування безпілотних літальних апаратів російської федерації

Загалом, можна зазначити, що дії БпЛА противника були успішними. Окремо слід виділити “Орлан-10”, як дешеву проте ефективну і складну для протидії повітряну платформу. Проте значні втрати та недостатня кількість “Орлан-10” значно обмежили їх застосування.

Слід зазначити, що корисне навантаження комплексу радіотехнічної розвідки (РТР) “Леєр-3”, яке несе БпЛА “Орлан-10” призначене для виявлення каналів стільникового зв'язку і націлювання на них засобів ураження.

Підрозділи озброєні власними БпЛА могли вести точний вогонь у відповідь вже через 3-5 хвилин після виявлення цілі. Виявлені цілі які проходили через пункт управління вогнем потрапляли в чергу в результаті чого виконання вогневих завдань займало 20-30 хвилин на тактичному рівні та близько 48 годин на оперативному.

Вихід БпЛА в район нанесення удару здійснюється завчасно на висоті 2000-2500 м для проведення детальної розвідки та видачі розвідувальної інформації в реальному режимі часу та наведення на ціль ударної групи.

Відмічено застосування тактичного безпілотного розвідувально-ударного комплексу у складі БпЛА “Орлан-30” та дронів “камікадзе” типу “Ланцет” або “Куб” для виявлення та знищення засобів ППО ЗС України. Для корегування роботи ударних БпЛА також залучаються наземні групи корегувальників, що діють поблизу об'єкту удару.

Таким чином, на озброєнні зс рф перебуває велика кількість, переважно тактичних БпЛА.

Уроки застосування безпілотної авіації збройними силами російської федерації свідчать про ряд особливостей, а саме:

стартові позиції БпЛА розташовуються на відстані до 2 км від лінії бойового зіткнення. При цьому в смузі відповідальності бригада може створюватись до 8 стартових ділянок пуску БпЛА;

найбільша інтенсивність дій БпЛА спостерігається в тактичній зоні бойових дій. Дальність ведення розвідки для більшості БпЛА противника переважно не перевищує 40-45 км;

відносно низька висота застосування (від 100 до 1000 м);

значний вплив погодних явищ (хмарність, сильний вітер, опади, тощо) на можливість застосування БпЛА;

під час розвідувальних польотів БпЛА, противник зазвичай активізує обстріли з метою провокування на відкриття вогню у відповідь і виявлення вогневих позицій, корегування вогню та фіксацію результатів обстрілів.

Враховуючи зазначені особливості райони польотів тактичних БпЛА розташовані у глибині до 40 км від лінії бойового зіткнення на основних напрямках дій військ противника.

Основними об'єктами розвідки БпЛА зс рф є:

пункти постійної дислокації військових частин та райони зосередження військ (резервів);

аеродроми (військові та цивільні), військово-морські бази, полігони та навчальні центри;

бази, склади, арсенали озброєння, військової техніки, паливно-мастильні матеріали та матеріально-технічні засоби;

підприємства оборонно-промислового комплексу та нафтопереробної промисловості;

важливі об'єкти інфраструктури та комунікацій (залізничні вузли, мости та шляхопроводи).

Уроки застосування безпілотної авіації Збройних Сил України. Починаючи з 2014 року на Сході України триває безперервна боротьба за вогневу перевагу над противником. Яка не обмежується тільки розвитком вогневих засобів та збільшенням кількості артилерійських систем. Також багато зусиль було спрямовано на завоювання інформаційної переваги. З 2015 року всі батальйони почали отримувати БпЛА “Фурія”, “Лелека”, PD-1 та інші, що значно підвищило їх можливості з розвідки.

Під час відбиття повномасштабної агресії рф для виконання завдань розвідки та вогневого ураження (корегування вогню ракетних військ і артилерії) на оперативно-тактичну (тактичну) глибину силами оборони активно застосовувались різномірні БпЛА типу: ВР-2 “Стриж”, ВР-3 “Рейс”, Bayraktar TB2, “РЕМ”, “Фурія”, “Лелека”, PD-1.

Уроки російсько-української війни свідчать, що найбільш ефективним БпЛА для виконання завдань вогневого ураження противника та повітряної розвідки є розвідувально-ударний БпЛА “Bayraktar TB2”.

У зв'язку з тим, що розвідувальні БпЛА радянського виробництва ВР-2 “Стриж”, ВР-3 “Рейс” морально застаріли та виконання ними завдань повітряної розвідки є неефективним (згідно нормативів, час обробки розвідувальних матеріалів становить до 4 год.), їх використовували в якості ударних дронів-камікадзе. Даний спосіб може отримати подальший розвиток при надходженні на озброєння Повітряних Сил ЗС України БпЛА-імітаторів повітряних цілей.

Успішне застосування БпЛА ЗС України протягом перших 72 годин конфлікту було обумовлене тим, що росіяни не використовували на початковому етапі засоби ППО та РЕБ тому, що вважали що кампанія проходить за їх планом. Наступаючі сили противника не отримували належної підтримки підрозділів ППО. Натомість підрозділи ППО виходили з того, що усі літаки в повітрі є дружніми. Це дозволило ПС ЗС України здійснити значну кількість бойових вильотів БпЛА проти російських формувань, в умовах не ефективного застосування підрозділів ППО.

Не дивлячись на важливість БпЛА, рівень їх втрат був і залишається досить високим. Для прикладу, середня тривалість “життя” квадрокоптера становить до трьох вильотів. Середня тривалість життя БпЛА з нерухомим крилом складає близько шести польотів. Зафіксовано навіть випадок застосування

противником ЗРК С-300ВМ “Антей” по БпЛА. Противником спочатку був подавлений канал управління, після чого БпЛА став у віраж для відновлення управління. У цей час було здійснено наведення комплексу та здійснено ураження БпЛА.

Кваліфіковані зовнішні екіпажі, які здатні належним чином запрограмувати траєкторію польоту своїх БпЛА до цілі з урахуванням рельєфу місцевості та інших особливостей, можуть збільшити строк служби своїх платформ. Проте, навіть коли БпЛА виживали, вони не завжди успішно виконували свої завдання, тому, що вимоги до їх застосування, наприклад політ без передавання даних із збереженням отриманих зображень районів (об’єктів) розвідки, заважали своєчасному виявленню цілі до того як об’єкт противника змінить своє місцеположення.

Крім того такий спосіб, підвищуючи живучість, також потребував попереднього вибору придатних районів для отримання розвідувальних даних. Часто об’єкти розвідки не були виявлені, тому, що у вказаному місці їх не було.

Розповсюдженням явищем було порушення управління БпЛА засобами радіоелектронної боротьби противника, осліплення його датчиків або відмови його навігаційних систем визначення

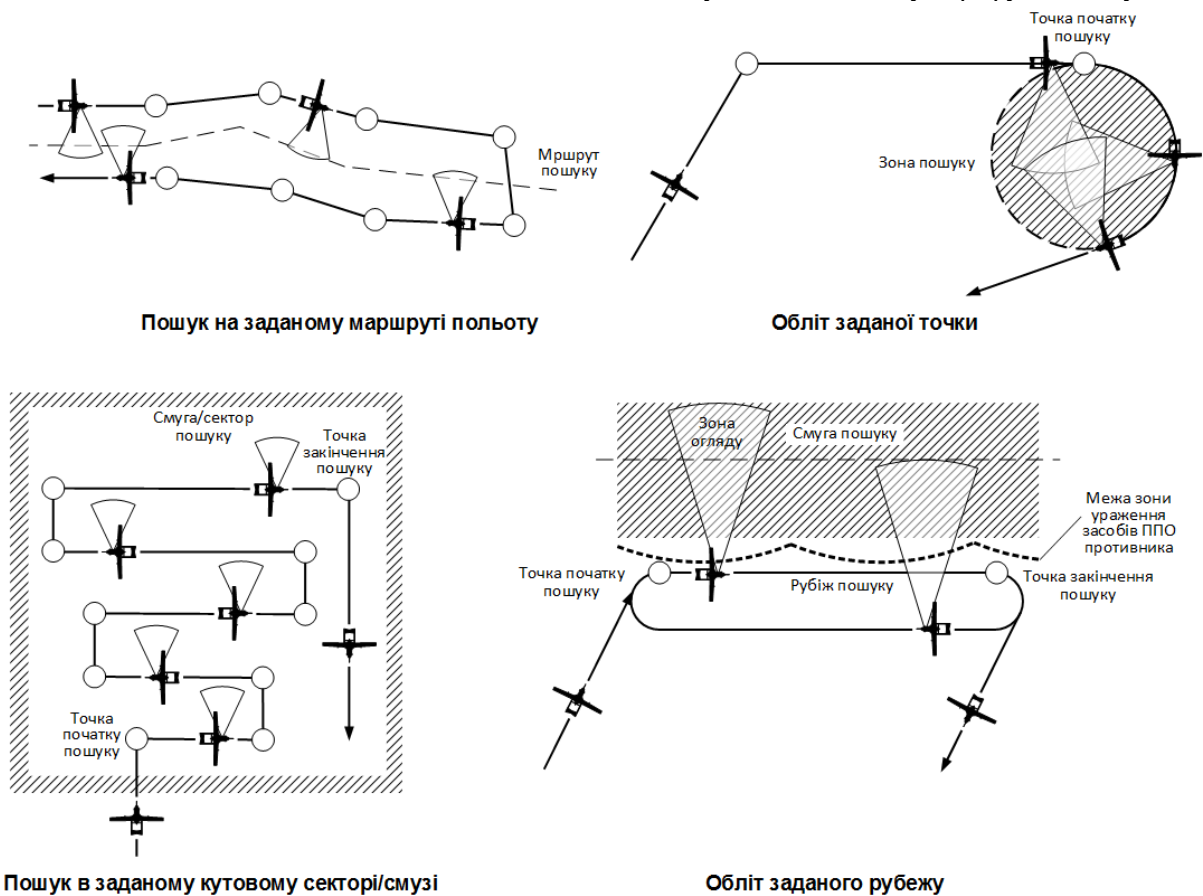
точного місцезнаходження. В деяких випадках росіяни успішно наносили удари по наземних пунктах управління БпЛА.

На початковому етапі війни (упродовж перших двох місяців) середнє бойове напруження БпЛА становило 3,1 вильотів на добу. До 36% льотного ресурсу БпЛА було використано для нанесення ударів. Так БпЛА типу ВР-2 “Стриж”, ВР-3 “Рейс” застосовувалися для нанесення удару по скупченню ОВТ та по складам боєприпасів, а БпЛА “Bayraktar” ТВ-2 для ураження визначених цілей по координатам. Частина завдань було не виконано через несприятливі погодні умови.

Застосування БпЛАК “Bayraktar” ТВ2 здійснювалося з максимального наближення до районів розвідки зон (з урахуванням висоти та дальності ураження ЗРК противника), а у разі виявлення пріоритетних об’єктів противника – рішення на застосування БпЛАК приймалося після оцінювання усіх можливих ризиків.

Основними способами застосування безпілотних літальних апаратів були (рис. 2):

- обліт заданого рубежу;
- обліт заданої точки;
- пошук в заданому кутовому секторі;
- пошук цілі на заданому маршруті польоту.



**Рисунок 2.** Основні способи застосування безпілотних літальних апаратів ЗС України

Спосіб обльоту заданого рубежу. Даний спосіб використовується в умовах активної протидії ППО (зазвичай до активної фази бойових дій) та під час

ведення радіотехнічної розвідки без перетину лінії бойового зіткнення (ЛБЗ), а також у випадках, коли координати об’єкта відомі і потрібно уточнити його

стан.

Переваги способу:

висока прихованість ведення розвідки;  
використання пасивних засобів оптико-електронної та радіотехнічної розвідки дозволяє суттєво знизити ризик втрати БпЛА під час його польоту в оперативній та стратегічній глибинах території противника.

Недолік способу – епізодичність добування розвідувальної інформації.

Спосіб обльоту заданої точки. Даний спосіб використовується для розвідки конкретних об'єктів противника на усю глибину його бойових порядків, під час дорозвідки та контрольної розвідки цілей.

Переваги способу:

забезпечується найбільш висока прихованість дій БпЛА;

можливість збільшення глибини розвідки.

Недолік способу – малий обсяг розвіданої інформації, отриманої за один виліт.

Спосіб пошуку в заданому кутовому секторі. Даний спосіб використовується під час пошуку одночасно декількома БпЛА в умовах невизначеності стосовно розташування противника.

Переваги способу:

максимальна швидкість добування даних щодо положення і дій сторін в широкій смузі;

високий темп оновлення інформації;

можливість виявлення рухомих та обмежено рухомих об'єктів на території противника на віддаленнях, коли імовірне місце перебування об'єктів розвідки невідоме.

Недолік способу – складність організації застосування та контролю одночасно за декількома БпЛА.

Спосіб пошуку цілі на заданому маршруті польоту. Даний спосіб застосовується за наявності первинної інформації щодо місця положення одного або групи об'єктів і за умов, у яких забезпечується однозначне виявлення положення або напрямку руху об'єктів на місцевості.

Переваги способу:

максимальна швидкість добування даних щодо положення та дій сторін в широкій смузі розвідки;

високий темп оновлення інформації;

можливість виявлення рухомих та обмежено рухомих об'єктів на території противника.

Недолік способу – підвищення імовірності виявлення та втрати БпЛА.

На підставі аналізу умов та причин втрат БпЛА зі складу БпАК Bayraktar TB2 під час відсічі збройної агресії РФ було встановлено, що:

за своїми льотно-технічними характеристиками БпЛА Bayraktar TB2 є добре помітною та легко вразливою ціллю для засобів ППО противника. Він не має систем попередження про опромінювання засобами ППО та радіолокаційної розвідки противника;

імовірність виконання завдань БпЛА Bayraktar TB2 з вогневого ураження противника в умовах дії ешелонованої системи ППО падає в 4-4,5 рази;

причинами найбільших втрат БпЛА стали ураження зенітними ракетними комплексами противника. Ураження БпЛА відбувалось під час польоту до контрольованих противником територій або над ними;

причинами не виконання завдань у несприятливих метеоумовах з метою запобігання втрат БпЛА було неврахування бойових можливостей комплексу;

випадки ураження дружним вогнем БпЛА. Необхідність удосконалення системи планування застосування БпЛА Bayraktar TB2 та взаємодії з підрозділами ППО.

### **Обговорення**

Уроки застосування БпЛА свідчать про те, що противник застосовує ЗРК різних типів одночасно із РЕБ для прикриття районів зосередження військ (сил) та колон військ на марші, що в свою чергу зменшує час розвідки та збільшує імовірність ураження БпЛА.

Найбільша кількість засобів ППО противника було уражено саме за допомогою БпЛА Bayraktar TB2. Ефективне застосування БпЛА по ЗРК типу “Бук” зростає, при його знаходженні на позиціях очікування або на марші. При знаходженні ЗРК на вогневій позиції, позитивний ефект досягається при сумісній роботі БпЛА із вогневими засобами артилерії та РСЗВ.

У випадку відсутності засобів ППО противника застосування БпЛА для ведення повітряної розвідки ефективно на відстані до 30 км на висотах 5000-6000 м, для ураження цілей на відстані 3-10 км на висотах 2000-6000 м.

Отриманий досвід застосування БпАК також свідчить про:

обмежені можливості БпАК щодо виконання завдань ВУП;

недостатню кількість БпЛА у підрозділах ПС ЗС України;

достатньо високий коефіцієнт втрат БпЛА (до 4%);

за тактико-технічними характеристиками БпЛА не можуть забезпечити ураження об'єктів ППО противника типу “Панцир”, “Тор”, “Бук”, “С-300” без входу в їх зону ураження;

відсутність системи попередження про опромінення РЛС ЗРК, не дає можливості оператору оцінити обстановку і вивести БпЛА з під атаки;

неможливість БпЛА здійснювати безпечно польоти над бойовими порядками ЗС РФ та безпечно застосування АЗУ по цілям прикритих засобами ППО;

складні погодні умови (низька хмарність) суттєво знижують ефективність виконання БпЛА завдань повітряної розвідки.

Для підвищення ефективності застосування БпЛА пропонується:

розподіл цілей здійснювати із урахуванням зон ураження ЗРК противника;

для знищення ЗРК противника БпЛА застосовувати сумісно з наземними засобами

ураження (артилерія та РСЗВ);

після нанесення артилерійського удару по вогневій позиції ЗРК противника, останній здійснює зміну позиції, або висувається в район очікування. Бойове застосування БпЛА здійснювати під час зміни вогневої позиції або при знаходженні ЗРК противника у районі очікування;

польоти БпЛА при подоланні системи ППО противника здійснювати за маршрутом польоту, який забезпечуватиме мінімальну радіальну швидкість відносно вогневих позицій ЗРК та літака ДРЛВіУ;

польоти над хмарністю у 7-10 балів здійснювати поза зонами ураження ЗРК, якщо це неможливо, то профіль польоту БпЛА повинен забезпечувати мінімальну радіальну швидкість відносно позицій ЗРК;

ЗРК типу “Бук”, “Тор”, “Панцирь” на бойовій позиції виявляти оптико-електронними засобами БпЛА не входячи в зону ураження;

залучати міні БпЛА (більш дешеві) для прикриття БпЛА що виконують основні завдання (політ на паралельних курсах із різницею у висоті 200-500 метрів);

застосування БпЛА здійснювати після знищення (подавлення) ешелонованої системи ППО противника (засобів ППО, які ефективно знищують повітряні цілі на висоті понад 5000 метрів) в операційній зоні або районі повітряної розвідки;

застосування БпЛА здійснювати комплексно з наземними та повітряними засобами знищення цілей з попереднім подавленням засобів ППО противника.

Досвід бойових дій, свідчить, що для уточнення координат засобів ППО противника мають застосовуватись розвідувальні БпЛА із малими ефективною площею розсіювання та тепловою сигнатурою, що ускладнює (унеможливорює) їх виявлення радіолокаційними засобами та ураження вогневими засобами ППО противника. До таких БпЛА відносяться “Лелека-100”, “Фурія”, PD-1 та інші. Після уточнення координат, засоби ППО противника мають піддаватись вогневому ураженню засобами, найбільш придатними для цього в конкретній тактичній ситуації.

Також перспективним для подавлення (знищення) засобів ППО противника є застосування баражуючих боєприпасів типу Switchblade 300 і Switchblade 600.

Сумісне застосування пілотованої авіації для подавлення ППО противника протирадіолокаційними ракетами та БпЛА для нанесення вогневого ураження засобам ППО, дозволяє з високою ефективністю здійснювати повітряну розвідку та ураження виявлених або заданих цілей з мінімальною ймовірністю втрат БпЛА.

Нарощення поля управління та збільшення кількості БпЛА, які одночасно знаходяться у повітрі у визначеному районі, можливо здійснити за рахунок передислокації та розгортання

мобільних наземних станцій управління (мобільних терміналів передачі даних). Крім того вибір місця розгортання наземної станції управління повинен забезпечувати можливість надійної передачі БпЛА від наземної станції управління розміщеної на аеродромі.

У разі необхідності забезпечення максимального часу перебування БпЛА в районі виконання завдань, доцільно здійснити передислокацію необхідної кількості БпЛА з наземною станцією управління, комплектом засобів наземного обслуговування, на оперативні аеродроми з яких забезпечується підльотний час БпЛА до рубежів виконання завдань до двох годин.

Перспективним також є напрямок застосування БпЛА-ретрансляторів.

При плануванні завдань БпЛА необхідно врахувати:

метеорологічні умови при зльоті, посадці та по маршруту польоту (сильний вітер, опади, незадовільний стан злітно-посадкової смуги);

під час польоту у несприятливих умовах (хмарах) при наборі (зниженні) висоти проходженні маршруту можливе обмерзання, яке в подальшому приводить до неможливості ефективного застосування авіаційних засобів ураження та оптико-електронного обладнання БпЛАК;

при хмарах нижнього ярусу 8-10 балів над районом виконання завдань, у більшості випадків, ефективне застосування БпЛА неможливе;

кількість бойового навантаження, в залежності від типу авіаційного засобу ураження, зменшує тривалість часу перебування у повітрі до 60%;

імовірність виявлення та ідентифікації об'єктів під час польоту БпЛА;

застосування БпЛАК щодо забезпечення безпеки польотів узгоджувати з частинами ППО, РЕБ, а за потреби з підрозділами авіації.

Результати аналізу уроків застосування БпЛА визначають необхідні напрямки удосконалення (модернізації) БпЛА, а саме:

організувати виробництво (вітчизняних або за ліцензією) баражуючих боєприпасів (дронів-камікадзе) з дальністю застосування понад 50 кілометрів для ураження цілей в глибині бойових порядків противника, які знаходяться під прикриттям засобів ППО та самих засобів ППО противника, БпЛА імітаторів повітряних цілей для введення противника в оману, виснаження сил і засобів ППО противника (створення хибної повітряної обстановки);

збільшення варіантів (типів) модульного цільового навантаження БпЛА (бортові радіолокаційні станції з синтезованими антенними решітками, засоби радіоелектронної боротьби різних типів, засоби радіотехнічної розвідки, ретранслятори для збільшення радіусу дії БпЛАК в режимі реального часу);

встановлення на БпЛА засобів радіотехнічної розвідки для фіксації опромінення ворожими РЛС та надання оператору інформації про об'єктивну

обстановку в районі застосування БпЛА для виведення його з під атаки у разі загрози.

### **Висновки**

У статті, на підставі аналізу досвіду застосування Повітряних Сил Збройних Сил України та засобів повітряного нападу противника в російсько-українській війні розглянуті уроки застосування безпілотної авіації протиборчих сторін.

Війна, що йде в Україні, підтверджує, що одним із ключових видів сучасного озброєння є БпЛА. Тож якщо у XX ст. “Богом війни” була артилерія, то у XXI ст., безперечно, є безпілотно авіація. По суті, під час цієї війни відбувається революція у сфері застосування БпЛА.

У міру того, як у війні переважали артилерійські дуелі, важливість швидкого виявлення та ураження цілі підвищувалась. Звуження фронту та концентрація артилерії також дають менше можливостей для військової розвідки тому обидві сторони широко використовують БпЛА упродовж усього конфлікту. Типи БпЛА варіюються від комерційних та адаптованих квадрокоптерів в тактичних ешелонах до розвідувальних БпЛА з нерухомих крилом, таких як український “Скіф” та російський “Орлан-10”.

Ці БпЛА є особливо цінними, тому що вони можуть літати на середній висоті, є достатньо дешевими та надають якісні зображення об'єктів розвідки. Обидві сторони також використовують великі середньовисотні БпЛА великої тривалості польоту, такі як український ТВ2 та російський “Форпост”, для виявлення цілей, хоча цих платформ набагато менше, вони є більш вразливі та застосовуються тільки за сприятливих умов обстановки.

Таким чином, триваюча війна в Україні підтверджує, що БпЛА є одним із ключових видів сучасного озброєння. По суті, під час цієї війни відбувається революція у сфері застосування БпЛА.

По-перше, на відміну від попередніх війн та збройних конфліктів (бойові дії у Лівії, Сирії, у Нагірному Карабаху, російські БпЛА “Орион” та “Форпост” та українські Bayraktar ТВ2 вперше застосовуються в умовах серйозної протидії ППО.

По-друге, у цій війні вперше обома сторонами масово застосовуються комерційні міні-БпЛА типу DJI, як для розвідки, спостереження та коригування вогню, так і для завдання ударів по військам, при цьому збитки, завдані подібними БпЛА при цільових артилерійських або мінометних, багаторазово перевищує його вартість.

По-третє, найбільш ефективними виявилися мікро (до 5 кг), міні (до 30 кг) і, до певної міри, середні (до 100 кг) БпЛА, а також дрони-камікадзе.

По-четверте, в ході цієї війни на досвіді використання міні-БпЛА визначається тактика бойових підрозділів, а також формується нова

тактика застосування БпЛА, що призведе до зміни характеру цієї війни.

### **Список використаних джерел**

1. Mykhaylo Zabrodskyi, Jack Watling, Oleksandr V. Danylyuk and Nick Reynolds. Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russians Invasion of Ukraine February-July 2022. Royal United Services Institute for Defence and Security Studies. – 67 p. Available from: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/preliminary-lessons-conventional-warfighting-russians-invasion-ukraine-february-july-2022>.
2. Олексенко О.О., Авраменко О.В., Федоров А.В., Сніцаренко В.В., Чернавина О.Є. Застосування безпілотної літальних апаратів збройними силами російської федерації у війні проти України. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 4(49). С. 23-28.
3. Корсунов С.І., Волков А.Ф., Оборонов М.І., Орехов С.В., Гуртовенко В.В., Федченко С.І. Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 66-81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>.
4. Безпілотно авіація у військовій справі: колективна монографія / Мосов С. П., Погорельський М. В., Салій С. М., Селюков О. В., Феценко А. Л. Київ: Інтерсервіс, 2019. 324 с.
5. Корсунов С. І., Лезік О. В., Галкін Ю. О., Оборонов М. І., Коваленко С. П., Оборонов Ю. М. Аналіз застосування угруповання Повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2020. № 4(66). С. 7-18.
6. Радковець Ю. Как сбивать российских “трутней”. Десять уроков нашей войны. веб-сайт. URL: <https://www.ukrinform.ru/rubric-ato/2563921-kak-sbivat-rossijskih-trutnej-desat-urokov-nasej-vojni.html>.
7. Сучасне озброєння і військова техніка Збройних Сил Російської Федерації. Довідник учасника ООС / за ред. С. П. Корнійчука. Харків : ДІСА ПЛІУС, 2020. 1220 с.
8. Бараш Ю. Безпілотно орда: організація формувань БпЛА в армії Росії нині і в перспективі. Defense Express. 2021. веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/bezpilotna\\_orда\\_organizatsija\\_for\\_muvan\\_bpла\\_v\\_armiji\\_rossiji\\_nini\\_i\\_v\\_perspektivi-2863.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/bezpilotna_orда_organizatsija_for_muvan_bpла_v_armiji_rossiji_nini_i_v_perspektivi-2863.html).
9. Методичні рекомендації підрозділам щодо боротьби з безпілотної літальними апаратами іранського виробництва “Shahed-136” (“Герань-2”). ВП 7-(01).03.01 / Командування Сухопутних військ Збройних Сил України. – [Київ]: 2022. – 36 с.
10. Пост візуального спостереження (ПВС) та повітряного спостереження (ППС): інформаційно-навчальні матеріали. – К. : Наш Формат. 2022. – 128 с.
11. Тимчасове керівництво з бойової роботи підрозділів безпілотної авіаційних комплексів ракетних військ і артилерії Збройних Сил України. ВКДП 3-(06,07,46).03.01 / Ракетні війська і артилерія Сухопутних військ Збройних Сил України спільно з Національною академією сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – [Київ]: 2019. – 96 с.
12. Методичні рекомендації “Командиру підрозділу по застосуванню БпЛА тактичного рівня” (за досвідом ООС (раніше АТО)). ВП 7-46(12).01 / Управління безпілотної авіації штабу Командування Повітряних Сил Збройних Сил України. – [Вінниця]: 2018. – 68 с.



## **LESSONS FROM THE APPLICATION OF UNMANNED AIRCRAFTS IN THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR**

**Olena Korshets** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-7225-0848>

**Volodymyr Horbenko** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-7030-0995>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*In the article, based on the experience of the use of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine during the ongoing Russian-Ukrainian war, the features and methods of operation of unmanned aerial vehicles of the armed forces of the Russian Federation and the features of the use of unmanned aircraft of the Armed Forces of Ukraine are determined. The article analyzes the methods of application, tactical techniques, capabilities and tasks of unmanned aircraft systems in the conditions of full-scale aggression of the Russian Federation. Considered the problematic issues of combating the enemy's unmanned aerial vehicles and the use of unmanned aerial vehicles of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine in order to justify the possible directions of both countering them and the development of this type of means of combat in the air in the near future. Possible directions for the development of unmanned aerial vehicles, which today are one of the key types of modern weapons, are proposed.*

**Keywords:** *Air Force, application of unmanned aviation, unmanned aviation complexes, unmanned aerial vehicles.*

### **References**

1. Mykhaylo Zabrodskiy, Jack Watling, Oleksandr V. Danylyuk and Nick Reynolds. Preliminary Lessons in Conventional Warfighting from Russians Invasion of Ukraine February-July 2022. Royal United Services Institute for Defence and Security Studies. – 67 p. Available from: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/special-resources/preliminary-lessons-conventional-warfighting-russians-invasion-ukraine-february-july-2022>.
2. Oleksenko O.O., Avramenko O.V., Fedorov A.V., Snitsarenko V.V., Chernavina O.Ie. Zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ zbroinomy sylamy rosiiskoi federatsii u viini proty Ukrainy. Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. 2022. № 4(49). S. 23-28.
3. Korsunov S.I., Volkov A.F., Oboronov M.I., Oriekhov S.V., Hurtovenko V.V., Fedchenko S.I. Transformatsiia zavdan bezpilotnoi aviatsii: vid stvorennia do zastosuvannia u voiennykh konfliktakh suchasnosti. Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. 2021. № 3(44). S. 66-81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>.
4. Bezpilotna aviatsiia u viiskovii spravi: kolektyvna monohrafiia / Mosov S. P., Pohoretskyi M. V., Salii S. M., Sieliukov O. V., Feshchenko A. L. Kyiv: Interservis, 2019. 324 s.
5. Korsunov S. I., Lezik O. V., Halkin Yu. O., Oboronov M. I., Kovalenko S. P., Oboronov Yu. M. Analiz zastosuvannia uhrupovannia Povitriano-kosmichnykh syl Rosiiskoi Federatsii u Syriiskii Arabskii Respublitsi. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl. 2020. № 4(66). S. 7-18. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01>.
6. Radkovets Yu. Kak sbyvat rossiyskiykh “trutnei”. Desiat urokov nashei voiny. veb-sait. URL: <https://www.ukrinform.ru/rubric-ato/2563921-kak-sbivat-rossijskih-trutnej-desat-urokov-nasej-vojny.html>.
7. Suchasne ozbroiennia i viiskova tekhnika Zbroinykh Syl Rosiiskoi Federatsii. Dovidnyk uchasnyka OOS / za red. S. P Korniiichuka. Kharkiv : DISA PLiUS, 2020. 1220 s.
8. Barash Yu. Bezpilotna orda: orhanizatsiia formuvan BpLA v armii Rosii nini i v perspektyvi. Defense Express. 2021. veb-sait. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/bezpilotna\\_orda\\_organizatsija\\_fo\\_rmuvan\\_bp\\_la\\_v\\_armiji\\_rosiji\\_nini\\_i\\_v\\_perspektivi-2863.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/bezpilotna_orda_organizatsija_fo_rmuvan_bp_la_v_armiji_rosiji_nini_i_v_perspektivi-2863.html).
9. Metodychni rekomendatsii pidrozdilam shhodo borotby z bezpilotnymy litalnymy aparatamy iranskoho vyrobnytstva “Shahed-136” (“Heran-2”). VP 7-(01).03.01 / Komanduvannia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy. – [Kyiv]: 2022. – 36 s.
10. Post vizualnoho sposterezhennia (PVS) ta povitrianoho sposterezhennia (PPS): informatsiino-navchalni materialy. – K. : Nash Format. 2022. – 128 s.
11. Tymchasove kerivnytstvo z boiovoi roboty pidrozdiliv bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv raketnykh viisk i artylerii Zbroinykh Syl Ukrainy. VKDP 3-(06,07,46).03.01 / Raketni viiska i artyleriia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy spilno z Natsionalnoiu akademiieiu sukhoputnykh viisk imeni hetmana Petra Sahaidachnoho. – [Kyiv]: 2019. – 96 s.
12. Metodychni rekomendatsii “Komandyru pidrozdilu po zastosuvanni BpAK taktychnoho rivnia” (za dosvidom OOS (ranishe ATO)). VP 7-46(12).01 / Upravlinnia bezpilotnoi aviatsii shtabu Komanduvannia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. – [Vinnytsia]: 2018. – 68 s.

Шкурат Богдан Жоржович

<https://orcid.org/0000-0002-3654-0506>

Глоба Олександр Володимирович

<https://orcid.org/0000-0002-1423-8365>

Резнік Дмитро Вікторович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0003-3980-923X>

Левченко Михайло Антонович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-1872-2960>

Мельниченко Василь Семенович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-0598-9765>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## ПЕРСПЕКТИВИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ОПЕРАТИВНО- ТАКТИЧНИМ РАКЕТАМ

*В статті проаналізовано наявні та можливі загрози застосування існуючих у рф оперативно-тактичних ракет, шляхи поповнення боєзапасу, траєкторії їх польоту та особливості, які можуть бути використані в подальшому для підвищення ефективності боротьби з таким типом цілей. Окреслено перелік основних ракет, які застосовуються та можуть бути застосовані рф. Наведено стан використання боєзапасу оперативно-тактичних ракет рф, можливі шляхи його поповнення. Також проведено аналіз боротьби з балістичними ракетами у світі та в ході російсько-української війни, на підставі чого визначено основні напрями подальшого розвитку вітчизняної протиракетної оборони.*

**Ключові слова:** *протиповітряна оборона, протиракетна оборона, система ППО, оперативно-тактичні ракети, балістичні ракети, аеробалістичні ракети, зенітний ракетний комплекс, оперативно-тактичний ракетний комплекс.*

### Вступ

Досвід активної фази російсько-української війни свідчить, що однією з основних рис ведення бойових дій (операцій) є широке застосування сучасних засобів повітряного нападу, зокрема високоточних, повітряно-космічних сил російської федерації, а саме – балістичних та крилатих ракет різного базування, протирадіолокаційних ракет, безпілотних літальних апаратів різного призначення та пілотованої авіації. Найбільш складними цілями для знищення системою протиповітряної оборони (ППО) при цьому є балістичні та крилаті ракети. Поряд з тим, якщо крилаті ракети завдяки траєкторії та відносно невеликим швидкостям їх польоту знищуються з відносно високою ефективністю, то виявлення та знищення певних типів ракет, які летять по балістичній траєкторії є проблемним питанням для зенітних ракетних комплексів (ЗРК), що здійснюють протиповітряну оборону об'єктів та військ, оскільки окремі характеристики польоту цих ракет знаходяться на межі або перевищують тактико-технічні характеристики ЗРК.

До таких типів ракет доцільно віднести ракети комплексів “Точка”, “Іскандер”, Х-47М2 “Кинджал”, а також зенітні керовані ракети (ЗКР) 5В55 (48Н6) зі складу ЗРК С-300П, С-400 та крилаті ракети П-800 “Онікс”, Х-22. Характерною особливістю вказаних типів ракет є переважна належність їх траєкторій до типу балістичних (аеробалістичних).

Таким чином, протидія ракетами, що летять по балістичній траєкторії є одним з пріоритетних завдань протиповітряної та протиракетної оборони (ПРО).

На даний час для посилення можливостей угруповання ППО здійснюються заходи на організаційно-штатному рівні (введенням до складу військових частин додаткових підрозділів, що озброєні ЗРК країн-партнерів), тобто можна і необхідно говорити про створення єдиної зенітної ракетної системи (ЗРС) змішаного складу, де завдання об'єднання можливостей щодо ПРО-ППО вирішують як на функціональному рівні, так і в рамках єдиного інформаційно-управляючого простору.

Одним із шляхів вирішення цього завдання є створення єдиної двокомпонентної системи ПРО-ППО яка повинна включати до свого складу компоненту боротьби з балістичними ракетами середньої та меншої дальності та компоненту боротьби з аеродинамічними цілями у тому числі і з крилатими ракетами різних видів базування.

Отже, метою статті є вироблення шляхів удосконалення існуючої системи ППО та ПРО на онові аналізу особливостей застосування рф оперативно-тактичних ракет, які рухаються по балістичній (аеробалістичній) траєкторії.

### Матеріали та методи

Для визначення необхідних шляхів протидії ОТР та удосконалення існуючої системи ППО доцільно проаналізувати тактико-технічні

характеристики існуючих у РФ ракет, можливі шляхи поповнення боєзапасу, траєкторії та особливості їх польоту, які можуть бути використані в подальшому для підвищення ефективності боротьби з таким типом цілей. Також необхідно визначити перелік загроз, як існуючих, так і можливих, які можуть бути реалізовані противником із застосуванням ракетного озброєння, а також завдання, які він при цьому може вирішувати. Для визначення напрямів розвитку вітчизняного ПРО доцільно вивчити світовий досвід боротьби з балістичними ракетами, а також можливості застосування для цього існуючих в Україні ЗРК.

### **Результати**

Оперативно-тактичні ракети є засобами проектування сили на регіональному та стратегічному рівнях, оскільки вони мають можливість запуску з певної відстані. Вони отримали широке розповсюдження, і країни-оператори докладають зусиль до збільшення їх надійності, точності, малопомітності та можливості їх комплексного застосування з іншим озброєнням. ОТР можуть бути зброєю стримування потенційного регіонального противника. Вони можуть зменшувати обсяг бойових дій для командувачів, а також загрожувати живучості бойових засобів. Більшість балістичних ракет запускається з високомобільних пускових установок, місце розташування яких важко виявити. В основному ОТР є зброєю, що летить по балістичній траєкторії, тобто є балістичними ракетами (БР).

Відповідно до [1] балістична ракета – це будь-яка ракета, яка не покладається на аеродинамічні поверхні для створення підйомної сили та слідує балістичній траєкторії, коли тяга припиняється. Більшість балістичних ракет є одноступінчастими з орієнтовною круговою похибкою, що дорівнює одній десятій відсотка дальності. Сучасні технології навігації, такі як система глобального позиціонування, можуть збільшувати цю точність до менш ніж 50 метрів.

Також, слід зазначити, що відомі ракети реактивних систем залпового вогню (їх ще називають великокаліберними ракетами) за останні 20 років значно збільшили радіус дії, деякі досягають 300 кілометрів та більше, і тепер, завдяки вдосконаленим системам наведення, вони перетворюються на балістичні ракети малої дальності та ближньої дії.

Такі ракети характеризуються високою швидкострільністю і можуть нести різноманітні боеголовки, що робить їх ідеальними системами зброї для завдань вогневої підтримки. Високомобільні пускові установки можуть швидко пересуватися по полю бою. Їх малий радіус дії та здатність до залпового ураження ускладнюють ураження наявними системами ПРО.

Як і балістичні ракети, ракети великого калібру зустрічаються в багатьох країнах. Вони недорогі і були використані проти військ Сполучених Штатів

в Іраку та проти військ Ізраїлю та його населення в цілому. Північна Корея має 300-мм реактивні системи залпового вогню, які можуть легко вразити Сеул і багато підрозділів США, які дислоковані в Південній Кореї, в тому числі, на авіабазі Осан.

Останнім часом серед провідних авіаційних країн світу поширюється тенденція щодо створення комплексів авіаційного озброєння на основі надзвукових (гіперзвукових) аеробалістичних керованих ракет (АБКР). Деякі типи тактичних літаків оснащуються такими ракетами в рамках заходів з їх серійної модернізації. Прикладами таких комплексів є серійний гіперзвуковий ракетний комплекс Х 47М2 “Кинжал” (РФ), перспективні гіперзвукові ракетні комплекси DF-21 повітряного базування (КНР) та AGM-183 ARRW (США). Запуск ракет здійснюється з повітряного носія при швидкості польоту до 0,95М. Ракети мають осколково-фугасну або проникаючу бойову частину (БЧ) [2].

Основними тенденціями щодо створення ракетних комплексів повітряного базування на базі тактичних літаків та АБКР класу “повітря-поверхня” є:

оснащення бойових літаків АБКР, які початково були створені для застосування в сухопутних (морських) системах ракетного озброєння;

оснащення АБКР високоточними системами наведення в складі інерціально-спутникових навігаційних систем та оптико-електронних (радіолокаційних) головок самонаведення (ГСН) з реалізацією алгоритмів термінального наведення та розпізнавання образів, що перетворює такі ракети в високоточні авіаційні засоби ураження;

збільшення, зокрема для найсучасніших та перспективних ракетних комплексів, швидкості польоту АБКР з надзвукової (3...4М) до гіперзвукової (більше 5М);

ускладнення траєкторій польоту перспективних АБКР із забезпеченням можливості протизенітного маневрування на траєкторії;

застосування в складі АБКР хибних цілей, що відокремлюються, для ускладнення повітряної обстановки;

використання технологій зниження радіолокаційної помітності, а також засобів індивідуального радіоелектронного захисту.

Для визначення імовірності застосування та переліку засобів повітряного нападу (ЗПН), зокрема БР, які можуть бути задіяні противником, доцільно провести їх класифікацію за призначенням та дальністю польоту та іншими характеристиками з урахуванням вітчизняних та зарубіжних поглядів [3, 4] (табл.1).

В залежності від завдань, які ЗС РФ намагаються вирішити шляхом застосування ракет, їх можна умовно поділити на тактичні, оперативно-тактичні та стратегічні.

Тактичні ракети (ТР) призначені для вирішення завдань в межах зони бойових дій.

Оперативно-тактичні ракети призначені для вирішення як тактичних завдань, так і завдань в

інтересах операції не тільки в глибині оперативної побудови, але й в глибині країни.

Стратегічні ракети призначені для вирішення завдань стратегічного рівня (для захисту або просування національних інтересів на регіональному та міжнародному рівні, досягнення цілей війни).

З досвіду бойових дій відомо, що на території України рф застосовували оперативно-тактичні та тактичні балістичні ракети. За дальністю свого

польоту та часом польоту (75-500 секунд) вони є самими небезпечними та складними для знищення, оскільки навіть при своєчасному та успішному виявленні пуску у командування та вогневих підрозділів ППО майже не залишається часу на реагування на загрозу та знищення цілі.

До тактичних доцільно віднести ракети комплексів “Точка-У”, ЗКР до С 300П, а також ракети Х-22, П-800.

**Таблиця 1**

Класифікація балістичних ракет за дальністю польоту

Клас	Згідно вітчизняних концепцій		Згідно концепцій країн-членів НАТО	
	Позначення	Дальність польоту, км	Позначення	Дальність польоту, км
Ближньої дії (Close Range Ballistic Missile)	БРБД	до 150	CRBM	50-300
Малої дальності (Short Range Ballistic Missile)	БРМД	150-1000	SRBM	300-1000
Середньої дальності (Medium-Range Ballistic Missile)	БРСД	1000-5000	MRBM	1000-3000
Збільшеної середньої дальності (Intermediate-Range Ballistic Missile)	-	-	IRBM	3000-5500
Міжконтинентальні (Intercontinental Ballistic Missile)	МБР	>5000	ICBM	>5500

Основними ОТР, які застосовуються по об'єктах на території держави, є ракети комплексів 9К720 “Іскандер-М”, та 9К79 “Точка-У”, значно рідше застосовується Х-47М2 “Кинджал”, не виключене застосування в подальшому застарілих комплексів, зокрема 9К72 “Ельбрус”, комплексів радянського (російського) та іноземного виробництва, отриманих від “дружніх” рф країн.

Пуски ОТР переважно здійснювались:

П-800 – береговим ракетним комплексом (БРК) “Бастіон” з АР Крим;

9М723 – оперативно-тактичним ракетним комплексом (ОТРК) “Іскандер М” з прикордонних регіонів території рф, білорусі та АР Крим.

Також в ході нанесення ракетно-авіаційних ударів збройними силами російської федерації було застосовано гіперзвуковий авіаційно-ракетний комплекс Х-47М2 “Кинджал” на базі МіГ-31К, який здійснював пуски аеробалістичних крилатих ракет (АБКР) з висот 10000-11000 метрів на дальність близько 800 км (за наявною у відкритих джерелах інформацією з початку збройної агресії було застосовано більше 10 ракет зазначеного типу).

Особливістю застосування оперативно-тактичних балістичних ракет (ОТБР) в російсько-українській війні було те, що вони насамперед були націлені на критичні та важливі об'єкти державної та воєнної інфраструктури зі зміщенням акцентів в різні періоди війни.

Основні тактико-технічні характеристики наявних у рф ракет (табл. 2) та місцезнаходження їх стартових позицій (районів пуску АБКР) дозволяють зробити висновок, що вся територія

України знаходиться у зоні їх ураження (рис. 1).



**Рисунок 1.** Рубежі досяжності основних балістичних ракет рф

Одночасно з тим, особливості окремих ракет значно зменшують їх практичні рубіжі досяжності порівняно з теоретичними, а також їх точність. Тому вони можуть застосовуватись не як високоточна зброя, а як “засіб залякування” або “засіб терору”, тобто не в повній мірі придатні для виконання покладених на них оперативних завдань.

Досвід застосування ракет 9М723 ОТРК “Іскандер-М” доводить [5], що більшість ракет ОТРК “Іскандер-М” випущено з території білорусі (район м. Мозир), частина – з території АР Крим. Максимально зафіксована дальність пуску складає близько 560 км (м. Дніпро), що перевищує заявлені ТТХ.

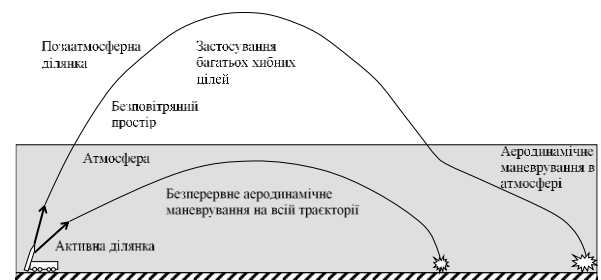
**Основні тактико-технічні характеристики ОТР**

Назва	9М-79 “Точка” 9М79-1 “Точка-У”	9М723 “Іскандер”	Х-47М2 “Кинджал”	П-800 “Онiкс”	Х-22“Бура”	5В55/48Н6 С-300/С-400
Альтернативні назви	Scarab-A/B, ОТР-21, 9М79/9М79М	Stone, Tender, 9М720, 9М723-1	“Dagger”	3М55, Яхонт (експортний варіант), Бастіон-П, Бастіон-С	виріб Д-2, AS-4 “Kitchen”	В-500, 48N6
Базування	колісне шасі	колісне шасі	літак	літак, корабель, підводні човни, колісне шасі	літак	колісне шасі
Довжина	6,4 м	7,3 м	8 м	6,1 – 8,6 м	11,65 м	7,25 м
Маса бойової частини	482 кг, одна бойова головка	480-700 кг, одна бойова головка	480 кг	300 кг (Онiкс) 200 кг (Яхонт)	1000 кг	130/180 кг
Країни-оператори	рф, білорусь, Армeнія, Казахстан, Північна Корея, Сирія, Україна, Ємен	рф, Алжир, Армeнія	рф	рф, Індонезія, Сирія, В’єтнам, рух Хезбола	рф	рф, білорусь, Азербайджан, Алжир, Вірменія, Болгарія, КНР, Казахстан, КНДР, Сирія, Венесуела, В’єтнам, Іран
Клас (за дальністю)	БРМД, SRBM	БРМД, SRBM	БРСД, MRBM	БРМД, SRBM	БРМД, SRBM	БРБД, CRBM
Дальність стрільби максимальна	70 км /120 км	500 км (280 км експортний варіант)	1500 – 2000 км	120 км (на малих висотах) 300 км (Яхонт) 600 км (Онiкс) 800 км (Онiкс-М)	140-600 км	120/250 км
Висота польоту	6-26 км	6-50 км	6-50 км	0,01-14 км	1-27 км	0,025-30 км
Максимальна швидкість	800 м/с	2100 м/с	4080 м/с	884 м/с	до 1550 м/с	до 2000 м/с
Система керування	ІНС	ІНС, ГЛОНАСС, оптична	ІНС, ГЛОНАСС, оптична	ІНС, РЛГСН, з ППРЧ	ІНС, АРЛГСН, коригування по рельєфу місцевості	ІНС
Точність	150/95 м	2-5 м	2-5 м	-	100-300 м	-
Рік прийняття на озброєння	1975/1989	2006	2017	2002	1966	1978/1992

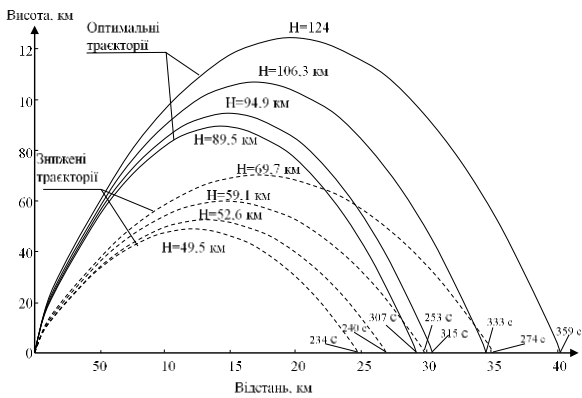
Аеробалістична траєкторія ракети 9М723 комплексу “Іскандер” складається з активної та пасивної ділянки в атмосфері, заатмосферній ділянці та знов в атмосфері, де відбувається аеродинамічне маневрування. На одній з цих ділянок (космічна ділянка) вважається ефективним використання ракетою 9М723 хибних цілей. В цьому випадку ракета не виконує маневрування, що видасть її на фоні хибних цілей. Стратегія полягає в ускладненні обстановки в космічній ділянці польоту. На рис. 2 наведені два типу траєкторій польоту аеробалістичної ракети комплексу “Іскандер”. При цьому час польоту ракети залежить не тільки від висоти траєкторії, а й від її типу [6] (рис. 3).

Слід зазначити, що за думкою деяких спеціалістів ракетам ОТРК “Іскандер-М” притаманний рух за так званою “квазібалістичною” траєкторією. Тобто, до верхньої точки польоту

ракета летить за траєкторією параболи з одним параметрами крутизни, а після цього параметри параболи змінюються таким чином, що кут входження ракети в точку нанесення удару становить близько 87°-90°. Проте, на даний момент, такі відомості постійно оновлюються і уточнюються.



**Рисунок 2.** Траєкторії польоту ракети 9М723



**Рисунок 3.** Час польоту ракети 9М723

Майже всі застосовані ракети Х-47М2 “Кинджал” (за різними даними зафіксовано від 13 до 15 випадків застосування) не потрапили в ціль та мале велике відхилення, зокрема внаслідок технічних несправностей. Зафіксовані випадки відхилення на декілька кілометрів по об’єктах на території України, а також падіння цих ракет на території рф.

Пуски ракет П-800 (ЗМ55) зі складу берегового ракетного комплексу К300П “Бастіон” здійснювались з району мису Тарханкут (АР Крим) по цілях в Одеській та Миколаївській областях. Максимальна дальність до об’єкту становила 250 км, середня точність влучання – 33%.

Пуски ракет Х-22 здійснювались з літаків ТУ-22М з повітряного простору рф (Ростовська, Воронежська, Брянська обл.) та білорусі (Брестська, Гомельська обл.), Чорного (північно-західна частина) та Азовського морів. Заявлений радіус ураження ракети Х-22 становить 600 км, на практиці ці ракети застосовуються по об’єктах, дальність до яких становить менше 300 км. Максимальна зафіксована дальність складає 350 км. Це пов’язано з призначенням ракет для боротьби з радіоконтрастними цілями (переважно, надводними, тобто з кораблями). Визначити радіоконтрастну ціль в межах забудови на суходолі доволі складно, у зв’язку з чим знижується точність ураження об’єкту. Другим негативним фактором, який знижує дальність застосування Х-22, є її оснащення рідкопаливним двигуном, моральна та фізична застарілість, брак фахівців з підготовки ракети до пуску. Внаслідок цього частина ракет падає ще до моменту наближення до цілі. Середня точність влучання становить 20%.

Для ураження об’єктів критичної інфраструктури на території західної, центральної та східної частини України ракетами Х-22 можливе використання повітряного простору рб (Брестська та Гомельська області) та Брянської області (рф).

Локаційне виявлення цих ракет можливе з моменту падіння із найвищої точки траєкторії польоту, при цьому момент відокремлення ракет від носія радіолокаційними засобами, як правило, не спостерігається.

Обстріли наземних цілей ЗРК С-300/С-400

здійснюються в основному на відносно невелику глибину від лінії зіткнення. Зокрема, обстрілюються міста Харків, Херсон, Миколаїв. Застосування ЗРК для обстрілу об’єктів, розташованих на більших відстанях, відносно нечасте. Аналіз відхилення місць попадання ракет від цілі свідчить про низьку точність влучання на відстані пуску більше 50 км. Пряме попадання ракети в ціль зафіксовано в 20% випадків, в 40% випадків відхилення від цілі складає 5-50 м, в решті випадків відхилення складає більше 100 м. Застосування противником ЗКР не завдає значних уражень військовим об’єктам і носять явно виражений “терористичний характер”. При цьому, ураження зенітних керованих ракет сучасними ЗРК є малоімовірним.

Загальна статистика застосування ОТР (табл. 3) свідчить про зниження у рф їх боезапасу. Так, за окремими типами ракет, запас становить 11-16% та має тенденцію до подальшого зниження. Це пов’язано не тільки з активним застосуванням ракетного озброєння, але й з неможливістю рф своєчасно поповнювати їх запаси по причині недостатніх обсягів власного виробництва або його відсутності. Проте, існують припущення, що публічна інформація щодо виснаження боезапасу рф не відповідає дійсності, оскільки реальна кількість існуючих ракет та їх стан імовірно засекречені [7].

**Таблиця 3**

Динаміка використання та виробництва  
оперативно-тактичних ракет у рф станом на  
03.01.2023 року

Найменування ОТР	В наявності на 24.02.22	Витрачено	Виготовлено	Залишок
9М723 “Іскандер”	900	829	48	119
Х-47М2 “Кинджал”	43	16	16	43
ЗМ-55 “Онїкс”	470	123	0	347
5В55, 48Н6 ЗРК С-300, С-400	8000	1020	-	6980
Х-22/Х-32	370	208	0	162

Основними шляхами поповнення боезапасу ракет рф є їх виробництво, зняття зі зберігання або закупівля (отримання) з інших країн. Так, станом на 30 листопада 2022 року на підприємствах оборонного комплексу рф виготовлено 50 оперативно-тактичних ракет та більше 250 крилатих ракет (табл. 3). Можливості щодо виготовлення ракет для ЗРК С-300 (С-400) у рф імовірно присутні, проте за даними відкритих джерел відсутня інформація щодо кількості виготовлених ракет для вказаних комплексів. Одночасно з тим дія санкцій значно уповільнює або унеможливує виробництво нових ракет, завдяки чому оборонно-промисловий комплекс рф не здатний продукувати засоби ураження у кількості, необхідній для підтримання потрібного для проведення операцій співвідношення сил сторін, а також для виконання всіх оперативних завдань. Це викликає необхідність зняття зі зберігання наявних у рф запасів ракет, які зняті з

озброєння. Так, ракети комплексів 9К79 “Точка”, незважаючи на заяви офіційних осіб про їх зняття з озброєння, продовжують активно застосовуватись в зонах бойових дій. Отже, для поповнення запасів

ракет також не виключено використання ракет зі складу ОТРК “Ельбрус” (“Scud”), а також Х-15 “Радуга” (табл. 4).

**Таблиця 4**

**Основні тактико-технічні характеристики ОТР**

Назва	Р-17 “Ельбрус”	Х-15“Радуга”	Tondar-69 CSS-8	Fateh-110	Zolfaghar
Країна походження	СРСР	СРСР	Китай	Іран	Іран
Альтернативні назви	8А61/8К11/8К14, SS-N-1В, SS-1 “Scud-B/C/D”	РКВ-15, “Відкат”	DF-7, Dongfeng 7, М-7, Project 8610, HQ-2	Fateh А-110 (М-600, Сирія), Fateh Mobin	-
Базування	колісне шасі	літак	колісне шасі	колісне шасі	колісне шасі
Довжина	10,3 – 12,29 м	4,78 м	10,8 м	8,86 м	10,3 м
Маса бойової частини	600-985 кг	150 кг	250 кг	450-650 кг	579 кг
Країни-оператори	Беларусь, Іран, Північна Корея, Лівія, Сирія, та ін.	рф	Китай, Іран	Китай, Іран, Сирія	Іран
Клас (за дальністю польоту)	БРМД, SRBM	БРМД, SRBM	БРБД, CRBM	БРМД, SRBM	БРМД, SRBM
Дальність стрільби максимальна	180-700 км	280 км	150 км	200-350 км	700 км
Висота польоту ракети	-	3-40 км	-	до 50 км	
Максимальна швидкість	1700 м/с	до 1700 м/с	-	до 1300 м/с	до 1050 м/с
Система керування	ІНС	інерціальна, АРЛГСН, пасивна РЛГСН	ІНС	ІНС, GPS, електронно-оптична	ІНС, GPS
Точність (кругове відхилення)	50-4000 м	-	300 м	3 м	5 м (до 100 м)
Рік прийняття на озброєння	1962	1980	1992	2002	2017

Поряд з цим, для підтримання необхідних обсягів поповнення боезапасу рф веде активну роботу щодо пошуку альтернативних джерел постачання озброєння та засобів ураження, зокрема засобами повітряного нападу та ракетами. Так, згідно даних Головного управління розвідки Міністерства оборони України [8], рф уклала угоду з іраном про постачання не тільки БпЛА, але й БР, імовірно Fateh-110 та Zolfaghar. Враховуючи те, що іран, знаходячись під західними санкціями, спромігся розробити власні зразки балістичних ракет (модернізувати існуючі) та налагодити їх виробництво, імовірно подальше співробітництво рф та ірана в галузі виготовлення та постачання засобів ураження.

Крім того, можливе отримання рф певної кількості ракет з інших країн, які не мають чітко окресленої політичної позиції, зокрема Китай, Індія, або відверто дружніх країн (Північна Корея, Білорусь). Основні характеристики потенційних ракет, які можуть бути отримані в інших країнах або зняті зі зберігання, наведено в таблиці 4.

Досвід боротьби з оперативно-тактичними ракетами

Відповідно до наявного досвіду боротьби із засобами повітряного нападу рф, підтверджених фактів знищення балістичних та аеробалістичних ракет не зафіксовано. Наявні у відкритих джерелах

інформації випадки знищення ОТБР не підтверджуються.

Військовими частинами (підрозділами) радіолокаційної та радіотехнічної розвідки Повітряних Сил Збройних Сил України пуски (маршрути польотів) балістичних ракет противника систематично не відстежувалась через відсутність технічних засобів їх надійного виявлення та супроводження [9].

Достатньо ефективною є боротьба з носіями (пусковими установками) БР, що було доведено окремими бойовими епізодами. Так, за повідомленнями засобів масової інформації в березні 2022 року на Чернігівщині було знищено дивізіон “Іскандер-М”, який міг включати до 4 пускових установок ОТБР 9М723. [10]. Поряд з тим, знищення ОТРК за територією держави є питанням, яке може мати непередбачувані наслідки та потребує політично виважених рішень.

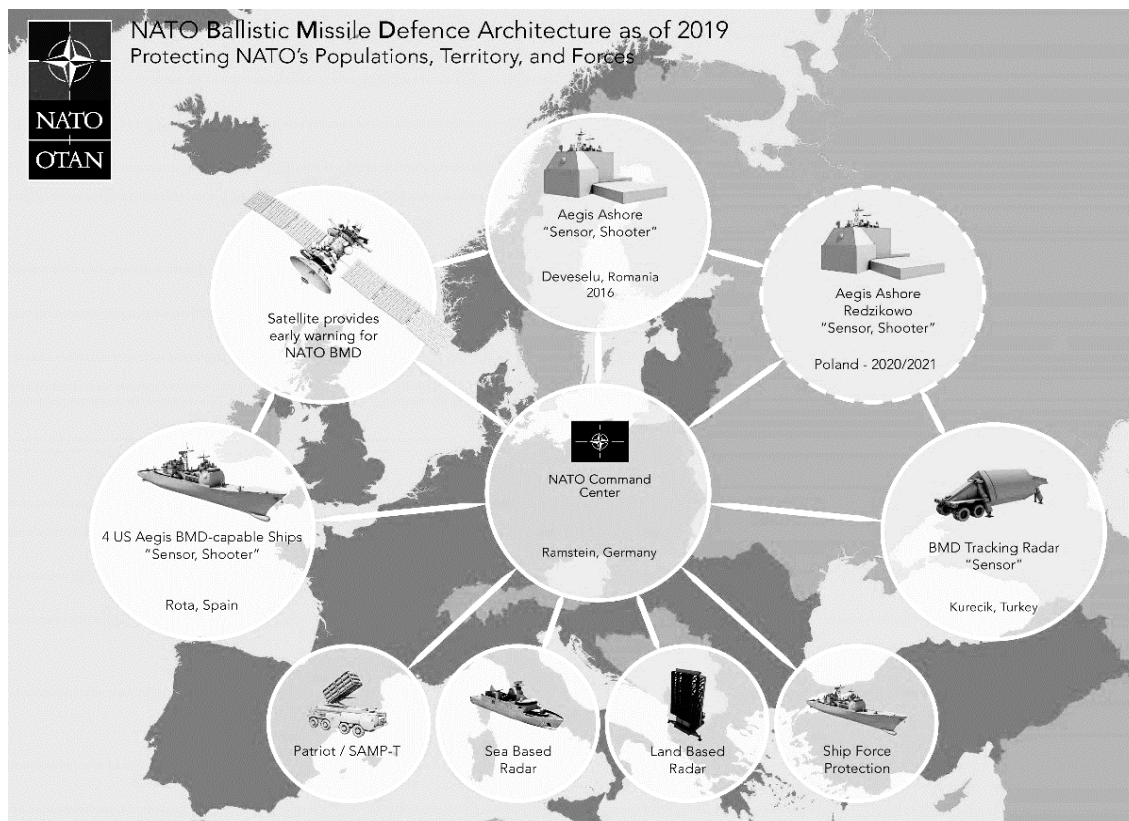
Світовий досвід доводить можливість ведення протиракетної оборони та ефективного знищення балістичних ракет. Проте, жодна існуюча система ППО та ПРО не показала 100% ефективність оборони від БР.

Зокрема, випадки знищення балістичних ракет фіксувались в Абу-Дабі із застосуванням ТНААД [11].

Імовірність ураження БР однією ракетою МІМ

104С ЗРК “PATRIOT” в ході війни в Перській Затоці в 1991 році склала ~0,5 (із 47 обстріляних БР “Al Hussein” уражено 45 на що витрачено 158 ЗКР). При цьому ефективність ПРО, за різними даними

була від 20 до 45%, що пов'язано з малим відсотком знищення саме боєголовок, які після ураження БР на висоті 5-20 км продовжували рух та потрапляли у межі об'єкту удару [12].



**Рисунок 4.** Складові системи протибалістичної оборони НАТО [14]

Друге бойове застосування комплексу “PATRIOT” по БЦ відбулося в операції “Свобода Іраку” 2003 р. при обороні об'єктів Кувейту та Іраку від ударів БР типу “Al Samoud-2” та “Ababil-100”. Для знищення БЦ було задіяно 62 комплекси “Patriot” з ракетами MIM-104D/E (PAC-2 GEM) та MIM-104F (PAC-3). Були перехоплені усі випущені БР, які становили загрозу для об'єктів оборони. Час попередження бойових обслуг “Patriot” про пуски БР становив 30-90 с.

Боротьба з ракетами великого калібру на постійній основі ведеться в Ізраїлі із застосуванням систем “Iron Dome”, “David’s Sling” [13]. При цьому ефективність знищення балістичних цілей складає близько 82%.

Питанням зростання загроз зі сторони балістичного озброєння присвячено чимало уваги зі сторони країн-членів НАТО. Так, станом на 2019 рік розглядалося створення комплексу заходів та засобів, основним завданням якого є протибалістична ракетна оборона (англ. Ballistic Missile Defense (BMD)) [14] за допомогою якої забезпечується захист від усіх наявних класів балістичних ракет. Ця система включає (рис. 4):

- об'єднані в єдину систему сенсори космічного базування, наземні та морські радіолокаційні станції;
- протиракти наземного та морського

базування для знищення БР з використанням технології прямого влучення (Hit-to-Kill) чи з використанням осколкових бойових частин (системи ПРО “Aegis” з протиракетами SM-3, SM 6, “THAAD” з ракетами THAAD і “Patriot” з ракетами PAC 3 та PAC-3 MSE);

- систему бойового управління і зв'язку C2BMC.

Оскільки можливість надання нашої державі комплексів THAAD на міжнародному рівні поки не розглядалася, а рішення щодо постачання комплексів “Patriot” станом на 01 лютого 2023 року вже прийняте, доцільно розглянути можливості та досвід боротьби з балістичними цілями (БЦ) саме із застосуванням засобів цього комплексу для визначення особливостей застосування та формування в подальшому вмотивованого запиту на кількість та конкретні тип ракет до цих ЗРК.

Для виконання завдань ППО/ПРО комплекс “PATRIOT” оснащується трьома типами ЗРК: PAC-2 GEM (Guidance Enhanced Missile), PAC-3 і PAC-3 MSE (Missile Segment Enhancement) [12]. Ракети PAC-3 та PAC-3 MSE надають можливість оборони об'єктів від БЦ з квазібалістичними траєкторіями, здатними здійснювати протиракетний маневр типу “спіраль” та кореговане пікірування на ціль. Проте це підтверджено лише результатами випробувань даних ракет по мішеням типу “Storm II” (імітація БР



малої дальності) та "Нера" (імітація БР середньої дальності) з головними частинами БР "Pershing II", яка за своїми можливостями з прориву ПРО є близькою до ракети 9M723 комплексу "Іскандер-М". Враховуючи високу ефективність оборони об'єктів Кувейту та Іраку у 2003 р. можна очікувати, що застосування ЗРК "Patriot" при їх достатній кількості та у відповідному бойовому порядку може забезпечити надійну оборону від тактичних БР. При цьому для ефективного виконання задач ПРО потрібна наявність додаткових джерел інформації (супутників, літаків типу AWACS, наземних РЛС).

### **Обговорення**

Для нашої держави доступні не всі згадані вище системи та засоби, проте аналіз світового досвіду дозволяє визначити основні напрями розвитку вітчизняної ПРО, обґрунтувати відповідні запити на постачання зразків озброєння країнами-партнерами або сформувати напрями розвитку вітчизняних протиракетних комплексів та систем.

Так, в короткостроковій перспективі доцільно розрахувати комплексні можливості наявних в Україні ЗРК, а також тих зразків озброєння, які можуть бути поставлені країнами-партнерами, щодо знищення балістичних цілей для подальшої розробки способів та прийомів боротьби з ними. Також основними шляхами удосконалення ПРО є своєчасне отримання та обробка інформації про місця та час пуску БР, що потребує відповідних напрацювань в галузі виявлення та супроводження носіїв балістичної зброї та автоматизації передачі та обробки інформації, а також прийняття рішення на знищення балістичних цілей або їх носіїв.

### **Висновки**

В ході аналізу застосування рф ОТР у російсько-українській війні, надано визначення, основні характеристики балістичної та аеробалістичної траєкторій польоту ракет, тенденції щодо розвитку такого типу озброєння, запропоновано класифікацію балістичних ракет за окремими характеристиками.

Надано основні тактико-технічні характеристики ракет, які знаходяться на озброєнні рф та місця пуску по території України. Окреслено перелік основних ракет, які застосовуються та можуть бути застосовані рф.

Наведено стан використання боезапасу ОТР рф, можливі шляхи його поповнення. Дія міжнародних санкцій значно уповільнює або унеможлиблює виробництво нових ракет, завдяки чому оборонно-промисловий комплекс (ОПК) рф не здатний продукувати засоби ураження у кількості, необхідній для підтримання потрібного для проведення операцій співвідношення сил (бойових потенціалів) сторін, а також для виконання всіх оперативних завдань. Тому розглядаються альтернативні шляхи поповнення боезапасу, зокрема за рахунок постачання озброєння радянського та російського виробництва в рф з дружніх країн або отримання альтернативних зразків ракетного озброєння.

Проведено аналіз боротьби з балістичними ракетами у світі та в ході російсько-української війни. Навіть за відсутності реальних можливостей

проводити військові операції та виконувати оперативні завдання в районі бойових дій, рф не полишає спроб застосування ракетного озброєння для знищення важливих об'єктів державної та військової інфраструктури всередині країни, а також залякування і терору мирного населення. При цьому найбільш успішні приклади знищення балістичних цілей спостерігалися при залученні відносно великої кількості відповідних ЗРК, створеній та налагодженій інтегрованій системі виявлення пусків БР, яка включала в себе не тільки радіолокаційні засоби виявлення, але й супутникові.

Наведене вище дозволяє зробити висновок, що питання протидії оперативно-тактичним, зокрема, балістичним ракетами залишається в пріоритеті не тільки в нашій державі, але й у світі.

### **Список використаних джерел**

1. JP 3-01. Countering Air and Missile Threats. Joint Publication. 02 May 2018.
2. Целішев І.Ю., Тимофтика Г.Ф., Пономарьов О.І. Аналіз світових тенденцій та перспектив щодо оснащення тактичних літаків аеробалістичними керованими ракетами класу "повітря-поверхня". Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. Випуск 16 (23), 2020 – К.: ДНДІА – 223 с., с. 88-92.
3. Торопчин А.Я., Романенко І.О., Даник Ю.Г та ін. Довідник з протиповітряної оборони. – К.: МО України, Х.:ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Ballistic Missile Basics. Веб-сайт. URL: <https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/missile-basics/ballistic-missile-basics/> (Дата звернення 27.02.2023).
5. Звідки ворог б'є по Україні ракетами і скільки їх у нього ще залишилось. Веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/zvidki\\_vorog\\_bje\\_po\\_ukrajini\\_raketami\\_i\\_skilki\\_jih\\_u\\_nogo\\_sche\\_zalishilos\\_sergij\\_zgurets\\_dlj\\_a\\_nv-7292.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/zvidki_vorog_bje_po_ukrajini_raketami_i_skilki_jih_u_nogo_sche_zalishilos_sergij_zgurets_dlj_a_nv-7292.html) (Дата звернення 03.03.2023).
6. ОТРК "Іскандер": всі "надздібності" з категорії шоу-зброї. Веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/otrk\\_iskander\\_vsi\\_nadzidibnosti\\_z\\_kategoriji\\_shou\\_zbroji-6581.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/otrk_iskander_vsi_nadzidibnosti_z_kategoriji_shou_zbroji-6581.html) (Дата звернення 03.03.2023).
7. Вистачить на 1884 дні: Скільки ракет є в запасі рф (ІНФОГРАФІКА) Радіо Трек: Новини. Веб-сайт. URL: [https://radiotrek.rv.ua/news/vistachit-na-1884-dni-skilki-raketie-u-zapasi-rf-infografika\\_299227.html](https://radiotrek.rv.ua/news/vistachit-na-1884-dni-skilki-raketie-u-zapasi-rf-infografika_299227.html) (Дата звернення 27.02.2023).
8. Iran Might Be Waiting Until October to Supply Russia Deadlier Drones And Missiles For Ukraine. Веб-сайт. URL: <https://www.forbes.com/sites/pauliddon/2023/01/08/iran-might-be-waiting-until-october-to-supply-russia-deadlier-drones-and-missiles-for-ukraine/?sh=19a8837a79f7> (Дата звернення 27.02.2023).
9. Шкурат Б.Ж., Резнік Д.В., Паталаха В.Г. Актуальні питання інтеграції існуючих та перспективних зразків озброєння в систему протиповітряної оборони. Повітряна міць України. 2022 випуск 1(2), с. 27-32
10. ЗСУ знищили на Чернігівщині одразу дивізіон ОТРК "Іскандер" рашистів. Defence Express. Веб-сайт. URL: [https://defence-ua.com/news/zsu\\_znischili\\_na\\_chnernigivschini\\_odrazu\\_divizi\\_on\\_otrk\\_iskander\\_rashistiv-6357.html](https://defence-ua.com/news/zsu_znischili_na_chnernigivschini_odrazu_divizi_on_otrk_iskander_rashistiv-6357.html) (Дата звернення 27.02.2023).
11. U.S. and UAE forces intercept ballistic missiles over Abu Dhabi; State Department issues alert. CNBC. Веб-сайт. URL: <https://www.cnbc.com/2022/01/24/ballistic-missiles-intercepted-over-abu-dhabi-us-state-department-issues->

alert.html (Дата звернення 28.02.2023).

12. Дудуш А.С., Меленті Д.О., Резніченко О.А. Аналіз можливостей комплексу ППО/ПРО "Patriot" щодо оборони об'єктів від сучасних балістичних ракет. Системи обробки інформації. 2022. випуск 2 (169), с. 35-41.

13. Israel's Iron Dome has blocked thousands of incoming

rockets. Here's how it works. CBS News. Веб-сайт. URL: <https://www.cbsnews.com/news/israel-iron-dome-rockets-gaza-hamas/> (Дата звернення 01.03.2023).

14. NATO Ballistic Missile Defence. Веб-сайт. URL: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos\\_112331.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos_112331.htm) (Дата звернення 01.03.2023).

## **PROSPECTS OF IMPROVING THE AIR DEFENSE SYSTEM AGAINST OPERATIONAL AND TACTICAL MISSILES**

**Bohdan Shkurat**

<https://orcid.org/0000-0002-3654-0506>

**Oleksandr Hloba**

<https://orcid.org/0000-0002-1423-8365>

**Dmytro Rieznik** (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0003-3980-923X>

**Mykhailo Levchenko** (Candidate of Military Sciences, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1872-2960>

**Vasyl Melnychenko** (Candidate of Military Sciences, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-0598-9765>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article analyzes existing and possible threats of using operational and tactical missiles by the Russian Federation, ways to replenish ammunition, their flight trajectories, and features that can be used in the future to increase the effectiveness of hitting this type of targets. The list of the main missiles that are used and can be used by the Russian Federation is outlined. The state of use of ammunition of operational and tactical missiles of the Russian Federation, possible ways of its replenishment are given. An analysis of the fight against ballistic missiles in the world and during the Russian-Ukrainian war is carried out, basing of which the main directions for the further development of domestic missile defense are determined.*

**Keywords:** air defense, missile defense, air defense system, operational and tactical missiles, ballistic missiles, aero-ballistic missiles, anti-aircraft missile system, operational and tactical missile system.

### **References**

1. JP 3-01. Countering Air and Missile Threats. Joint Publication. 02 May 2018.

2. Tselishchev I., Tymofytko H., Ponomarev O. Analiz svitovykh tendentsii ta perspektyv shchodo osnashchennia taktychnykh litakiv aerobalistychnymy kerovanymy raketamy klasu "povitriano-poverkhnia". Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo naukovo-doslidnoho instytutu aviatsii. Vypusk 16 (23), 2020 – K.: DNDIA – 223 p., p. 88-92.

3. Toropchyn A., Romanenko I., Danyk Y. ta in. Dovidnyk z protypovitrianoi oborony. – K.: MO Ukrainy, Kh.:KhVU, 2003. – 368 p.

4. Ballistic Missile Basics. URL: [https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/missile-basics/ballistic-missile-basics/Posibnyk\\_dlia\\_pochatkivstv\\_pro\\_diahramu\\_vikh//Tech\\_Ukraine.net](https://missiledefenseadvocacy.org/missile-threat-and-proliferation/missile-basics/ballistic-missile-basics/Posibnyk_dlia_pochatkivstv_pro_diahramu_vikh//Tech_Ukraine.net). Website. URL: <https://techukraine.net/posibnyk-dlia-pochatkivstv-pro-diahram/>.

5. Zvidky voroh bie po Ukraini raketamy i skilky yikh u noho shche zalysylos. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/zvidki\\_voroh\\_bje\\_po\\_ukrajini\\_raketami\\_i\\_skilki\\_jih\\_u\\_nogo\\_sche\\_zalishilos\\_sergij\\_zgurets\\_dlja\\_nv-7292.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/zvidki_voroh_bje_po_ukrajini_raketami_i_skilki_jih_u_nogo_sche_zalishilos_sergij_zgurets_dlja_nv-7292.html)

6. OTRK "Iskander": vsi "nadzdibnosti" z katehorii shou-zbroi. URL: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/otrk\\_iskander\\_vsi\\_nadzdibnosti\\_z\\_kategoriji\\_shou\\_zbroji-6581.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/otrk_iskander_vsi_nadzdibnosti_z_kategoriji_shou_zbroji-6581.html).

7. Vystachyt na 1884 dni: Skilky raket ye v zapasi rf (INFOHRAFIKA) Radio Trek: Novyny. URL: <https://radiotrek.rv.ua/news/vistachit-na-1884-dni-skilky-raket->

[ie-u-zapasi-rf-infografika\\_299227.html](ie-u-zapasi-rf-infografika_299227.html).

8. Iran Might Be Waiting Until October to Supply Russia Drones and Missiles for Ukraine. Веб-сайт. URL: <https://www.forbes.com/sites/pauliddon/2023/01/08/iran-might-be-waiting-until-october-to-supply-russia-deadlier-drones-and-missiles-for-ukraine/?sh=19a8837a79f7>.

9. Shkurat B., Rieznik D., Patalakha V. Aktualni pytannia intehratsii isnuuichykh ta perspektyvnykh zrazkiv ozbroiennia v systemu protypovitrianoi oborony. Povitriana mits Ukrainy. 2022 vypusk 1(2), p. 27-32.

10. ZSU znyshchyly na Chernihivshchyni odrazu dyvizion OTRK "Yskander" rashystiv. Defence Express. URL: [https://defence-ua.com/news/zsu\\_znischili\\_na\\_chernigivshchyni\\_odrazu\\_divizion\\_otrk\\_iskander\\_rashystiv-6357.html](https://defence-ua.com/news/zsu_znischili_na_chernigivshchyni_odrazu_divizion_otrk_iskander_rashystiv-6357.html)

11. U.S. and UAE forces intercept ballistic missiles over Abu Dhabi; State Department issues alert. CNBC. URL: <https://www.cnbc.com/2022/01/24/ballistic-missiles-intercepted-over-abu-dhabi-us-state-department-issues-alert.html>.

12. Dudush A.S., Melenti D.O., Reznichenko O.A. Analiz mozhlyvostei kompleksu PPO/PRO "Patriot" shchodo oborony ob'ektiv vid suchasnykh balistychnykh raket. Systemy obrobky informatsii. 2022. vypusk 2 (169), p. 35-41.

13. Israel's Iron Dome has blocked thousands of incoming rockets. Here's how it works. CBS News. URL: <https://www.cbsnews.com/news/israel-iron-dome-rockets-gaza-hamas/>.

14. NATO Ballistic Missile Defence. URL: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos\\_112331.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/photos_112331.htm).

**Ясинецький Василь Павлович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0009-0005-6274-0738>

**Хажанець Юрій Анатолійович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-8926-2474>

**Павлюченко Володимир Олексійович**

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## **АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ТА ЗАГРОЗ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА КІБЕРЗАХИЩЕНІСТЬ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНОГО КОМАНДУВАННЯ В ОБОРОННІЙ ОПЕРАЦІЇ**

*У статті проведено аналіз факторів та загроз, що впливають на кіберзахищеність системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування в оборонній операції. Також в статті було описано види кібератак та визначено чинники, що можуть збільшувати ризики кібератак на систему зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління (далі - СЗ, РТЗ та АУ) повітряного командування в оборонній операції. В процесі дослідження було проаналізовано потенційні небезпеки, які можуть стати причиною кібератак або інших подій, які негативно вплинуть на функціонування СЗ, РТЗ та АУ і встановлено, що основними факторами, що впливають на кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ є людський фактор, вразливості програмного забезпечення та недостатнє забезпечення захисту та контролю за СЗ, РТЗ та АУ. Результати проведеного аналізу можуть бути використані для подальших досліджень з розробки пропозицій та заходів щодо кіберзахисту СЗ, РТЗ та АУ повітряного командування в оборонній операції.*

***Ключові слова:** систему зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, кіберзахист, кібератаки, кіберпростір, оборонна операція.*

### **Вступ**

У сучасних умовах повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України військова сфера стала об'єктом постійних кібератак зі сторони російської федерації, що створює загрозу для національної безпеки та обороноздатності нашої держави.

Система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління є невід'ємною складовою системи управління повітряного командування і будь-який зовнішній чи внутрішній дестабілізуючий вплив на неї може загрожувати втратою управління зі значними негативними наслідками. Інформаційні технології глибоко проникли в СЗ, РТЗ та АУ та разом зі зручністю, функціональністю та швидкістю передавання даних ця система отримала і ризики кібернетичних загроз. Кібератаки можуть негативно впливати на ефективність функціонування СЗ, РТЗ та АУ і створювати вкрай небезпечні ситуації, наприклад, кібератака на сервери де обробляється розвідувальна інформація про повітряну обстановку може призвести до втрати чи значного погіршення контролю за повітряним простором та мати катастрофічні наслідки для всієї оборонної операції. Тому дослідження кіберзахисту є вкрай важливим питанням сьогодення для систем зв'язку та інформаційних систем Збройних Сил України загалом і для СЗ, РТЗ та АУ повітряного командування зокрема.

Мета цієї статті полягає в проведенні аналізу факторів та загроз, що впливають на кібербезпеку СЗ, РТЗ та АУ повітряного командування, що дозволить в подальшому розробити пропозиції та рекомендації щодо забезпечення її кіберзахисту.

### **Матеріали та методи**

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

### **Результати**

Фактично напередодні широкомасштабного вторгнення російської федерації на територію України було здійснено кібератаку на систему супутникового зв'язку, внаслідок якої значна кількість рухомих підрозділів, де супутниковий зв'язок був основним видом зв'язку і давав змогу повноцінно управляти цими підрозділами було порушено, використовувати КХ та УКХ радіозв'язок було вкрай небезпечно, а в деяких випадках неможливо у зв'язку з роботою засобів РЕБ противника. Таким чином функціонування системи зв'язку, РТЗ та АУ було частково порушено, що мало певні негативні наслідки.

Провівши аналіз кібератак російської федерації на військові об'єкти та об'єкти критичної інфраструктури протягом останніх 5 років можна їх класифікувати за різними чинниками:

За типом атакуючої програми:

Віруси: це програми, які можуть розповсюджуватися через мережу і вбудовуватися в інші програми. Віруси можуть запускатися після

певної дати або події та завдавати шкоди системам або важливим даним.

Черв'яки: це програми, які розповсюджуються через мережу, не вбудовуючись в інші програми. Черв'яки можуть використовувати вразливості систем для розповсюдження та завдавати шкоди системам або важливим даним.

Троянські коні: це програми, які видають себе за корисні програми, але насправді містять шкідливий код. Троянські коні можуть дозволяти злочинцям отримувати доступ до системи та важливих даних.

Шпигунські програми: це програми, які призначені для збору конфіденційної інформації з комп'ютерів або мобільних пристроїв та передачі її злочинцям.

Рекламні програми: це програми, які показують небажану рекламу та можуть завантажувати додатковий шкідливий код на комп'ютер або мобільний пристрій.

Додатки-вимагачі: це програми, які блокують доступ до важливих даних на комп'ютері або мобільному пристрої та вимагають викуп для їх відновлення.

За видом атаки:

Phishing: це атака, при якій злочинець використовує підроблений веб-сайт, щоб зібрати особисту інформацію, таку як паролі та інші конфіденційні дані.

DDoS-атаки: атаки на сервер або мережу з метою перевантаження їх ресурсів, щоб заборонити користувачам використовувати їх.

Man-in-the-middle атаки: використовуються для перехоплення комунікацій між двома сторонами з метою отримання конфіденційної інформації.

Ransomware: атаки, що шифрують файли на комп'ютері жертви, що може призвести до вимоги викупу за їх розшифрування.

Мальвара (Malware): це загальний термін, який охоплює широкий спектр шкідливих програм, таких як віруси, черв'яки, троянські коні, шпигунське програмне забезпечення та інші. Мальвара встановлюється на комп'ютері без згоди користувача і може завдати шкоди, викрадаючи дані, перешкоджаючи нормальній роботі системи або використовуючи ресурси пристрою для зловмисних цілей.

Соціальна інженерія: це атаки, які спираються на маніпулювання психологією та довірою людей з метою отримання конфіденційної інформації або здійснення несанкціонованого доступу. Наприклад, зловмисники можуть використовувати соціальні мережі, електронну пошту або телефонні дзвінки для підступу до особистої інформації або паролів.

Zero-day атаки: це атаки, які використовують вразливості в програмному забезпеченні, які ще не відомі розробникам або не виправлені. Зловмисники використовують ці вразливості, щоб отримати несанкціонований доступ до системи або мережі.

Атаки "знацька" (Drive-by Downloads): це атаки, коли користувачі самостійно завантажують шкідливий код або мальвару, відвідуючи підозрілі

веб-сайти або взаємодіючи зі шкідливими рекламними банерами. Це може призвести до встановлення шкідливого програмного забезпечення на їхні комп'ютери або пристрої.

Атаки на вбудовані системи (IoT): зловмисники можуть націлюватися на вразливості в підключених до Інтернету речах (IoT) пристроях, таких як розумні телевізори, домашні роутери, веб-камери тощо. Це може призвести до викрадення особистих даних, зловмисної мережі або використання пристроїв у ботнетах для злочинних цілей.

Атаки на віддалені робочі місця (Remote Desktop Attacks): зловмисники можуть спробувати зламати системи віддаленого доступу, які використовуються для підключення до робочих місць із-за меж корпоративної мережі. Це може дозволити їм отримати доступ до цінної корпоративної інформації або поширити шкідливе програмне забезпечення всередині мережі.

Проте кіберзлочинці постійно розробляють нові методи атак і використовують різні комбінації технік для досягнення своїх цілей.

За об'єктом атаки:

Комп'ютери та сервери: атаки на комп'ютери та сервери мають на меті отримання доступу до конфіденційної інформації, перехоплення контролю над системою або завдання шкоди.

Мережі: атаки на мережі можуть включати в себе проникнення шкідливого програмного забезпечення, перехоплення мережевого трафіку та викрадення конфіденційної інформації.

Мобільні пристрої: атаки на мобільні пристрої, такі як смартфони та планшети, можуть включати в себе викрадення особистої інформації, установку шкідливих додатків або перехоплення комунікацій.

Критична інфраструктура: атаки на критичну інфраструктуру, таку як електроенергетичні мережі та транспортні системи, можуть викликати серйозну шкоду та вплинути на безпеку та здоров'я громадян.

Інтернет-сервіси: атаки на інтернет-сервіси, такі як соціальні мережі та онлайн-магазини, можуть включати в себе викрадення даних користувачів, крадіжку грошей та переривання роботи сервісів.

Люди: атаки на людей можуть включати в себе соціальний інжиніринг та фішинг, які намагаються переконати людей розкрити свої конфіденційні дані або виконати дії, які можуть завдати шкоди.

Ці атаки можуть бути як внутрішніми, які виконуються з внутрішньої сторони системи, зазвичай посадовими особами або іншими особами, які мають дозвіл на доступ до комп'ютерних систем та мереж. Внутрішні кібератаки можуть бути призначені для отримання конфіденційної інформації, внесення змін до даних або завдання шкоди системі, тобто проводиться залежно від рівня доступу користувача в системі, так і зовнішніми, які виконуються ззовні системи. Їх здійснюють зловмисники або хакери, які намагаються проникнути до системи, щоб отримати конфіденційну інформацію або завдати

шкоди. Зовнішні кібератаки можуть виконуватися з використанням різноманітних технік, включаючи фішинг, соціальний інжиніринг, використання вразливостей програмного забезпечення та інших методів. Важливо розуміти, що кожен тип атаки може бути спрямований на різні об'єкти і мати різну мету. Для кожного типу атаки необхідно використовувати відповідні методи захисту і протидії.

Тож із аналізу загроз можливо зробити висновок, що вплив на СЗ, РТЗ та АУ повітряного командування може бути як внутрішній, так і зовнішній. Внутрішній вплив, як правило, виникає із-за недотримання інструкцій з кібербезпеки самими користувачами і адміністраторами системи та з причини недостатнього контролю та моніторингу за станом СЗ, РТЗ та АУ. Невиконання заходів з кібербезпеки користувачами і адміністраторами СЗ, РТЗ та АУ в ході оборонної операції може призвести до витоку інформації та до розкриття задумів командування. Тому особовий склад, що використовує та адмініструє СЗ, РТЗ та АУ повинен підлягати постійному контролю по дотриманню заходів з кібербезпеки. Не виключено можливість і навмисних диверсій із боку користувачів та адміністраторів – це особовий склад, який таємно працює на ворога або був ним завербований. Такі дії є найбільш небезпечними тому необхідно здійснювати ретельну перевірку особового складу та забезпечувати постійний контроль за їх діяльністю за допомогою обов'язкової авторизації з подальшою можливістю відслідковування діяльності як користувача, так і адміністратора.

Нижче наведено результати аналізу внутрішніх факторів, що впливають на кібербезпеку СЗ, РТЗ та АУ повітряного командування:

недбалість працівників: недбалість у використанні паролів, відкриття небезпечних електронних листів або завантаження небезпечного програмного забезпечення;

недостатня кібербезпекова культура: якщо в організації не приділяють достатньої уваги до кібербезпеки, особовий склад може не розуміти необхідність виконання заходів безпеки та надійності;

недостатня організація заходів з кібербезпеки: організації часто мають прогалини в їх кібербезпеці, наприклад, недостатньої кількості та якості бекапів, застарілої програмної архітектури та захисту;

внутрішні кібератаки: це можуть бути дії здійснені особовим складом та працівниками організацій, що надають свої послуги та мають доступ до конфіденційної інформації, систем управління комутації та каналоутворення;

недостатня охорона даних: питання щодо зберігання, передавання та обробки даних, які можуть призвести до незаконного доступу до цих даних;

системні помилки та вразливості: слабкі місця в програмному забезпеченні та інфраструктурі, які

можуть бути використані для здійснення кібератак або крадіжки даних;

недостатній контроль доступу: питання з управлінням доступом до конфіденційної інформації та інфраструктури, які можуть призвести до незаконного доступу та витоку даних;

недостатній моніторинг та виявлення кібератак: якщо організація не має ефективної системи моніторингу та виявлення кібератак, то це може призвести до затримки виявлення кіберпорушень, а також до збільшення ризику витоку даних та інших наслідків;

недостатній захист мобільних пристроїв: використання мобільних пристроїв у роботі може стати джерелом кіберзагроз, якщо пристрої не захищені належним чином;

недостатній захист від соціальної інженерії: соціальна інженерія є однією з найбільш ефективних технік кібератак. Недостатнє навчання працівників та відсутність процедур для захисту від цієї загрози можуть призвести до успішної атаки;

недостатній захист мережі: захист мережі є ключовим елементом кібербезпеки, і недостатній захист мережі може призвести до втрати даних, витоку конфіденційної інформації та інших наслідків;

недостатній захист від DDoS-атак: DDoS-атаки є однією з найбільш поширених форм кібератак, і недостатній захист від них може призвести до відмови в роботі важливих систем та сервісів.

Зовнішні чинники спровоковані, як правило, кібервійськами противника, які можуть створити загрози для СЗ, РТЗ та АУ через пошук вразливих місць. Система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління є доволі розгалуженою, основою її є транспортна мережа загального та спеціального користування. Також слід звернути увагу на те, що сучасна СЗ, РТЗ та АУ через VPN тунелі поєднана з мережею Інтернет, що дозволяє ворогу здійснювати кібератаки із будь-якого місця на планеті. Тож із зовні СЗ, РТЗ та АУ може бути атакована наступним чином:

хакерські атаки: атаки на комп'ютерні системи з метою отримання неповного чи повного доступу до конфіденційної інформації;

віруси, черв'яки та троянські програми: шкідливі програми, які можуть заражати комп'ютерні системи та поширюватися мережами, що призводить до втрати даних та іншого збереженого матеріалу;

фішинг та соціальний інженіринг: ці методи залучення людей до передачі своїх конфіденційних даних та інформації можуть бути використані для здійснення кіберзлочинів;

кібершпигунство: це можуть бути спроби отримати конфіденційну інформацію про певну компанію чи державу, яка може використовуватися в наступному для шкідливих дій;

державні кібератаки: атаки можуть бути здійснені з боку інших країн, з метою збору конфіденційної інформації або завдання шкоди економіці або інфраструктурі;

ботнети: мережі комп'ютерів, що управляються хакерами, які можуть використовувати їх для здійснення атак та розсилки спаму;

кібертероризм: використання кібератак для завдання шкоди великим компаніям, державним установам чи іншим важливим об'єктам.

### **Обговорення**

Виходячи з аналізу класифікації кіберінцидентів та факторів, які впливають на кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ можна виділити два фактори, які найбільше впливають на кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ, а саме:

#### **1. Недостатня кібергігієна.**

Найбільша кількість кіберінцидентів виникає саме через вплив цього фактору, який може бути викликаний багатьма причинами, такими як застаріла програмна або апаратна складова, відсутність регулярного оновлення програмного забезпечення або недостатній рівень знань та навичок у сфері кібербезпеки.

Недостатній рівень кібергігієни може серйозно підірвати кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ, призвести до зламу мережі, крадіжки конфіденційної інформації, атак вірусів та інших шкідливих програм. Крім того, якщо в системі зв'язку, РТЗ та АУ виявляється вразливість, то кіберзлочинці можуть експлуатувати цю вразливість для здійснення атак на цільову систему.

Щоб підвищити кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ, необхідно вживати заходів з поліпшення кібергігієни. Це може включати такі заходи, як регулярне оновлення програмного та апаратного забезпечення, навчання користувачів правильним методам збереження паролів та інших конфіденційних даних, використання шифрування даних та застосування заходів забезпечення безпеки мережі.

#### **2. Недостатнє забезпечення захисту мережі.**

Причинами є відсутність відповідних заходів безпеки, недостатня конфігурація мережі, відсутність захисту від DDoS атак, інші.

Система зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління, яка не має достатнього рівня захисту від кібератак та інших кіберзагроз, які здійснюються шляхом застосування як програмних, так і апаратних методів може призвести до негативних наслідків з витоку інформації чи втрати управління. Якщо система не має достатнього захисту, то вона стає вразливою до різноманітних кібератак, які можуть призвести до крадіжки конфіденційної інформації, втрати даних, втрати грошей та інших шкідливих наслідків.

Таким чином із загального переліку факторів виділено два, які найбільше впливають на кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ.

### **Висновки**

Таким чином в роботі проведено аналіз факторів, які впливають на кіберзахищеність СЗ, РТЗ та АУ та при цьому виділено ті фактори, що найбільше впливають на кіберзахищеність та мають стати передумовою для розуміння поточного рівня кібербезпеки СЗ, РТЗ та АУ і прийняття відповідних управлінських рішень щодо його підвищення.

Виходячи із зазначеного можливо сформулювати загальні принципи кібербезпеки, основні загрози та уразливості, а також роль людей, технологій та політики у забезпеченні кібербезпеки, що і буде подальшим дослідженням. Під політикою в контексті кібербезпеки мається на увазі набір правил, норм та законів, які створюються та впроваджуються для захисту кіберпростору від загроз та забезпечення безпеки користувачів.

### **Список використаних джерел**

1. Національний інститут стандартів та технологій (NIST) США: Cybersecurity Framework. URL: <https://www.nist.gov/cyberframework>
2. Європейська агенція з кібербезпеки (ENISA): Good practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot-in-smart-manufacturing>
3. Інтернет-організація по кібербезпеці (ICSPA): Cyber Security Tips for Individuals. URL: <https://www.icspa.org/cyber-security-tips-for-individuals/>
4. Міжнародний союз телекомунікацій (ITU): Cybersecurity and Cybercrime. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Pages/default.aspx>
5. Наказ командувача Військ зв'язку та кібербезпеки Збройних Сил України від 10 лютого 2021 року № 83/накп «Про затвердження класифікації інцидентів та порушень захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах, системах спеціального зв'язку Збройних Сил України».
6. Інструкція з організації антивірусного захисту в інформаційно-телекомунікаційних системах Міністерства оборони України та Збройних Сил України. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/mou\\_orders/mou\\_2023/153\\_nm\\_2023.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2023/153_nm_2023.pdf)
7. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 травня 2021 року "Про невідкладні заходи з кібероборони держави", Указ Президента України No 446/2021 (2021) (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/446/2021#Text>.
8. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 14 травня 2021 року "Про Стратегію кібербезпеки України", Указ Президента України No 447/2021 (2021) (Україна). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021.txt>

## **ANALYSIS OF FACTORS AND THREATS IMPACTING THE CYBERSECURITY OF COMMUNICATION SYSTEMS, RADIO TECHNICAL SUPPORT, AND AUTOMATION OF AIR COMMAND IN OPERATIONS**

**Vasyl Yasinetskyi** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0009-0005-6274-0738>

**Yuri Khazhanets** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-8926-2474>

**Volodymyr Pavliuchenko**

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article provides an analysis of factors and threats that influence the cybersecurity of communication systems, radio technical support, and automation of air command in defense operations. The article also describes types of cyber-attacks and identifies factors that can increase the risks of cyber-attacks on the communication systems, radio technical support, and automation (hereinafter referred to as CS, RTS, and AU) of air command in defense operations. During the research, potential hazards that can lead to cyber attacks or other events disrupting the functioning of CS, RTS, and AU were analyzed. It was determined that the main factors affecting the cybersecurity of CS, RTS, and AU are the human factor, software vulnerabilities, and insufficient protection and control measures for CS, RTS, and AU. The results of the analysis can be used for further research in developing proposals and measures for the cybersecurity of CS, RTS, and AU in air command during defense operations.*

**Keywords:** *communication systems, radio technical support, automation, cybersecurity, cyber-attacks, cyberspace, defense operation.*

### **References**

1. Natsionalnyi instytut standartiv ta tekhnolohii (NIST) SShA: Cybersecurity Framework. URL: <https://www.nist.gov/cyberframework>
2. Ievropeiska ahentsiia z kiberbezpeky (ENISA): Good practices for Security of Internet of Things in the context of Smart Manufacturing. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/good-practices-for-security-of-iot-in-smart-manufacturing>
3. Internet-orhanizatsiia po kiberbezpeti (ICSPA): Cyber Security Tips for Individuals. URL: <https://www.icspa.org/cyber-security-tips-for-individuals/>
4. Mizhnarodnyi soiuz telekomunikatsii (ITU): Cybersecurity and Cybercrime. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Pages/default.aspx>
5. Nakaz komanduvacha Viisk zviazku ta kiberbezpeky Zbroinykh Syl Ukrainy vid 10 liutoho 2021 roku № 83/nakp «Pro zatverdzhennia klasyfikatsii intsydentiv ta porushen zakhystu informatsii v informatsiino-telekomunikatsiinykh systemakh, systemakh spetsialnoho zviazku Zbroinykh Syl Ukrainy».
6. Instruktsiia z orhanizatsii antyvirusnoho zakhystu v informatsiino-telekomunikatsiinykh systemakh Ministerstva oborony Ukrainy ta Zbroinykh Syl Ukrainy.
7. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 14 travnia 2021 roku "Pro nevidkladni zakhody z kiberoborony derzhavy", Ukaz Prezydenta Ukrainy No 446/2021 (2021) (Ukraina). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/446/2021#Text>.
8. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 14 travnia 2021 roku "Pro Stratehiu kiberbezpeky Ukrainy", Ukaz Prezydenta Ukrainy No 447/2021 (2021) (Ukraina). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021.txt>

# МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАСТОСУВАННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-32-39

УДК 355.424.4

Загорка Олексій Миколайович (доктор військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0003-1131-0904>

Поліщук Сергій Васильович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0001-9050-6918>

Загорка Ірина Олексіївна

<https://orcid.org/0000-0002-0693-1434>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПІВ ТЕОРІЇ МАРКОВСЬКИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИКРИТТЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАСОБАМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ВІД УДАРІВ КРИЛАТИХ РАКЕТ

Значна роль у вирішенні завдань ураження найбільш важливих об'єктів у воєнних конфліктах належить крилатим ракетам повітряного і морського базування. Крилаті ракети є складними цілями для засобів протиповітряної оборони. Це пов'язано особливостями їх застосування та малою радіолокаційною і тепловою помітністю.

При організації протиповітряної оборони об'єктів виникає необхідність оцінювати ефективність їх прикриття від ударів крилатих ракет. За показник ефективності прийнята імовірність збереження об'єктів від ударів крилатих ракет. Вона визначається із використанням принципів теорії марковських випадкових процесів. Відповідно до процесу відбиття удару крилатих ракет побудований граф станів системи (об'єкт ураження, засоби протиповітряної оборони), визначені інтенсивності переходів системи із стану в стан і складена система диференціальних рівнянь. Розв'язання даної системи диференціальних рівнянь дозволило отримати вирази для визначення імовірності збереження об'єкту в залежності від тривалості удару крилатих ракет.

**Ключові слова:** об'єкт удару, крилаті ракети, засоби протиповітряної оборони, імовірність збереження об'єкта, марковські випадкові процеси.

### Вступ

Загроза застосування у воєнному конфлікті таких ефективних засобів повітряного нападу (ЗПН) як крилаті ракети (КР) повітряного і морського базування змушує приділяти особливу увагу захисту важливих об'єктів держави (атомних електростанцій, адміністративних центрів, об'єктів хімічної промисловості, крупних вузлів комунікацій, аеродромів та інше) від їх ударів [1, 3, 5].

Зазвичай організовується безпосереднє (локальне) прикриття важливих об'єктів від ударів КР силами і засобами протиповітряної оборони (ППО) у загальній системі ППО країни. Це обумовлюється обмеженими можливостями виявлення КР системою радіолокаційної розвідки повітряного противника та малими, у порівнянні із літаками, дальностями їх ураження зенітними ракетними комплексами (ЗРК).

При організації ППО об'єктів виникає необхідність оперативно оцінювати ефективність їх

прикриття від ударів КР, що потребує застосування для цього відповідних методичних положень.

### Матеріали та методи

На теперішній час при дослідженні ефективності бойових дій сил і засобів ППО застосовується багато методик, які ґрунтуються на використанні методів імітаційного моделювання та аналітичних методів.

Принципи побудови детермінованої імітаційно-статистичної та аналітико-стохастичної моделей системи ППО наведені у монографії [4]. З використанням імітаційної моделі оцінюються втрати ЗПН при відбитті їх ударів та втрати об'єктів, що прикриваються силами ППО. Аналітико-стохастична модель дозволяє визначити математичні сподівання кількості знищених ЗПН і кількості уражених ЗРК у протиповітряному бою.

Методики оцінювання математичного сподівання кількості знищених ЗРК ЗПН, зокрема КР, при відбитті удару з використанням методів теорії масового обслуговування наведені у



монографії [5]. У методиках використовуються моделі систем масового обслуговування з відмовами і з обмеженим часом перебування заявок у системі.

Використання коефіцієнтного методу для оцінювання математичного сподівання кількості знищених цілей угрупованням зенітних ракетних військ наведено у монографії [6]. При визначенні показника ефективності здійснюється множення коефіцієнтів, які характеризують участь ЗРК у відбитті удару ЗПН, бойову готовність ЗРК, ефективність системи управління, вплив малих висот, маневру цілей.

Проте у монографіях [4–6] окремо не розглядаються питання щодо оцінювання ефективності безпосереднього (локального) прикриття засобами ППО об'єктів від ударів КР. За допомогою наведених методик в основному визначаються вогневі можливості системи ППО або ЗРК., які оцінюються кількістю знищених ЗПН при відбитті удару. Це не в повній мірі характеризує ефективність прикриття об'єктів засобами ППО від ударів КР. Найбільш представницьким показником для оцінювання ефективності прикриття об'єктів від ударів ЗПН, зокрема КР, є імовірність їх збереження.

Тому метою статті є розроблення методичних положень для оперативного оцінювання імовірності збереження об'єктів, що прикриваються засобами ППО, від ударів КР.

### Результати

Зазвичай прикриття об'єктів від ударів КР здійснюється формуванням ППО у складі командного пункту та декількох зенітних ракетних дивізіонів (зрдн) або зенітних ракетних батарей (зрбатр), [1, 7, 8]. Враховуючи вимогу до оперативності для оцінювання ефективності прикриття об'єктів від ударів КР доцільно використати аналітичний метод (аналітичну модель).

При розробленні аналітичної моделі прийняті такі обмеження і допущення:

наміром противника при завданні удару КР є як знищення об'єкту, так і ЗРК, що застосовуються для його прикриття;

об'єкт, що прикривається засобами ППО, може складатися із елементарних об'єктів, по яким завдається удар КР;

перед початком відбиття удару КР всі ЗРК вважаються боездатними, повністю укомплектованими зенітними керованими ракетами (ЗРК);

перезарядження ЗРК ракетами під час відбиття удару КР не відбувається;

обстріл КР здійснюється обмеженою кількістю ЗРК відповідно до Правил стрільби для ЗРК;

витрати ЗРК при відбитті удару КР повинні не перевищувати боєкомплект ЗРК, що визначає обмеження за можливою кількістю КР в ударі, який досліджується;

один канал ЗРК може обстріляти тільки одну з КР, що одночасно входять у зону ураження;

маневр ЗРК під час відбиття удару КР не здійснюється;

імовірності виявлення КР та їх ураження, час обстрілу КР ЗРК задаються у вихідних даних методики відповідно до тактико-технічних характеристик ЗРК;

середня ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) КР у сантиметровому діапазоні хвиль приймається  $0,2 \text{ м}^2$  [5].

Враховуючи наведені допущення, (противник буде завдавати удар КР не тільки по об'єкту, а і по засобах ППО), відповідно [11] об'єкт і засоби ППО доцільно розглядати як систему, у якій відбувається випадковий марківський процес з дискретною множиною станів і безперервним часом. Вважається, що перехід системи із одного стану в інший відбувається під впливом пуассонівського потоку подій визначеної інтенсивності.

Відповідно до праць [12, 13] побудова імовірнісної моделі такої системи здійснюється у такій послідовності:

визначається множина можливих станів системи;

визначаються потоки подій, під впливом яких система переходить із одного стану в інший (інтенсивність переходів), і будується граф станів;

складається система диференційних рівнянь імовірностей станів системи.

Можливі стани системи (об'єкт ураження, засоби ППО) визначаються у припущенні, що КР призначаються для ураження  $m$  цілей ( ціль №1 – об'єкт, цілі № 2, 3, ...  $m$  – засоби ППО). Система, що розглядається, може перебувати у таких станах:

$S_1$  – об'єкт неуражений, всі засоби ППО (ЗРК) боездатні;

$S_2$  – об'єкт неуражений, ЗРК № 3, 4, ...,  $m$  боездатні, ЗРК №2 – уражений;

$S_3$  – об'єкт неуражений, ЗРК № 4, ...,  $m$  боездатні, ЗРК № 2, 3 – уражені;

.....  
 $S_m$  – об'єкт неуражений, всі ЗРК уражені;

$S_{m+1}$  – об'єкт уражений, всі ЗРК боездатні;

$S_{m+2}$  – об'єкт і ЗРК №2 уражені, ЗРК № 3, 4, ....  $m$  – боездатні;

.....  
 $S_{2m}$  – об'єкт і всі ЗРК уражені.

Кількість станів системи становить  $2m$ . Граф станів системи наведений на рис. 1 (інтенсивності переходів системи зі стану  $S_i$  в стан  $S_j$  позначені через  $\lambda_{i,j}$ ,  $i = 1, 2m - 1$ ;  $j = 2, 2m$ ).

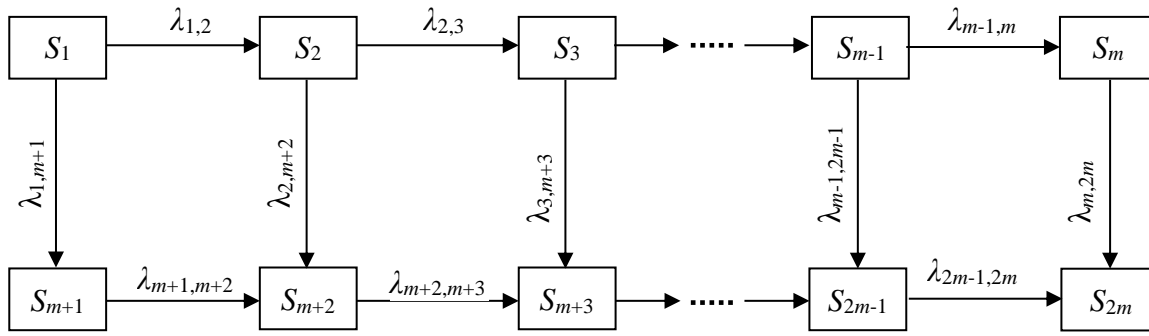


Рисунок 1. Граф станів системи (об'єкт ураження, засоби ППО)

Система диференційних рівнянь Колмогорова, яка створена відповідно до правил, що викладені в [12, 13], має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1}{\partial t} &= -(\lambda_{1,2} + \lambda_{1,m+1})P_1; \\ \frac{\partial P_2}{\partial t} &= \lambda_{1,2}P_1 - (\lambda_{2,3} + \lambda_{2,m+2})P_2; \\ \frac{\partial P_3}{\partial t} &= \lambda_{2,3}P_2 - (\lambda_{3,4} + \lambda_{3,m+3})P_3; \\ \frac{\partial P_m}{\partial t} &= \lambda_{m-1,m}P_{m-1} - \lambda_{m,2m}P_m; \quad (1) \\ \frac{\partial P_{m+1}}{\partial t} &= \lambda_{1,m+1}P_1 - \lambda_{m+1,m+2}P_{m+1}; \\ \frac{\partial P_{m+2}}{\partial t} &= \lambda_{2,m+2}P_2 + \lambda_{m+1,m+2}P_{m+1} - \lambda_{m+2,m+3}P_{m+2}; \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{\partial P_{2m-1}}{\partial t} &= \lambda_{m-1,2m-1}P_{m-1} + \lambda_{2m-2,2m-1}P_{2m-2} - \lambda_{2m-1,2m}P_{2m-1}; \\ \frac{\partial P_{2m}}{\partial t} &= 1 - \sum_{i=1}^{2m-1} P_i, \end{aligned}$$

де  $P_i$  – імовірність перебування системи в стані  $S_i$ ,  $i = \overline{1, 2m}$ .

Виходячи з графу станів (рис.1), імовірність збереження об'єкта від ударів КР визначається за формулою

$$P_{зб} = \sum_i P_i, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Відповідно до графу станів системи аналогічно визначаються імовірності ураження або збереження засобів ППО (ЗРК).

При визначенні інтенсивностей переходу системи зі стану  $S_i$  в стан  $S_j$  приймаються такі припущення:

потік КР, які призначені для ураження об'єкта і засобів ППО, є пуасоновський;

кожна КР із ймовірністю  $C$  може бути призначена для ураження об'єкта та із ймовірністю  $(1 - C)$  – для ураження одного із засобів ППО (ЗРК);

враховуючи малий час перебування КР в зоні обстрілу ЗРК, імовірність того, що КР не буде обстріляна визначається за формулою Ерланга (для системи масового обслуговування з відмовами);

імовірність розвідки всіх цілей (об'єкт і ЗРК) однакова і дорівнює  $P_{розв}$ .

Інтенсивність потоку КР в ударі ( $\lambda$ ) визначається за формулою

$$\lambda = \frac{N}{T_{уд}}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість КР в ударі;

$T_{уд}$  – тривалість удару.

Кількість цільових каналів ЗРК змінюється з їх ураженням КР і для  $i$ -го стану системи визначається за формулою

$$n_i = n_1(m - i), i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

де  $n_1$  – кількість цільових каналів одного ЗРК.

Аналогічно визначається кількість цільових каналів ЗРК, яка відповідає стану системи  $i = m + 1; 2m$ .

Імовірність того, що КР не буде обстріляна, визначається за формулою [5, 13]

$$P_{но}(n_i) = \frac{(P_B \lambda t_{обс})^{n_i} \frac{1}{n_i!}}{\sum_{k=0}^{n_i} (P_B \lambda t_{обс})^k \frac{1}{k!}}, \quad (5)$$

де  $t_{обс}$  – час обстрілу КР (циклу стрільби ЗРК);

$P_B$  – імовірність виявлення КР ЗРК.

Імовірність визначається із урахуванням функції розподілу дальності виявлення КР ЗРК (рис. 2).

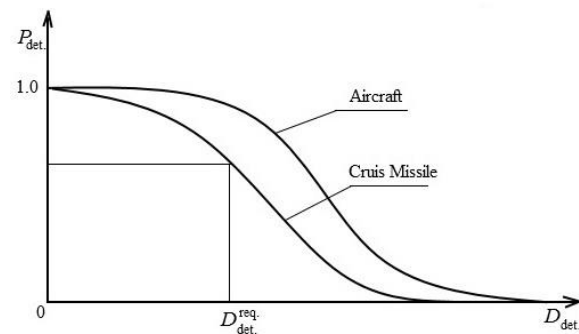


Рисунок 2. Функція розподілу дальностей виявлення ЗРК літака і КР

Зазвичай при полігонних випробуваннях ЗРК визначаються дальності виявлення літаків із відомою ЕПР ( $\sigma_{\text{л}}$ ) і відповідна функція їх розподілу. Для отримання функції розподілу дальності виявлення КР ( $D_{\text{в}}^{\text{КР}}$ ) здійснюється перерахунок дальності виявлення літаків ( $D_{\text{в}}^{\text{л}}$ ) із урахуванням ЕПР КР ( $\sigma_{\text{КР}}$ ) і умов місцевості за формулою

$$D_{\text{в}}^{\text{КР}} = D_{\text{в}}^{\text{л}} \sqrt[4]{\frac{\sigma_{\text{КР}}}{\sigma_{\text{л}}}} K_{\text{м}}, \quad (6)$$

де  $K_{\text{м}}$  – коефіцієнт, який характеризує умови місцевості.

Для горбистої місцевості та польоту КР на гранично малих висотах  $K_{\text{м}} = 0,35$ , а на малих висотах –  $K_{\text{м}} = 0,7$  [5].

Потрібна дальність виявлення для обстрілу КР

$$D_{\text{в}}^{\text{потр}} = V_{\text{КР}} t_{\text{обс}}, \quad (7)$$

де  $V_{\text{КР}}$  – швидкість польоту КР.

За значенням  $D_{\text{в}}^{\text{потр}}$  визначається імовірність виявлення КР ( $P_{\text{в}}$ ) ЗРК.

Вираз для визначення імовірності подолання КР ППО має вигляд

$$P_{\text{под}} = 1 - (1 - P_{\text{но}}) (1 - (1 - E_1)^z), \quad (8)$$

де  $E_1$  – імовірність ураження КР однією ЗРК ЗРК;

$z$  – кількість зенітних керованих ракет ЗРК, що призначається для ураження КР.

Якщо імовірність ураження об'єкта КР становить  $W_1$ , а ЗРК –  $W_2$ , то вирази для розрахунку інтенсивностей переходів системи із одного стану в інший мають вигляд:

$$\begin{aligned} \lambda_{1,2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)(1 - C)W_2; \\ \lambda_{2,3} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)(1 - C)W_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda_{m-1,m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_{m-1})(1 - C)W_2; \\ \lambda_{1,m+1} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)CW_1; \\ \lambda_{2,m+2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)CW_1; \\ \lambda_{m,2m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_m)CW_1; \\ \lambda_{m+1,m+2} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_1)(1 - C)W_2; \\ \lambda_{m+2,m+3} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_2)(1 - C)W_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda_{2m-1,2m} &= P_{\text{розв}} \lambda P_{\text{под}}(n_{m-1})(1 - C)W_2; \end{aligned} \quad (9)$$

Початкові умови для розв'язання системи диференціальних рівнянь (1) становлять:  $P_1 = 1$ ,  $P_i = 0$ , при  $i = 2; 2m$ .

За попередніми дослідженнями [14] для визначення імовірності збереження об'єкта від удару КР можна урахувати тільки імовірності перебування системи у станах  $S_1$  і  $S_2$ . Похибка у визначенні імовірності  $P_{36}$  не перевищує 5 %, що є допустимим для оперативного оцінювання ефективності прикриття об'єкта від ударів КР.

Розв'язання диференціальних рівнянь (1) дає змогу отримати залежності ймовірностей станів системи (об'єкт ураження, засоби ППО)  $P_i$  ( $i = 1; 2m$ ) від тривалості удару КР. Вирази для визначення імовірності перших двох станів системи мають вигляд:

$$P_1(t) = e^{-at}; \quad (10)$$

$$P_2 = \frac{\lambda_{1,2}}{b-a} (e^{-at} - e^{-bt}), \quad b > a,$$

де  $a = \lambda_{1,2} + \lambda_{1,m+1}$ ;

$$b = \lambda_{2,3} + \lambda_{2,m+2}.$$

Математичне сподівання відносної кількості КР, що може потенційно уражатися засобами ППО (усі ЗРК боездатні), визначається за формулою

$$M = (1 - P_{\text{но}}) (1 - (1 - E_1)^z) \quad (11)$$

При цьому, кількість ЗРК, що витрачається при відбитті удару КР, дорівнює

$$N_{\text{ЗКР}} = N(1 - P_{\text{но}})z. \quad (12)$$

На рис. 3 приведена структурна схема методики оцінювання ефективності прикриття об'єкта засобами протиповітряної оборони від удару крилатих ракет.

Відповідно до методики при отриманні імовірності збереження об'єкта ( $P_{36}$ ) менше заданої ( $P_{\text{зад}}$ ) необхідно корегувати (підсилувати) склад засобів ППО для його прикриття від ударів КР.

Новим у методичних положеннях, що наведені у статті, є побудований граф станів системи (об'єкт, що прикривається, ЗРК) при відбитті удару КР, на підставі якого складена система диференціальних рівнянь. Розв'язання даної системи рівнянь дозволило отримати аналітичні залежності для оперативного оцінювання імовірності збереження об'єкта від удару КР.

Використання даної методики для визначення імовірності збереження об'єкта від удару КР дозволяє більш обґрунтовано оцінювати ефективність виконання завдання щодо його прикриття і обумовлює подальший розвиток (розширення) методичних положень оцінювання ефективності бойових дій військ ППО.

Використання у методиці аналітичного методу дозволяє оперативно оцінювати імовірність збереження об'єкта при різних параметрах удару КР (інтенсивність КР в ударі, тривалість удару), що сприяє практичному застосуванню методики органами військового управління під час організації ППО об'єктів.

Розглянемо приклад оцінювання ефективності прикриття об'єкта від ударів КР трьома трьохканальними зрдн. Початкові дані становлять:

- імовірність виявлення КР  $P_{\text{в}} = 0,9$ ;
- час обстрілу КР ЗРК  $t_{\text{обс}} = 1$  хв.;
- імовірність ураження КР однією зенітною ракетою  $E_1 = 0,5$ ;
- кількість зенітних ракет, що призначається для ураження однієї КР,  $z = 2$ ;
- інтенсивність потоку КР  $\lambda = 1; 2; 4; 6$  КР/хв.;

імовірність розвідки противником цілей ураження  $P_{розв} = 0,9$ ;  
імовірність призначення КР для ураження об'єкта  $C = 0,7$ ;  
зрдн  $(1 - C) = 0,3$ ;  
імовірність ураження об'єкта однією КР  $W_1 = 0,3$ ;  
імовірність ураження зрдн однією КР  $W_2 = 0,6$ ;  
час удару КР  $T_{уд} = 2; 4; 6; 8; 10$  хв.  
Результати розрахунку ймовірностей  $P_{но}$  за формулою (5) і ймовірностей  $P_{подол}$  за формулою (8)

наведенні у табл. 1.

Результати розрахунків за формулами (8) інтенсивностей переходів системи з одного стану в інший наведенні у табл. 2.

На рис. 4 наведенні залежності ймовірностей збереження об'єкта  $P_{зб}$  від тривалості удару КР різної інтенсивності.

Імовірність збереження об'єкта суттєво залежить від інтенсивності удару КР. Тому противник буде намагатись зменшувати тривалість удару КР.

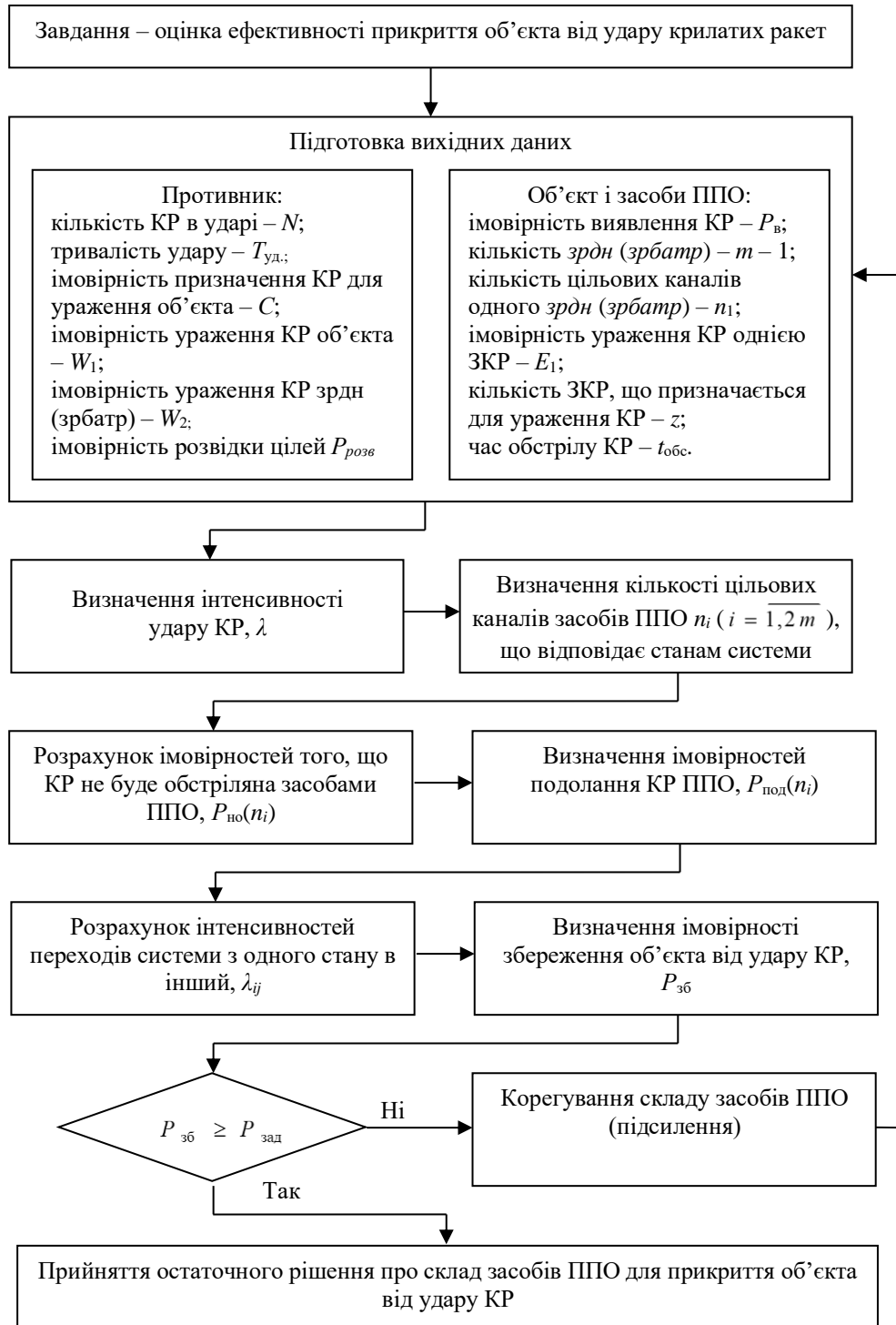


Рисунок 3. Структурна схема методики оцінювання імовірності збереження об'єкта від удару крилатих ракет

Таблиця 1

Значення ймовірностей  $P_{\text{но}}$  і  $P_{\text{подол.}}$

Інтенсивність потоку КР ( $\lambda$ ), КР/хв.	Загальна кількість цільових каналів засобів ППО					
	3 (один зрдн)		6 (два зрдн)		9 (три зрдн)	
	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$	$P_{\text{но}}$	$P_{\text{подол.}}$
1	0,062	0,296	0,001	0,251	0	0,250
2	0,210	0,407	0,012	0,259	0,002	0,252
4	0,451	0,588	0,117	0,338	0,013	0,260
6	0,590	0,692	0,265	0,449	0,0750	0,306

Таблиця 2

Інтенсивності переходів системи з одного стану в інший

Інтенсивність потоку КР ( $\lambda$ ), КР/хв.	Інтенсивності переходів, 1/хв.			
	$\lambda_{1,2}$	$\lambda_{2,3}$	$\lambda_{1,5}$	$\lambda_{2,6}$
1	0,040	0,041	0,047	0,047
2	0,082	0,084	0,095	0,098
4	0,168	0,219	0,196	0,255
6	0,297	0,436	0,347	0,509

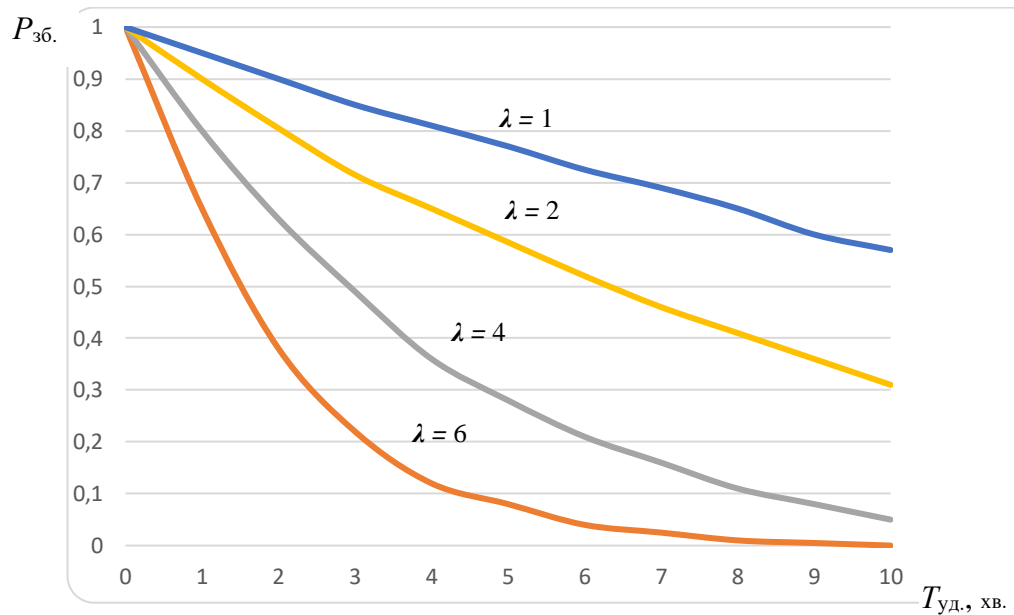


Рисунок 4. Залежності ймовірностей збереження об'єкта від тривалості удару КР різної інтенсивності

Отримані залежності рис. 4 дають змогу за прогнозованими параметрами удару КР (інтенсивність  $\lambda$  і тривалість удару КР  $T_{\text{уд.}}$ ) визначити ймовірність збереження об'єкта. При  $P_{\text{зб}}$  нижче заданої ймовірності  $P_{\text{зад.}}$  необхідно додатково залучати для прикриття об'єкту ЗРК.

За визначеними значеннями ймовірності збереження об'єкта можна визначати тривалість та інтенсивність удару КР, який може бути успішно відбитий засобами ППО. З наведених на рис. 4 залежностей для  $P_{\text{зб}} = 0,7$  при інтенсивності КР  $\lambda = 1$  кр/хв така тривалість удару становить  $T_{\text{уд}} = 6,9$  хв, при  $\lambda = 2$  кр/хв –  $T_{\text{уд}} = 3,4$  хв, при  $\lambda = 4$  кр/хв –  $T_{\text{уд}} = 1,6$  хв, при  $\lambda = 6$  кр/хв –  $T_{\text{уд}} = 0,8$  хв. При цьому математичне сподівання відносної кількості КР, що може потенційно уражатися засобами ППО, розраховане за формулою (11), становить 0,69 – 0,75.

### Обговорення

Збільшення тривалості удару КР приводить до збільшення кількості КР в ударі і, як наслідок, до

зниження ймовірності збереження об'єкта.

Розроблена аналітична методика може бути використана органами військового управління при організації прикриття об'єктів засобами ППО від ударів КР, що визначає її практичну спрямованість.

### Висновки

Розроблено аналітичну модель оцінювання ефективності прикриття об'єкта засобами ППО від удару крилатих ракет. У методиці ефективність прикриття об'єкта від удару КР оцінюється ймовірністю його збереження, визначення якої пропонується здійснювати на основі моделі, що описується системою диференціальних рівнянь ймовірностей станів системи у складі об'єкта і ЗРК. За результатами розв'язання системи диференціальних рівнянь отримані вирази для розрахунку залежності ймовірності збереження об'єкта від тривалості удару КР. Порядок застосування розроблених методичних положень показаний на прикладі оцінювання ефективності прикриття об'єкта від удару крилатих ракет трьома трьохканальними зрдн.

### Список використаних джерел

1. *Countering Air and Missile Threats*. [on line]. Joint Publication (JP) 3-01. May 2018. 169 p. [cited 2018-10-16]. Available from: [https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3\\_01\\_pa.pdf?ver=2018-05-16-175020-290](https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_01_pa.pdf?ver=2018-05-16-175020-290). (Дата звернення 27.02.2023).
2. Field Manual No. FM 3-01.7. *Air Defense Artillery Brigade Operations* [on line]. Washington: Headquarters Department of the Army, 2000. 248 p. [cited 2018-11-21]. Available from: <https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.7%2800%29.pdf>. (Дата звернення 27.02.2023).
3. DELANEY, W.P. *Perspectives on Defense Systems Analysis*. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 2015. 288 p. ISBN 978-0-262-02935-3. (Дата звернення 27.02.2023).
4. Городнов В.П. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними: моногр. / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко; Х.: ХВУ, 2004. – 409 с. ISBN 966-601-071-2. (Дата звернення 27.02.2023).
5. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденцій розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. – Житомир: “Полісся”, 2011. – 344 с. ISBN 978-966-655-594-9.
6. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С.П. Ярош; за заг. ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с. ISBN 978-966-468-066-7.
7. ZAHORKA, O., ZAHORKA, I., POLISHCHUK, S. *Justification of the Optimal Composition of the Air Defense Troops Grouping*. *Advances in Military Technology*, 2020, 15(1), pp. 55–65 DOI: 10.3849/aimt.01303. (Дата звернення 27.02.2023).
8. Field Manual No. FM. 44-85. *Patriot Battalion and battery operation* [online]. Washington: Headquarters Department of the Army, DC, 21 February 1997. 228 p. Available from: <https://www.globalsecurity.org/space/library/policy/army/fm/44-85/index.html>. (Дата звернення 27.02.2023).
9. Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу: монографія. Кн. 1: безпілотні засоби повітряного нападу. Застосування та перспективи розвитку. Виявлення малопомітних засобів повітряного нападу / Ю.Г. Данник, Г.А. Дробаха, В.І. Карпенко, Є.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко / . – Х.:ХВУ, 2002. – 164 с.
10. DENNIS M. GORMLEY. *Addressing the Cruise Missile Threat: Defense and Diplomatic Responses* [online]. Paris: French Institute of International Relations, Proliferation Papers, No. 6, Spring 2002. 22 p. Available from: <https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/proliferation-papers/addressing-cruise-missile-threat-defense-and>. (Дата звернення 27.02.2023).
11. Основи управління та прийняття рішень у військовій справі: підруч. /М.І. Нещадим, В.О. Колеснік, В.О. Мазуренко, В.І. Супрун/. Суми: Слобожанщина, 2000. – 276 с.
12. Венгцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 208 с.
13. HILLIER, F.S. and LIEBERMAN, G.J. *Introduction to Operations Research*. New York: McGraw-Hill, 2010. 1073 p. ISBN 978-0-07-337629-5.
14. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування): монографія / за заг. Ред. В.М. Телелима/ В.М. Тарасов, Р.І. Тимошенко, О.М. Загорка. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. – 184 с.

# APPLICATION OF THE PRINCIPLES OF THE THEORY OF MARKOV RANDOM PROCESSES TO ASSESS THE EFFECTIVENESS OF PROTECTION OF OBJECTS FROM CRUISE MISSILES STRIKES

**Oleksii Zahorka** (Doctor of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1131-0904>

**Serhii Polishchuk** (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0001-9050-6918>

**Iryna Zahorka**

<https://orcid.org/0000-0002-0693-1434>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Air and sea-based cruise missiles play a significant role in the destruction of the most important objects in military conflicts. Cruise missiles are difficult targets for Air De-fense. This is due to the peculiarities of their application and low radar and thermal visibility. When organizing the air defense of objects, it is necessary to assess the effectiveness of their protection from cruise missile strikes. The efficiency indicator is the probability of preservation of objects from cruise missiles strikes. It is determined using the principles of the Markov random processes theory. The system states graph (object of defeat, air defense means) is constructed in accordance with the process of the repelling of the cruise missiles strike, the system's transitions intensities from state to state are determined and the differential equations system is made. After solving this system of differential equations, we obtained expressions to determine the probability of preservation of the object depending on the duration of the cruise missiles strike.*

**Keywords:** *object of defeat, cruise missiles, Air Defense, probability of preservation of object, random Markov processes.*

## References

1. Joint Publication (JP) 3-01. Countering Air and Missile Threats [on line]. Washington, D.C.: The USA Armed Forces, Joint Chiefs of Staff, 2017. Available from: [https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3\\_01.pdf](https://www.jcs.mil/Portals/36/Documents/Doctrine/pubs/jp3_01.pdf).
2. Danyk Y.G., Drobakha H.A., Karpenko V.I., Smirnov E.B., and Tkachenko V.I. Theory and Technique of Counteracting Unmanned Aerial Vehicles: Monograph. Book 1: Unmanned Aerial Vehicles. Application and Development Prospects. Detection of Inconspicuous Means of Air Attack. Kharkiv: KhVU, 2002. 164 p.
3. Delaney W.P. Perspectives on Defense Systems Analysis. Cambridge: The Massachusetts Institute of Technology Press, 2015. 288 p. ISBN 978-0-262-02935-3.
4. Dennis M. Gormley. Addressing the Cruise Missile Threat: Defense and Diplomatic Responses [online]. Paris: French Institute of International Relations, Proliferation Papers, No. 6, Spring 2002. 22 p. Available from: <https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/Gormley.pdf>
5. Field Manual No. FM 3-01.7. U.S. Army Air and Missile Defense Operations [on line]. Washington, D.C.: Headquarters Department of the Army, 2020. Available from: [https://armypubs.army.mil/epubs/DR\\_pubs/DR\\_a/ARN31339-FM\\_3-01-000-WEB-1.pdf](https://armypubs.army.mil/epubs/DR_pubs/DR_a/ARN31339-FM_3-01-000-WEB-1.pdf)
6. Field Manual No. FM. 44-85. Patriot Battalion and Battery Operation [online]. Washington, D.C.: Headquarters Department of the Army, 2002. Available from: [https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.85\(02\).pdf](https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm3-01.85(02).pdf).
7. Hillier F.S. and Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. New York: McGraw-Hill, 2010. 1073 p. ISBN 978-0-07-337629-5.
8. Horodonov V.P., Drobakha H.A., Yermoshyn M.O., Smyrnov Y.B. and Tkachenko V.I. Modeling of Combat Operations of Troops (Forces) of Air Defense and Information Support of the Processes of Their Management. Kharkiv: KhVU, 2004. 409 p. ISBN 966-601-071-2.
9. Neshchadym M.I., Kolesnikov V.O., Mazurenko V.O. and Suprun V.I. Fundamentals of Management and Decision-Making in Military Affairs: textbook. Sumy: Slobozhanshchyna, 2000. 376 p.
10. Theory and Practice of Combating Small-Size Low-level Targets (Assessment of Opportunities, Trends in the Development of Air Defense): monograph. Zhytomyr: Polissya, 2011. 342 p. ISBN 978-966-655-594-9.
11. Telelim V.M., Tarasov V.M., Tymoshenko R.I., Zahorka O.M. Reconnaissance and Strike, Reconnaissance and Fire Complexes (Principles of Construction in Terms of Implementing the Concept of Network-Centric Wars, Evaluation of the Effectiveness of Combat Use): monograph. Kyiv: NUOU named after Ivan Chernyakhovskiy, 2015. 184 p.
12. Wentzel E.S. Operations Research: A Methodological Approach [online]. Moscow: Mir Publishers, 1983. 264 p. Available from: <https://archive.org/details/WentzelOperationsResearchMir1983/mode/2up>.
13. Yarosh S.P. Theoretical Bases of Construction and Application of Reconnaissance and Control Information Systems of Air Defense: Monograph, Kharkiv: KhVU, 2012. - 512 p. ISBN 978-966-486-066-7.
14. Zahorka O., ZAHORKA I., POLISHCHUK S. Justification of the Optimal Composition of the Air Defense Troops Grouping. Advances in Military Technology, 2020, 15(1), pp. 55–65 DOI: 10.3849/aimt.01303.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛІТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛІТНОЇ АВІАЦІЇ

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-40-45

УДК 355.358

Ярошенко Ярослав Віталійович

<https://orcid.org/0000-0002-8651-4920>

Герасименко Володимир Вікторович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0003-2014-7408>

Коротін Сергій Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

Мартинюк Олексій Ростиславович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2578-0018>

Блискун Олександр Євгенійович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-7751-8313>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

### ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ АНАЛІЗУ АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ СПІЛЬНОЮ АВІАЦІЙНОЮ ГРУПОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ АПАРАТУ МЕРЕЖІ ПЕТРІ

Сучасні наукові дослідження в області систем управління військового призначення не в повній мірі дозволяють проводити аналіз та оцінювання ефективності систем управління. Метою статті є представлення існуючого алгоритму управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації за допомогою мережі Петрі. Математичний апарат та програмне забезпечення для моделювання мереж Петрі дозволяють у простому вигляді представити систему управління та оцінити її на відповідність її властивостям. У роботі проведено аналіз побудованої мережі Петрі та визначено, що математичний апарат мережі Петрі дозволяє розширити можливості щодо аналізу та оцінювання ефективності систем управління, які існують на даний час. Аналіз систем управління за допомогою мереж Петрі може стати складовою методик оцінювання ефективності систем управління.

**Ключові слова:** мережі Петрі, спеціальне програмне забезпечення CPN Tools, пілотована та безпілотно авіація; спільний бойовий порядок; спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації, винищувальна авіація, штурмова авіація, ударна група, повітряна розвідка, безпілотної літальний апарат, безпілотної авіаційний комплекс, бойове застосування, управління, система управління.

#### Вступ

Сучасні наукові дослідження відкривати нові підходи до вирішення наукових проблем, які виникають з розвитком новітніх технологій та систем. Існуючі методики оцінювання систем управління не в повній мірі дозволяють здійснювати аналіз та оцінювання систем управління, оскільки не враховують здатність потоку завдань (інформації) досягти кінцевого стану системи. Одним з існуючих методів математичного моделювання дискретних систем є мережі Петрі, які дозволяють здійснювати аналіз та проектування різноманітних систем у багатьох галузях, в тому числі і систем управління. Вони надають можливість графічно зображати моделі систем управління для їх простішого розуміння, а також їх використовують для аналізу та виявлення проблем у системах управління.

Метою статті є удосконалення способу аналізу та оцінювання системи управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації з використанням математичного апарату

мереж Петрі.

#### Матеріали та методи

У [1-7] розглянуто область застосування мереж Петрі. У [8] описано алгоритм управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації. У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу, метод математичного моделювання з використанням Мереж Петрі.

#### Результати

В сучасній військових операціях пілотована та безпілотно авіація все частіше застосовується в єдиних бойових порядках. Для виконання спільних завдань створюється спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації (САГ). Управління САГ здійснюється в загальній системі управління Повітряних Сил Збройних Сил України, яка складається з органів управління, пунктів управління і системи зв'язку та автоматизованого управління [8].

На рис. 1 представлено існуючий алгоритм управління САГ у ході виконання бойового



завдання за етапами бойового польоту (Алгоритм).  
 У відповідності до Алгоритму безпілотної літальний апарат (БпЛА) виявляє ціль та передає координати на наземний пункт управління БпЛА, далі після завершення процесу планування польоту

ударної групи з групою винищувально-авіаційного прикриття виконується бойовий політ ударної групи. Після ураження визначеної цілі БпЛА проводить оцінювання результатів удару.

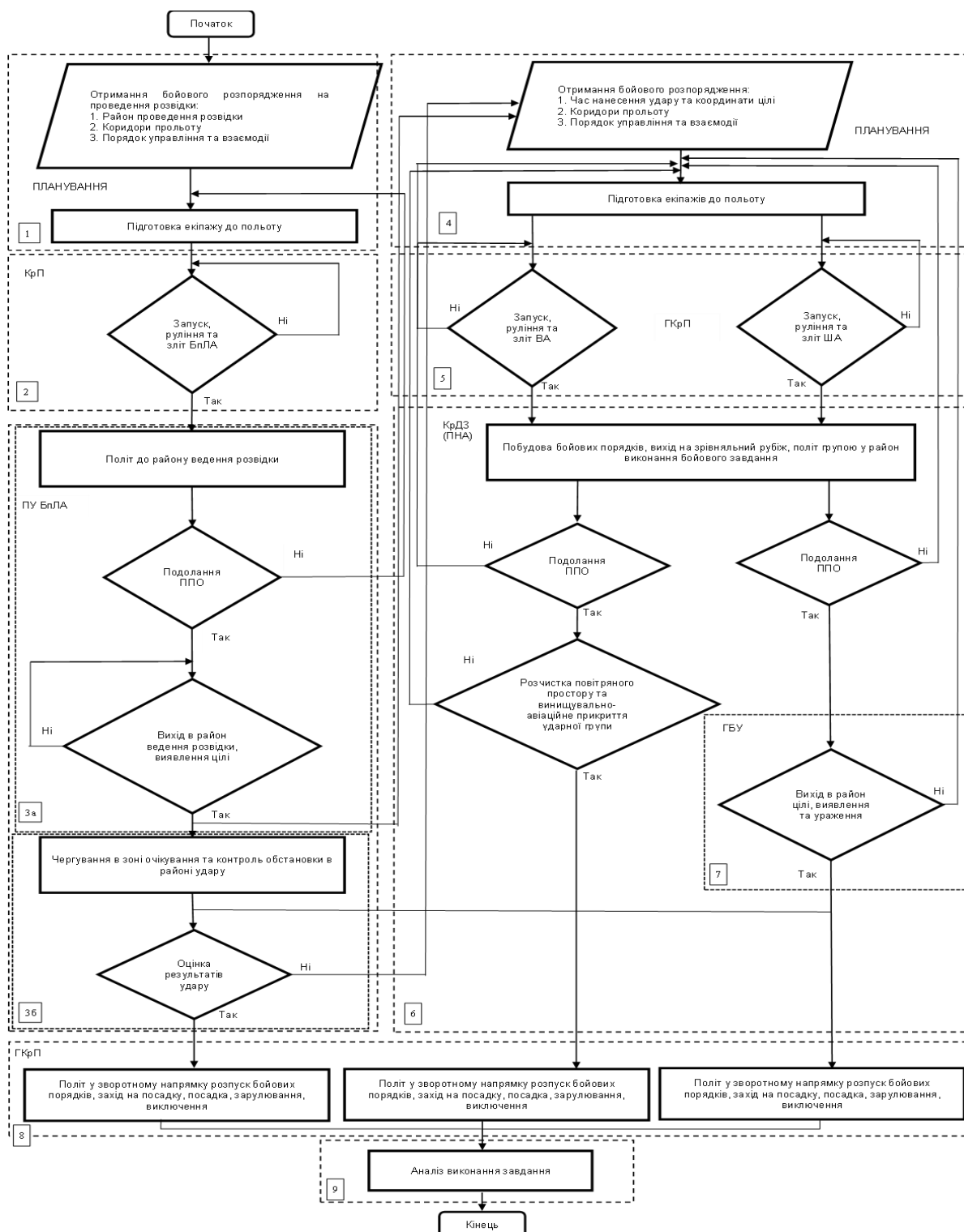
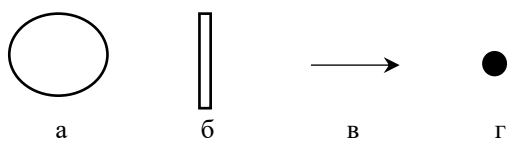


Рисунок 1. Варіант алгоритму управління спільною авіаційною групою у ході виконання бойового завдання за етапами бойового польоту

Розглянемо детально призначення мереж Петрі та які процеси вони дозволяють моделювати. Мережа Петрі – це графічний і математичний засіб моделювання динамічних дискретних і безперервних систем і процесів. Як правило, мережами Петрі моделюють паралельні (синхронні

та асинхронні) системи і процеси. Різноманітність видів мереж Петрі (тимчасові, стохастичні, кольорові, і т. ін) дозволяють моделювати практично всі види процесів: технологічні, виробничі та обчислювальні. Мережа Петрі є орієнтованим дводольним графом, який має чотири

базових елементи: вузли або місця; переходи; дуги і маркери (рис.2)[1-6].

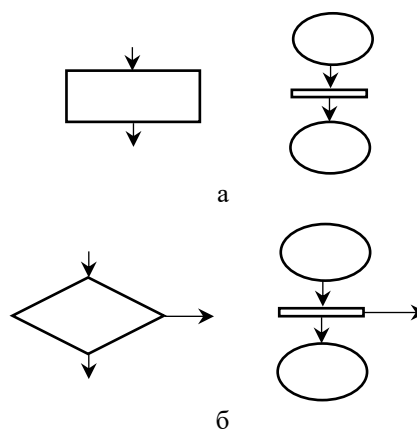


**Рисунок 2.** Структурні елементи мережі Петрі:  
а) вузли або місця; б) переходи; в) дуги;  
г) маркери

У дослідженні використовуватимемо кольорові часові мережі Петрі, які є розширенням кольорових мереж Петрі та дозволяють моделювати процеси з урахуванням часових характеристик. Вони дозволяють точніше моделювати системи з конкуруючими процесами, які мають різні часові обмеження та пріоритети. У кольорових часових мережах Петрі мітки мають не тільки кольори, але й значення, що відповідають часовим характеристикам процесів. Крім того, дуги між станами системи можуть мати також часові обмеження, які обмежують час, необхідний для переходу з одного стану в інший [5-6].

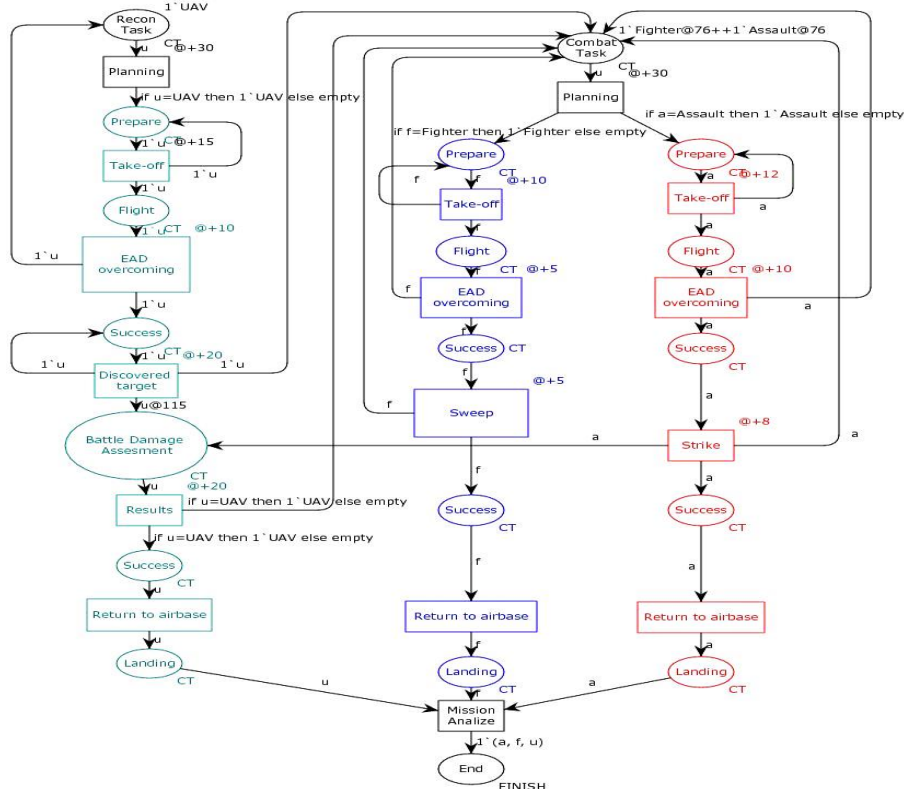
Представимо Алгоритм за допомогою мережі

Петрі, для цього вузол Алгоритму замінимо на переходи мережі Петрі, а дуги на позиції (рис. 3).



**Рисунок 3.** Схема заміни елементів Алгоритму на елементи мережі Петрі:  
а) блок обробки; б) блок прийняття рішення

Проведемо заміну складових елементів Алгоритму на елементи мережі Петрі та отримаємо існуючий Алгоритм управління САГ у вигляді мережі Петрі за допомогою програми CPN Tools (рис. 4).



**Рисунок 4.** Існуюча модель системи управління авіації побудована на основі мереж Петрі

Мережа Петрі представляється чотирма множинами [7],  $P=\{p_1, p_2, \dots, p_N\}$  – множина позицій;  $T=\{t_1, t_2, \dots, t_L\}$  – множина переходів таких, що  $P \cap T = \emptyset$ ;  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  – множина дуг, що визначає взаємне співвідношення між множинами, таких що,  $(P \times T) \cap F = \emptyset$  і  $(T \times P) \cap F = \emptyset$ ;  $M_0 = \{m_1^0, m_2^0, \dots, m_N^0\}$  – початкове маркування.

На рис. 4 модель Алгоритму представлено за допомогою Мережі Петрі має чотири групи кольорів: чорним (блоки 1, 4) позначені елементи Алгоритму в яких проходить процес планування та підготовки; бірюзовим кольором (блоки 2, 3а, 3б, 8) позначені етапи бойового польоту БпЛА; фіолетовим (блоки 5а, 6а, 8) – етапи бойового

польоту групи винищувально-авіаційного прикриття (ВАП); коричневим (блоки 5б, 6б, 7, 8) – етапи бойового польоту ударної групи. Біля позиції Recon Task (розвідувальне завдання) є позначка 1'UAV, яка в програмі CPN Tools заміняє маркери та виділена салатовим кольором при знаходженні маркера в певній позиції. Позначки типу @+30 біля переходів позначають час затримки маркера на даному переході, числові значення затримок розраховані відповідно дальності польоту БпЛА та літаків від аеродрому до цілі, в даному випадку 150 км, швидкість польоту для БпЛА взята з розрахунку 150 км/год для БпЛА та 900 км/год для літаків. Виліт з готовності №1 для БпЛА 15 хв, для винищувачів 10 хв, для ударної групи 12 хв. Позначки типу 1'u, f, а визначають пропускну спроможність дуг та приналежність до певного типу БпЛА або літака (u – БпЛА; f – винищувач; а – штурмовик). Позначка ST позначає множину кольорів з маркерами під назвами UAV, Fighter, Assault, тобто позначають приналежність до складової САГ.

Програма CPN Tools проводить автоматичну перевірку синтаксису мережі при її створенні та завантаженні.

Проведемо аналіз побудованої в мережі Петрі моделі Алгоритму. Мережа Петрі перевіряється за наступними властивостями: безпечність, обмеженість, збереження, активність, досяжність та покриваємість.

**Безпечність.** Одна з важливих властивостей мережі Петрі є безпечність. Позиція мережі Петрі безпечна, якщо кількість маркерів в ній ніколи не перевищує 1. Мережа Петрі безпечна якщо безпечні всі її позиції. Наша модель мережі Петрі (рис. 4) не є безпечною, оскільки має зворотні зв'язки, що призводить накопичення маркерів у позиціях. Це може призвести до значного збільшення часу на виконання завдання або взагалі до його не виконання, при умові постійного не виконання етапів бойового польоту або зміни місця дислокації об'єкта удару.

**Обмеженість.** Безпечність – це частковий випадок більш загальної властивості обмеженості. Позиція є k-безпечна або k-обмежена, якщо кількість маркерів в ній не може перевищувати ціле число k. Іноді нас може цікавити лише обмежена чи ні кількість маркерів у позиції, а не конкретне значення межі. Позиція називається обмеженою, якщо вона k-безпечна для деякого k; мережа Петрі обмежена, якщо всі її позиції обмежені. Модель Алгоритму не є обмеженою оскільки жодна з позицій немає обмежень по кількості маркерів. Це не впливає на функціонування моделі в мережі Петрі, проте в реальному житті кількість літаків та БпЛА, які знаходяться під управлінням певного пункту управління можуть обмежуватись класною кваліфікацією офіцера з бойового управління або зовнішнього пілота, а також технічних можливостей пунктів управління авіацією.

**Збереженість.** Мережа Петрі  $S = (P, T, I, O)$  з початковим маркуванням  $\mu$  називається суворо

зберігаємою, якщо для всіх  $\mu' \in R(C, \mu)$ :

$$\sum_{p_i \in P} \mu'(p_i) = \sum_{p_i \in P} \mu(p_i).$$

Суворо зберігаємість це дуже сильне обмеження. З нього слідує, що кількість входів у кожний перехід повинна дорівнювати числу виходів,  $|I(t_i)| = |O(t_i)|$ . Для нашої моделі ця умова не виконується, оскільки число маркерів постійно зростає за рахунок зворотних зв'язків, тому модель Алгоритму не має властивості збереженості. Дана властивість може впливати, як вже описувалось вище на кількість літаків та вертольотів, що можуть знаходитись під управлінням одного офіцера з бойового управління та технічних можливостей пунктів управління авіацією.

**Активність.** Перехід в мережі Петрі називається активним, якщо він не заблокований (не тупиковий). Перехід  $t_j$  мережі Петрі  $S$  називається потенційно запускаємим в маркуванні  $\mu$ , якщо існує маркування  $\mu' \in R(C, \mu)$ , в якій дозволений  $t_j$ . Перехід активний в маркуванні  $\mu$ , якщо потенційно запущений у всякому маркуванні з  $R(C, \mu)$ . Відповідно, якщо перехід активний, то завжди можна перевести мережу Петрі з її поточного маркування в маркування, в якому запуск переходу стане дозволеним. В моделі Алгоритму всі переходи є активними, тому вся модель мережі Петрі відповідає властивості активності. Це показує, що наша модель робоча і потік інформації проходитиме від початкового до кінцевого стану системи управління.

**Досяжність і покриваємість.** В мережі Петрі для перевірки моделі на відповідність властивостям досяжності та покриваємість зазвичай будується дерево досяжності, проте це громіздкий та об'ємний матеріал, який для нашої моделі займе порядку декількох сторінок. Для перевірки моделі Алгоритму (рис. 4) проведемо моделювання проходження потоку виконання завдання у програмі CPN Tools (рис. 5). Як видно з рис. 5 наша модель відповідає властивості досяжності оскільки маркер від початкової позиції Recon Task (отримання завдання на ведення розвідки) через 202 переходи дійшов до позиції End. Це зайняло 155 умовних одиниць часу (в програмі CPN Tools час затримки відображається в умовних одиницях). В даній моделі задіяні всі позиції та переходи, тому вона відповідає властивості покриваємість. Цю властивість гіпотетично можна вважати показником виконання циклу управління, оскільки проходження маркерів через всі стани та переходи означає завершення циклу управління.

## Обговорення

Мережі Петрі є сучасним засобом для моделювання систем управління. Він дозволяє провести аналіз побудованих у мережі Петрі систем управління на відповідність властивостям безпечності, обмеженості, збереження, активності, досяжності та покриваємість. Дані властивості

дозволяють перевірити модель системи управління на проходження потоку виконання завдань від початкового етапу отримання завдання до завершення аналізу виконаного завдання. Мережі Петрі не дозволяють розрахувати час циклу управління, який є одним з показників ефективності систем управління військового призначення, проте вона може продемонструвати

досліднику чи проходить інформація в системі від початку і до кінця. В подальшому моделювання систем управління військового призначення за допомогою математичного апарату мережі Петрі потребує подальших досліджень, і може бути складовою аналізу та оцінювання систем управління.

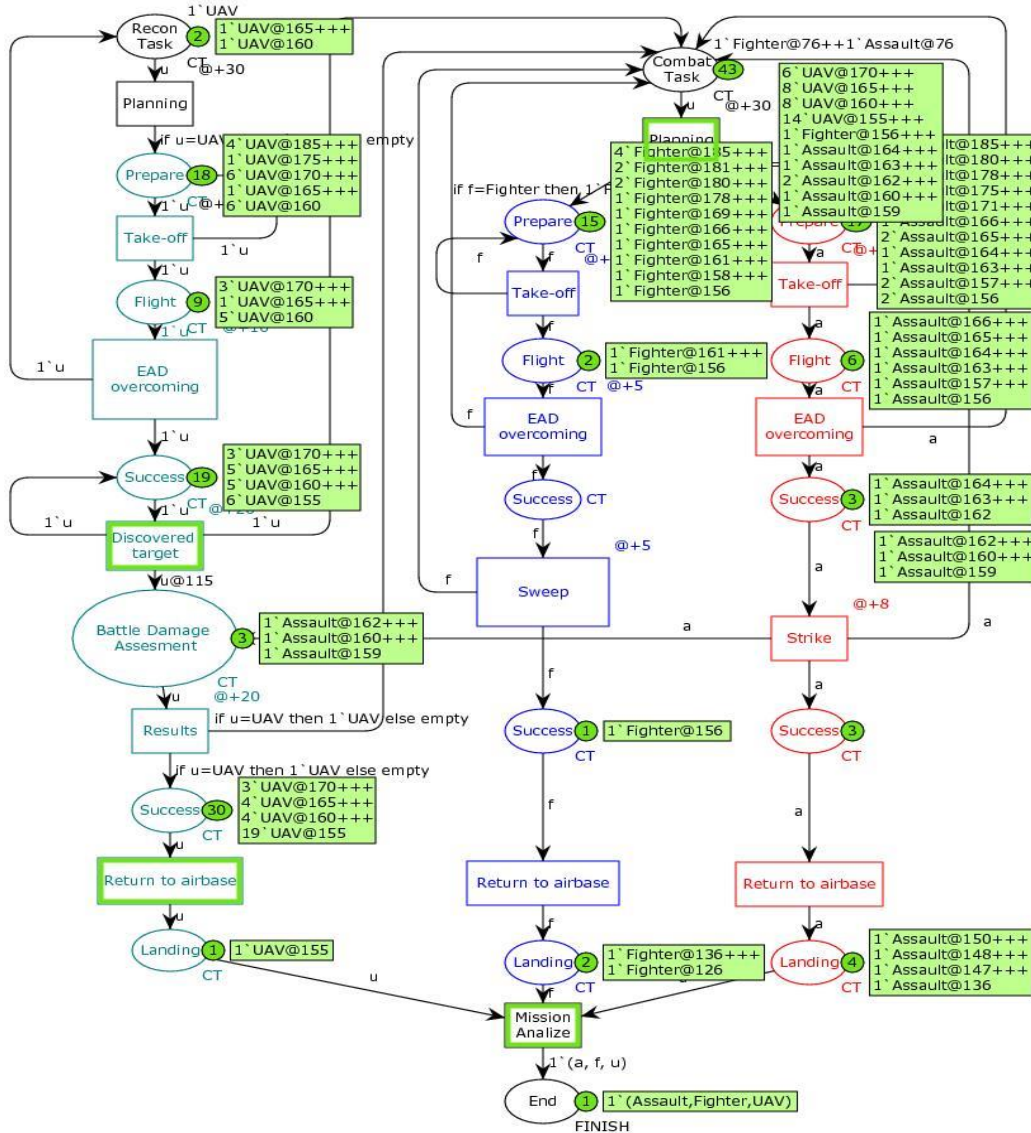


Рисунок 5. Результати моделювання потоку виконання завдання спільною авіаційною пілотованої та безпілотної авіації за допомогою програмного забезпечення CPN Tools

### Висновки

У даній статті представлено існуючий алгоритм управління пілотованою та безпілотною авіацією та проведено моделювання за допомогою мережі Петрі. На основі результатів моделювання визначено, що існуюча система управління авіацією не є безпечною, не є обмеженою, не виконується суворя зберігаємість мережі, мережа є активною, досяжною та покриваємою. Даний аналіз дозволяє візуально оцінити вузькі місця системи управління, які можуть впливати на затримки передачі інформації та її накопичення в

певному місці (позиції). Це дозволяє на основі аналізу внести зміни або удосконалити систему управління. Разом з тим, мережі Петрі не дозволяють моделювати час циклу управління оскільки він задається дослідником самостійно. Мережі Петрі можуть застосовуватися у складі методик оцінювання ефективності систем управління. У подальших дослідженнях рекомендовано детально дослідити питання застосування математичного апарату мереж Петрі під час дослідження систем управління військового призначення.

## Список використаних джерел

1. П.М. Литвин, “Мережні моделі для аналізу складних систем”, поясн. записка до атест. роб. здоб. вищої освіти на другому (магістер.) рівні, спец. 123 Комп’ютерна інженерія, ХНУРЕ, Харків, 2020. Дата звернення: 1 лют. 2023. [Онлайн]. Доступно: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/14442>.
2. Д.А.Зайцев, Т.Р. Шмелева, Моделирование телекоммуникационных систем в CPN Tools. Одесса, Украина: ОНАС им. А.С. Попова, 2009. Дата звернення: 1 лют. 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://dut.edu.ua/ru/lib/5/category/731/view/456>.
3. Д.А. Зайцев. Мережі Петрі і моделювання систем. Методичні вказівки до практичних занять і лабораторних робіт для підготовки магістрів з напрямку “Телекомунікації” – Одеса: УНАЗ ім. О.С. Попова, 2006.
4. W. Reisig, The basic concepts. In: Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies. Heidelberg: Springer, 2013. [E-book] Available: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33278-4\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33278-4_2).
5. L. Popova-Zeugmann, Time and Petri Nets. Heidelberg: Springer, 2013. [E-book] Available: DOI: 10.1007/978-3-642-41115-1.
6. K. Jensen, LM. Kristensen, Coloured Petri Nets: Modelling and validation of concurrent systems. Berlin: Springer; 2009. [E-book] Available: DOI: 10.1007/b95112.
7. Я. В. Ярошенко та інші, “Алгоритм процесу управління спільною авіаційною групою за етапами бойового польоту”, Повітряна міць України, № 2(3), грудень 2022, с. 29-34.

## JUSTIFICATION OF THE JOINT AVIATION GROUP MANAGEMENT ALGORITHM ANALYSIS METHOD USING THE PETRI NET APPARATUS

Yaroslav Yaroshenko

<https://orcid.org/0000-0002-8651-4920>

Volodymyr Herasymenko (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0003-2014-7408>

Serhii Korotin (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

Oleksii Martyniuk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2578-0018>

Oleksandr Blyskun (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-7751-8313>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Modern scientific research in the field of military management systems does not fully allow analysis and evaluation of the effectiveness of management systems. The purpose of the article is to present the existing algorithm for managing a joint aviation group of manned and unmanned aviation using a Petri net. Mathematical apparatus and software for modeling Petri nets allow you to present a control system in a simple form and evaluate it according to its properties. The paper analyzes the built Petri net and it is determined that the mathematical apparatus of the Petri net allows to expand the possibilities for analysis and evaluation of the effectiveness of management systems that exist at the moment. Analysis of control systems using Petri nets can become a component of methods for evaluating the effectiveness of control systems.*

**Keywords:** *Petri nets, special software CPN Tools, manned and unmanned aviation; common order of battle; joint manned and unmanned aviation group, fighter aircraft, attack aircraft, strike group, aerial reconnaissance, unmanned aerial vehicle, unmanned aircraft system, combat application, management, control system.*

## References

1. P.M. Lytvyn, “Merezhni modeli dlia analizu skladnykh system”, poiasn. zapyska do atestat. rob. zdob. vyshchoi osvity na druhomu (mahisterskomu) rivni, spets. 123 Kompiuterna inzheneriia, KhNURE, Kharkiv, 2020. Data zvernennia: 1 liut. 2023. [Onlain] Dostupno: <http://openarchive.nure.ua/handle/document/14442>.
2. D.A. Zaitsev, T.R. Shmeleva, Modelirovaniye telekommunikatsyonnykh system v CPN Tools, Odessa, Ukraina: ONAS ym. A.S. Popova, 2009. Data zvernennia: 1 liut. 2023. [Onlain] Dostupno: <https://dut.edu.ua/ru/lib/5/category/731/view/456>.
3. D.A.Zaitsev. Merezhi Petri i modeliuvannia system. Metodychni vkazivky do praktychnykh zaniat i laboratornykh robit dlia pidhotovky mahistriv z napriamku “Telekomunikatsii”, Odesa: UNAZ im. O.S. Popova, 2006.
4. W. Reisig, The basic concepts. In: Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies. Heidelberg: Springer, 2013. [E-book] Available: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33278-4\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33278-4_2).
5. L. Popova-Zeugmann, Time and Petri Nets. Heidelberg: Springer, 2013. [E-book] Available: DOI: 10.1007/978-3-642-41115-1.
6. K. Jensen, LM. Kristensen, Coloured Petri Nets: Modelling and validation of concurrent systems. Berlin: Springer; 2009. [E-book] Available: DOI: 10.1007/b95112.
7. Ya. V. Yaroshenko ta inshi, “Alhorytm protsesu upravlinnia spilnoiui aviatsiinoiu hrupoiui za etapamy boiovoho polotu”, Povitriana mits Ukrainy, № 2(3), hrud. 2022, s. 29-34.

## **ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-46-50

**УДК 623.486**

**Дранник Павло Анатолійович** (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)

<https://orcid.org/0000-0002-6073-2962>

**Кітік Сергій Володимирович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-0133-6521>

**Паталаха Валерій Григорович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-3105-4402>

**Целіщев Юрій Павлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБСЛУГОВУВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ**

*Результати проведеного аналізу сучасного стану та умов експлуатації зенітного ракетного озброєння свідчать про наявність нелінійної залежності показників ефективності технічного обслуговування від періодичності проведення технічних обслуговувань, а розрахунок показників ефективності технічного обслуговування може бути здійснений лише на основі адекватної математичної моделі процесу експлуатації, притаманного для конкретних типів зразків техніки. Тому метою даної статті є створення методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації.*

**Ключові слова:** *технічне обслуговування, експлуатація, зенітне ракетне озброєння.*

#### **Вступ**

Аналіз сучасного стану та умови експлуатації зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України [1] під час проведення антитерористичної операції дозволив встановити основні проблемні питання експлуатації зенітного ракетного озброєння. Було встановлено, що існуюча система технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння неповною мірою забезпечує виконання покладених на неї завдань щодо підтримання зразків озброєння у боездатному стані. Це пов'язано з тим, що прийнята у Збройних Силах України планово-попереджувальна стратегія технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки розрахована переважно на підтримання у працездатному стані зразків, які перебувають в експлуатації не більше термінів, визначених заводами-виробниками.

Саме тому у сучасних умовах актуальним завданням щодо підтримання у справному стані експлуатації зенітного ракетного озброєння, яке експлуатується понад 30 років, є пошук шляхів підвищення ефективності його експлуатації.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння є визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань для кожного типу радіоелектронних

засобів.

Існуючий науково-методичний апарат визначення періодичності проведення та обсягів робіт із технічного обслуговування не враховує впливу напрацювання і терміну перебування в експлуатації на технічний стан зразків озброєння, тому за його допомогою не можливо визначити оптимальну періодичність проведення технічних обслуговувань для зразків, які перебувають в експлуатації більше 30 років. Обмеженість науково-методичного апарату зумовлена і тим, що у ньому практично не використовують результатів наукових досліджень із проблем зміни технічного стану зразків озброєння залежно від напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації.

Таким чином, актуальним є наукове завдання, яке полягає в розробленні методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння.

Проведений аналіз робіт [2,3], в яких досліджувались можливості та методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань різних типів техніки, доводить існування оптимальних значень періоду проведення технічних обслуговувань.

Встановлено, що значні труднощі виникають в процесі створення моделі процесу експлуатації та визначення аналітичних виразів для проведення

розрахунків. Крім того, моделі процесу експлуатації, які використовуються у вказаних роботах, не враховують особливостей процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння та не можуть бути використані для розрахунку показників ефективності їх технічного обслуговування.

### Матеріали та методи

Запропонована методика ґрунтується на оптимізації показника ефективності експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння – коефіцієнта технічного використання  $K_{me}$ .

Головним завданням методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння є забезпечення підтримання коефіцієнту технічного використання на максимальному рівні у процесі експлуатації з мінімальними витратами часу і матеріальних ресурсів. Методика призначена для зразків, які перебувають в експлуатації понад встановлені заводами-виробниками терміни, тобто більше 20 років.

Вихідними даними для розрахунків є: параметри дифузійно-немонотонний закон розподілу часу напрацювання зразка на відмову: параметр масштабу  $\mu$  та параметр форми  $\nu$ ; інтенсивність надходження сигналів помилкових тривог  $\lambda$ ;

тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування  $t_s$ ;

тривалість контролю зовнішніми засобами контролю  $t_s^*$ ;

тривалість виконання профілактичних робіт  $t_p$ ;

тривалість відновлення у разі відмови  $t_v$ ;

достовірність правильного визначення справного стану вбудованими засобами контролю  $d$ ;

імовірність надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю  $\rho$ .

Методика може бути використана для визначення періоду проведення технічних обслуговувань  $T$  як зразків радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, так і інших видів озброєння та військової техніки, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації та потребують проведення технічних обслуговувань через визначений час.

Етапи реалізації методики показані у вигляді блок-схеми на рис. 1.

Під час побудови графу станів напівмарківської моделі процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння необхідно враховувати, що роботи технічного обслуговування проводяться через невідповідний інтервал часу. В проміжках часу між технічними обслуговуваннями можливі відмови техніки, які будемо називати аварійними. В разі виникнення аварійної відмови проводиться повне відновлення зразка техніки. Крім аварійних відмов, можуть бути так звані помилкові відмови, коли від вбудованої системи

контролю надходить сигнал про відмову справної техніки. Такі відмови прийнято називати помилками першого роду, які складають приблизно 5% від загальних відмов.

Вбудована система контролю постійно контролює окремі найбільш важливі або узагальнені показники працездатності виробу, наприклад напругу джерел живлення, працездатність систем термостатування, потужність передавача, коефіцієнт шуму приймача, коефіцієнти підсилення радіоканалів тощо.

Зовнішня система контролю використовується під час проведення робіт технічного обслуговування для перевірки технічних параметрів та їх налаштування в межі допусків, що визначені в технічній документації. Така система контролює набагато більше параметрів і має значно більшу достовірність контролю, ніж вбудована система контролю.



**Рисунок 1.** Блок-схема методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння

### Результати

Схематичне зображення графу станів напівмарківської моделі процесу експлуатації

радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння показано на рис.2.

Для скорочення радіоелектронний засіб зенітного ракетного озброєння будемо називати об'єктом контролю (ОК). Граф станів (рис.2) враховує наступні стани ОК і системи контролю:

$S_1$  – ОК працює за призначенням у працездатному стані;

$S_2$  – на ОК проводиться контроль технічного стану та виконуються профілактичні роботи, при чому в ОК несправності немає;

$S_3$  – на ОК проводиться контроль технічного стану, при цьому в ОК є несправність, яка виникла на переході  $S_1-S_3$  в момент  $0 < \tau < T$ , не була виявлена вбудованою системою контролю і не вплинула на працездатність ОК;

$S_4$  – виконується повне відновлення ОК;

$S_5$  – в момент часу  $0 < \tau < T$  вбудованою системою контролю зафіксована відмова ОК;

$S_6$  – в момент  $0 < \tau_p < T$  вбудованою системою контролю зафіксований помилковий сигнал про відмову ОК.

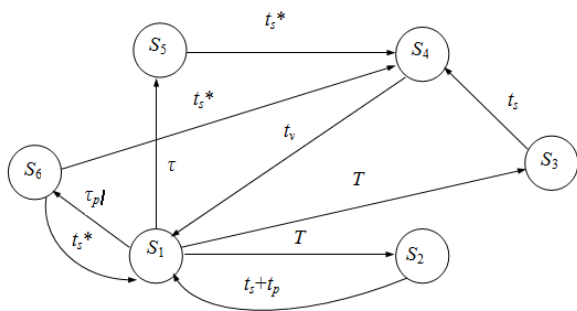


Рисунок 2. Граф станів напівмарківської моделі процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння

На рис.2 використовуються такі позначення:

$T$  – період проведення регламентних робіт;

$t_s$  – тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування ОК;

$t_s^*$  – тривалість перевірки ОК зовнішньою системою контролю;

$t_p$  – тривалість виконання профілактичних робіт;

$t_v$  – тривалість аварійного відновлення;

$\tau$  – випадковий час надходження від вбудованої системи контролю сигналу про відмову;

$\tau_p$  – випадковий час надходження від вбудованої системи контролю помилкового сигналу про відмову.

Для радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння найбільш придатним вважається дифузійно-немонотонний (DN) закон розподілу часу безвідмовної роботи [5].

Функція розподілу та імовірність безвідмовної роботи для такого закону розподілу мають вигляд відповідно:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \exp[2v^{-2}] \Phi\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \quad (1)$$

$$P(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - \exp[2v^{-2}] \Phi\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \quad (2)$$

де  $t$  – поточний час;

$\mu$  – параметр масштабу;

$v$  – параметр форми;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt - \text{функція Лапласа.}$$

Параметр масштабу має розмірність одного року, а параметр форми – безрозмірний.

Точкові оцінки параметрів дифузійно-немонотонного розподілу доцільно визначати за результатами експлуатаційних спостережень, використовуючи розрахункові формули для планів [NUT] або [NUT] [6,7]:

$$1 - \frac{1}{\mu m} \sum_{i=1}^m t_i - (N - m) \cdot \left\{ \frac{2e^{v^2} \Phi_0\left(\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)}{\left[\Phi_0\left(\frac{\mu-t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right) - e^{v^2} \Phi_0\left(-\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)\right]} \right\} = 0 \quad (3)$$

$$v^2 + \frac{1}{\mu m} \sum_{i=1}^m t_i - \frac{\mu}{m} \sum_{i=1}^m (t_i)^{-1} + (N - m) \cdot \left\{ \frac{2v\sqrt{\mu} \exp\left(-\frac{(\mu-t_m)^2}{2v^2\mu t_m}\right)}{m\sqrt{2\pi t_m} \left[\Phi_0\left(\frac{\mu-t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right) - e^{v^2} \Phi_0\left(-\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)\right]} \right\} = 0 \quad (4)$$

Матриця імовірностей переходів між станами процесу для запропонованої моделі має вигляд:

$$P_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & 0 & P_{15} & P_{16} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 1-d & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де

$$P_{12} = P(T) e^{-\lambda T}$$

$$P_{13} = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$$

$$P_{15} = \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$$

$$P_{16} = \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt$$

Матриця функцій розподілу часу перебування в станах процесу має вигляд:

$$F_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & T & T & 0 & F_{15}(t) & F_{16}(t) \\ t_3 + t_p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \\ t_v & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \\ t_3^* & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де

$$F_{15}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda t} dF(t)}{\int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)}$$



$$F_{16}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt}{\int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt}$$

Складові вектору частот потрапляння ланцюга Маркова до стану  $i$   $\pi_i(T)$  визначаються з системи рівнянь (7)

$$\left. \begin{aligned} \bar{\pi}_i(T) &= \bar{\pi}_i(T)P_{ij}(T) \\ \sum_{i=1}^6 \pi(T) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де  $\bar{\pi}_i(T)$  – вектор частот потрапляння ланцюга Маркова до стану  $i$ ;

$P_{ij}(T)$  – матриця імовірностей переходів між станами процесу.

Після підстановки матриці (5) в рівняння (7) отримаємо значення компонент вектора  $\bar{\pi}_i(T)$  шляхом розв'язання наступних рівнянь

$$a(T) = \frac{1}{1 + P_{12} + 2P_{13} + 2P_{15} + P_{16}(2 - d)}$$

$$\pi_1(T) = a(T);$$

$$\pi_2(T) = a(T)P_{12};$$

$$\pi_3(T) = a(T)P_{13};$$

$$\pi_4(T) = a(T)(P_{13} + P_{15} + P_{16} \cdot [1 - d]);$$

$$\pi_5(T) = a(T)P_{15};$$

$$\pi_6(T) = a(T)P_{16};$$

Далі визначаємо середні тривалості перебування у станах процесу. Так, для стану  $S_l$  отримаємо

$$\begin{aligned} \eta_1(T) &= [1 - F(T)]e^{-\lambda T} + (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)T + \\ &+ \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)T \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF_{15}(t) + \\ &+ \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt \cdot \int_0^T t dF_{16}(t) \end{aligned}$$

Для решти станів відповідно  $\eta_2(T) = t_s + t_p$ ,  $\eta_3(T) = t_s$ ,  $\eta_4(T) = t_v$ ,  $\eta_5(T) = t_s^*$ ,  $\eta_6(T) = t_s^*$ .

Коефіцієнт технічного використання визначається з рівняння (8)

$$K_{tv}(T) = \frac{\pi_1(T) \cdot \eta_1(T)}{\sum_{i=1}^6 \pi_i(T) \cdot \eta_i(T)} \quad (8)$$

де в чисельнику – час перебування виробу в працездатному стані, а в знаменнику – час перебування в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом.

Оптимізація функції (8) аналітичним методом представляє значну складність, тому пошук

оптимального значення доцільно здійснювати чисельними методами з використання прикладних комп'ютерних програм.

### Обговорення

На основі статистичних даних, отриманих за результатами експлуатації досліджених зенітних ракетних комплексів було проведено визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань для різних виробів зі складу зенітного ракетного комплексу. Для проведення розрахунків використовувалась система комп'ютерної алгебри Mathcad.

Вихідними даними для розрахунків були:

параметр масштабу  $\mu=100$  год;

параметр форми  $v=0,5$ ;

інтенсивність надходження сигналів

помилкових тривог  $\lambda = 5 \times 10^{-3}$  1/год;

тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування  $t_s = 0,5$  год;

тривалість контролю зовнішніми засобами контролю  $t_s^* = 5$  год;

тривалість виконання профілактичних робіт  $t_p = 4$  год;

тривалість відновлення у разі відмови  $t_v = 10$  год;

достовірність правильного визначення справного стану вбудованими засобами контролю  $d = 0,9$ ;

імовірність надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю  $\rho = 0,7$ .

У результаті проведення розрахунків було визначено, що оптимальний період проведення технічних обслуговувань досліджених виробів складає від 60 до 80 годин. При цьому максимальне значення коефіцієнту технічного використання сягає 0,864, що майже на 10% більше за середнє значення коефіцієнту технічного використання виробів розглянутих зенітних ракетних комплексів.

### Висновки

Представлено методику визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння з використанням дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов. Значення напрацювання, які відповідають оптимальній періодичності проведення технічних обслуговувань, встановлюються за максимальним рівнем коефіцієнта технічного використання Ктв. Розроблена методика, на відміну від існуючих, враховує періодичність і тривалість проведення технічного обслуговування, достовірність контролю обладнання, імовірність надходження сигналів про відмову, коефіцієнти масштабу і форми дифузійно-немонотонного розподілу, тривалість повного відновлення виробу. Застосування представленої методики дозволяє збільшити значення показника ефективності технічного обслуговування в середньому на 12%.

### Список використаних джерел

1. Громенко В.Ю., Авраменко А.В., Кітік С.В. Сучасний стан та умови експлуатації зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил.// Повітряна

міць України. – 2021. – №1(1) – с. 45-52.

2. Яблонский П.М., Пустовой С.А., Авраменко А.В. Математическая модель технического обслуживания изделий авиационной техники с использованием диффузионно-монотонного распределения отказов.// Уральский научный вестник – 2014. – №21(100) – с. 12-22.

3. Лепеш А.Г., Потемкина Т.В. Методика расчета оптимального периода технического обслуживания коммунальной техники.// Техничко-технологические проблемы сервиса – 2017. – №1(39) – с. 14-17.

4. Кіткік С.В. Напівмарківська математична модель технічного обслуговування радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння.//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2019.– №3(36) –

с.29-34.

5. Мірненко В.І., Яблонський П.М., Кіткік С.В. Застосування дифузійно-нестрононого розподілу для моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки.// Social development & Security – 2019. – №6 – с. 37-46.

6. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 42 с. – (Національний стандарт України).

7. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності: ДСТУ 2862-94. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).

## **DETERMINATION OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE WEAPON RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT MAINTENANCE OPTIMUM PERIODICITY**

**Pavlo Drannyk** (Candidate of Military Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0002-6073-2962>

**Serhii Kitik** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-0133-6521>

**Valerii Patalakha** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3105-4402>

**Yury Tselishev** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The results of the modern state and anti-aircraft missile weapons operation conditions analysis indicate that existence of a non-linear dependence of maintenance efficiency indicators on maintenance frequency, and the maintenance efficiency indicators calculation can be carried out only on the basis of an adequate mathematical model for operation process which inherent for specific types of equipment samples. Therefore, the article's purpose is to create a method for determining of the technical maintenance of radio-electronic means of anti-aircraft missile weapons optimal frequency, which operated according to a planned and preventive operation strategy.*

**Keywords:** maintenance, exploitation, anti-aircraft missile weapons.

### **References**

1. Ghromenko V.Ju., Avramenko A.V., Kitik S.V. Suchasnyj stan ta umovy ekspluatatsiji zenitnogo raketnogo ozbrojennja Povitryanjnykh Syl Zbrojnykh Syl.// Air Power of Ukraine. – 2021. – №1(1) – с. 45-52.

2. Jablonskyj P.M., Pustovoj S.A., Avramenko A.V. Matematyčeskaja modelj tehnyčeskogho obslužyvanyja yzdelj avyacyonnoj tekhniky s yspoljzovanyem dyffuzyionno-monotonnogho raspredelenija otkazov.// Uraljskyj nauchnyj vestnyk – 2014. – №21(100) – с. 12-22.

3. Lepesh A.Gh., Potemkina T.V. Metodyka rasčeta optymal'nogho peryoda tehnyčeskogho obslužyvanyja komunal'noj tekhniky.// Tekhnyko-tekhnologičeskye problemy servysa – 2017. – №1(39) – с. 14-17.

4. Kitik S.V. Napivmarkivjska matematyčna

modelj tehničnogho obslužovuvannja radioelektronnykh zasobiv zenitnogho raketnogo ozbrojennja.// Suchasni informacijni tekhnologiji u sferi bezpeky ta oborony – 2019. – №3(36) – с. 29-34.

5. Мірненко В.І., Яблонський П.М., Кіткік С.В. Застосування дифузійно-нестрононого розподілу длja моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки.// Social development & Security – 2019. – №6 – с. 37-46.

6. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 42 с. – (Національний стандарт України).

7. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності: ДСТУ 2862-94. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).

<sup>1</sup>Опенько Павло Вікторович (кандидат технічних наук, старший дослідник)

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

<sup>1</sup>Феськов Олександр Сергійович

<https://orcid.org/0000-0002-6420-6839>

<sup>1</sup>П'явчук Олександр Олександрович

<https://orcid.org/0000-0002-5623-1866>

<sup>2</sup>Федоров Олексій Валерійович

<https://orcid.org/0000-0002-0905-027X>

<sup>1</sup>Національний університет оборони України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## РОЗВИТОК ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

*Метою статті є удосконалення інформаційного забезпечення технологічного процесу ремонту (відновлення) зразків озброєння та військової техніки зенітного ракетного озброєння при застосуванні мобільного ремонтно-діагностичного комплексу шляхом створення системи об'єктивного контролю технологічного циклу на базі сучасних пристроїв фіксації інформації. Наведений варіант удосконалення системи інформаційного забезпечення технологічного процесу ремонту (відновлення) зразків озброєння, реалізований за допомогою системи об'єктивного контролю, до складу якої повинні входити пристрій реєстрації інформації, багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки відеоінформації, аудіоінформації, інформації про технічні параметри функціонування зразка озброєння та військової техніки, що відповідають сучасним тенденціям. Запропонована система буде уніфікованою та дозволить проводити об'єктивний контроль виконання завдань за призначенням як на бойових засобах, так і на технічних засобах зенітного ракетного озброєння.*

**Ключові слова:** інформаційне забезпечення, технічна експлуатація, ремонт (відновлення), документування, засоби об'єктивного контролю, зразок озброєння та військової техніки.

### Вступ

На даний час в зенітних ракетних військах Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України отриманий значний досвід виконання завдань за призначенням. По-перше, систематичні нанесення противником ударів по важливих державних об'єктах, об'єктах інфраструктури і інших цивільних об'єктах із застосуванням практично усього наявного спектру засобів повітряного нападу вимагає забезпечувати перебування зенітного ракетного озброєння (ЗРО) в постійній готовності до виконання бойових завдань. По-друге, на даний час успішно використовуються зразки ЗРО як радянського виробництва, так й іноземного виробництва, які були отримані у якості військово-технічної допомоги. По-третє, зразки ЗРО з певною ймовірністю можуть отримати пошкодження або на них можуть бути виявлені відмови не тільки в районі виконання бойових завдань, а і за його межами.

Високу ефективність застосування ЗРО неможливо досягти без підтримання в боеготовому стані озброєння і військової техніки (ОВТ), вирішення якого покладається на систему логістичного забезпечення (ЛЗ) ЗС України, до складу якої належать забезпечення військових частин і підрозділів зразками ОВТ, їх технічне обслуговування і ремонт (відновлення) (ТОіР). Стан більшості засобів ТОіР ЗРО, які розроблялися підприємствами – виробниками колишнього

Радянського Союзу та поставлялась у військові частини разом із зразками ОВТ мають низку недоліків, однією з причин яких є технологічна недосконалість у порівнянні з сучасними виробами аналогічного призначення. На теперішній час, виходячи з об'єктивних причин старіння, технічний стан засобів ТОіР, особливо рухомих, не відповідає вимогам, зазначеним в нормативно-технічній документації.

Для забезпечення відновлення ОВТ необхідно вирішити завдання раціонального використання сил та засобів у системі ЛЗ, підвищити ефективність робіт за рахунок скорочення часу на відновлення шляхом використання сучасних мобільних ремонтно-діагностичних засобів, що дасть можливість розширити спектр робіт з відновлення ЗРО, скоротити час та раціоналізувати планування своєї діяльності тощо.

Досвід країн-членів НАТО свідчить про широке використання цифрових інформаційних технологій у військовій сфері, що робить допоміжну роботу обладнання, таку як збір допоміжної інформації, аналіз та скринінг суджень, поширення та обробку в реальному часі, а також пріоритетне зберігання та передачу більш надійними та точними. Країни-члени НАТО значно збільшили фінансування на запровадження високотехнологічного допоміжного обладнання, швидко покращуючи загальну продуктивність всього логістичного забезпечення. Застосовуючи технології штучного інтелекту,

хмарні технології тощо до обладнання для моніторингу стану та діагностики несправностей, вони наділяються людською свідомістю та здатністю аналізувати та оцінювати. Щоб досягти таких характеристик, як низька вартість розробки, короткий цикл розробки, висока ремонтпридатність та простота використання обладнання загального призначення, розробники країн-членів НАТО завжди надавали перевагу розробці обладнання загального призначення з безліччю функцій, високою ефективністю та високим ступенем комплексності.

З метою усунення протиріччя між потребами в сучасних засобах діагностування, ТОіР ЗРО та можливостями існуючих систем щодо задоволення потреб у сучасних умовах доцільно застосовувати мобільні ремонтно-діагностичні комплекси (МРДК), що пропонуються як засоби ТОіР та відновлення на оперативному рівні, обґрунтовано призначення та склад якого, вказано основні вимоги та варіанти реалізації компонентів МРДК, способів його доставки та застосування [1], запропонований опис процесу його функціонування [2-7].

Отже, в умовах сьогодення дуже актуальним є питання необхідності перегляду підходів до організації експлуатації, ТОіР (відновлення) зразків ЗРО на стадіях їх життєвого циклу “використання” та “підтримка”. Тому виникає гостра необхідність удосконалення системи інформаційного забезпечення процесу ТОіР ЗРО та створення об’єктивної системи управління технічним циклом відновлення (ремонту) та обслуговування його складових частин на базі сучасної апаратури реєстрації інформації.

Питанням щодо здійснення об’єктивного контролю, в тому числі під час виконання технологічних процесів з ремонту ОВТ присвячені нормативно-правові акти та низка наукових робіт [1-14]. Так, в [2-7] наведені підходи щодо організації технологічного процесу застосування МРДК, орієнтовані на поопераційне управління діями операторів при виконанні дискретних технологічних процесів ремонту складових частин зразків ОВТ та їх контролю. Реалізацію цього напрямку запропоновано за допомогою створення автоматизованої системи управління МРДК, яка включає центральний комп’ютер з попередньо завантаженою в його пам’ять інтерактивною електронною документацією та автоматизовані робочі місця (за допомогою яких здійснюватиметься управління технологічними операціями), об’єднані за допомогою інтерфейсної магістралі в локальну обчислювальну мережу.

В [8] наведено призначення, завдання, порядок організації та здійснення об’єктивного контролю в державній авіації України. Специфіка проведення об’єктивного контролю на авіаційних засобах значно відрізняється від специфіки проведення контролю на зразках ЗРО, тому використання положень нормативного документу для бойових та технічних засобів в зенітних ракетних військах є недоцільним.

В [9] створено варіант програмно-апаратного комплексу, призначеного для просторово-часової інтеграції даних від засобів автоматичного наведення всіх підрозділів і пунктів управління частинами в рамках цифрової карти району бойових дій під управлінням частини під час бойових дій; розрахунок досяжних просторових та кількісних характеристик вогневої могутності підрозділів та частин у цілому; під час навчання за допомогою додаткової інформації (втрати, витрати матеріально-технічних засобів тощо) штаб повідомляє документи за результатами бойових дій; факти та причини неповного досягнення всіх завдань підрозділів та бойових можливостей всього підрозділу при цьому. Пропонується використовувати алгоритм для оцінки потенційних спалахів у конкретних умовах повітряного середовища та перешкод, удосконалити алгоритм цілерозподілу, ідентифікувати малорозмірні цілі на малій висоті та малій висоті та покращити обладнання для навчання та моделювання.

В [10] проведений аналіз існуючих нормативно-правових документів організації проведення об’єктивного контролю ведення бойової роботи на бойових засобах ЗРО, наведені шляхи модернізації (переоснащення) існуючих засобів об’єктивного контролю ЗРО.

Під відновленням ОВТ розуміємо комплекс організаційно-технічних заходів, спрямованих на приведення зразків ОВТ, що вийшли з ладу в ході експлуатації, у готовність до використання за призначенням, і включає технічну розвідку, евакуацію, ремонт (відновлення працездатності) зразків ОВТ та доведення їх до боездатного стану.

Таким чином, проведений аналіз показав, що існуючі наукові розробки та нормативно-правові документи в основному орієнтовані на організацію проведення об’єктивного контролю ведення бойової роботи на окремих зразках ЗРО та не враховують особливості організації технологічного процесу ремонту зразків озброєння ЗРО із застосуванням МРДК. В той же час питанню створенню (модернізації) існуючих засобів об’єктивного контролю технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин приділяється недостатня увага.

Мета статті. Розробка пропозицій щодо розвитку інформаційного забезпечення відновлення зразків ЗРО шляхом створення системи об’єктивного контролю технологічного циклу відновлення зразків ОВТ та їх складових частин на базі сучасних типів пристроїв фіксації інформації.

### **Матеріали та методи**

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

### **Результати**

За результатами узагальнення досвіду країн-членів НАТО запропоновано під час організації експлуатації, відновлення (ремонту) та технічного обслуговування ЗРО в органі військового управління оперативного рівня крім існуючих

вирішення наступних задач, результати яких застосовувати в мобільних ремонтно-відновлювальних органах (тактичного та оперативного рівня), а саме:

постійний моніторинг (збір і обробка даних про стан зразків, тип, чергу, пріоритет обслуговування), яка оновлюється з певною періодичністю і прогнозуватиме черговість виконання задач на наступний період виконання завдань за призначенням. Необхідно, щоб були враховані наявність особового складу, матеріальних засобів (ресурсів, ЗП), транспортної мережі, відстані до місця проведення, прогнозовані результати і час виконання;

завантаженість ремонтно-відновлювальних підрозділів оперативного та тактичного рівнів на визначений час із розрахунковими прогнозованими можливостями, такими як об'єм задач, забезпеченість матеріальними засобами (ресурсами, ЗП), навченість та кваліфікація особового складу, час відновлення та інше. Розподіл пошкоджених зразків ОВТ по ремонтно-відновлювальних підрозділах оперативного та тактичного рівнів доцільно буде проводити за результатами прогнозування ймовірності отримання пошкоджень зазначеними зразками за розробленими методиками.

Отже, враховуючи той факт, що зареєстрована інформація за допомогою спеціального програмного забезпечення може відтворюватися на будь-якому автоматизованому робочому місці (АРМ), створеному на базі персональної електронної обчислювальної машини (ПЕОМ), запропоновано для вирішення вищенаведених задач систему об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння ЗРО із застосуванням МРДК доцільно створити на базі автоматизованої системи управління МРДК [2-7]. Вона повинна мати в своєму складі пристрій реєстрації інформації (ПРІ), який за своєю суттю є багатоканальним цифровим реєстратором, до складу якого входять:

- багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки відеоінформації, що здатні здійснювати запис відео необхідної якості;
- багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки аудіоінформації, що здатні здійснювати запис аудіо необхідної якості;
- багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ (технологічного циклу ремонту зразка ОВТ та його складових частин).

Структурна схема такої системи об'єктивного контролю (варіант) наведена на рис. 1.

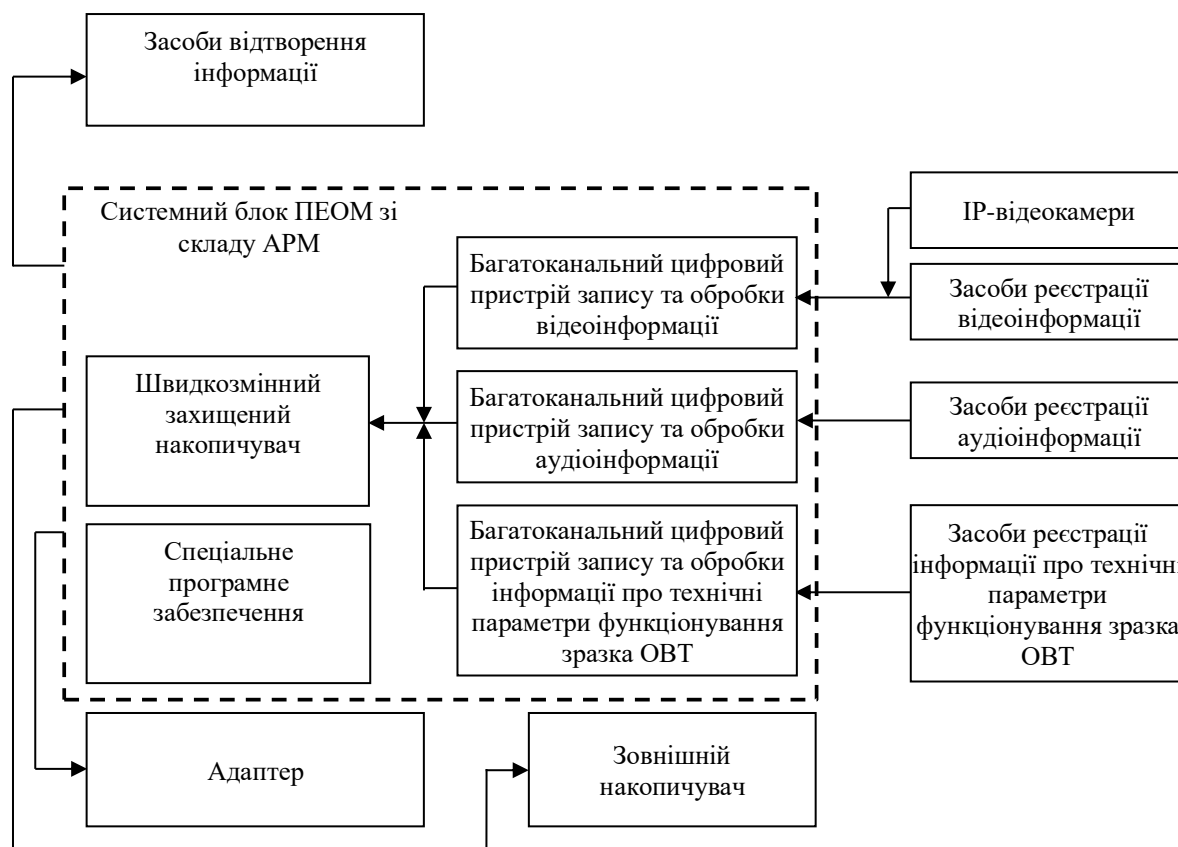


Рисунок 1. Перспективна система об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння ЗРО

Перспективним варіантом забезпечення документування технологічного процесу ремонту зразків озброєння МРДК ЗРО є розробка ПРІ системи об'єктивного контролю у вигляді

універсального багатоканального цифрового реєстратора, який за своїми характеристиками в подальшому міг би встановлюватися на будь-який зразок ОВТ [15].

Основними перевагами даного варіанту є:

– відсутність необхідності розробки окремих пристроїв реєстрації інформації для кожного типу зразків ОВТ (не буде необхідності виготовлення малих серій таких блоків), адаптація до конкретного типу зразка ОВТ буде здійснюватися за рахунок спеціалізованих модулів (складових частин пристроїв);

– економічність (вигідний для підприємств оборонно-промислового комплексу з точки зору масштабів серійного виробництва);

– можливість подальшого розповсюдження як на зразки ОВТ (радіолокаційні станції, пункти управління, бойові машини) інших родів військ, так і на перспективні засоби їх технічної експлуатації і ремонту.

Деяка надлишковість можливостей універсального ПРІ системи об'єктивного контролю при встановленні на конкретні типи зразків озброєння компенсуватиметься:

– відсутністю витрат на розробку індивідуальних (під конкретних тип зразка ОВТ) блоків об'єктивного контролю;

– уніфікацією складових пристроїв, а відтак, обмеженням номенклатури необхідних запасних частин.

Зрозуміло, що для такого варіанту системи об'єктивного контролю найбільш доцільним шляхом реалізації підключення засобів реєстрації до ПРІ та спряження його зі штатними каналами документування зразка озброєння є попередня обробка (перетворення) інформації, яка реєструється, з аналогової до цифрової форми з подальшим використанням обладнання широко розповсюджених комп'ютерних мережевих рішень. В такому разі система об'єктивного контролю на зразку ОВТ представлятиме локальну комп'ютерну мережу з відомими і достатньо добре проробленими конструктивними рішеннями. Система об'єктивного контролю повинна мати у своєму складі:

– пристрій реєстрації інформації, який є основною складовою частиною системи і призначений для здійснення управління режимами роботи блоку об'єктивного контролю, зберігання, прийому, обробки і видачі інформації у цифровій формі;

– багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки відеоінформації, який призначений для здійснення перетворення (обробки) інформації, що надходить від відповідних засобів реєстрації (цифрові відеокамери, фотоапарати) у форму, яка передбачена для вводу у ПРІ;

– багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки аудіоінформації, який призначений для здійснення перетворення (обробки) інформації, що надходить від відповідних засобів реєстрації (система мовного зв'язку, внутрішній телефонний зв'язок) у форму, яка передбачена для вводу у ПРІ;

– багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ (технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин), який

призначений для здійснення двонаправленого перетворення (обробки) інформації, що надходить (видається) від (до) штатних каналів реєстрації інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ (апаратура документування) та (або) технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин у форму (з форми), яка передбачена для вводу у ПРІ;

– адаптер живлення апаратури системи об'єктивного контролю від бортової мережі зразка ОВТ (МРДК ЗРО);

– спеціальне програмне забезпечення, яке призначене для обробки і відтворення інформації, що записана до блоку об'єктивного контролю, для використання на сторонніх ПЕОМ.

Пристрій реєстрації інформації для реалізації своїх функцій повинен мати у своєму складі:

– швидкознімний захищений зовнішній накопичувач (комплект поставки повинен включати резервні накопичувачі для забезпечення безперервності документування);

– роз'єми для підключення зовнішніх носіїв інформації, пристроїв запису та обробки інформації, засобів реєстрації з цифровими каналами зв'язку (IP-камери);

– блок управління для вибору режиму роботи ПРІ, наприклад, робота (документування, відтворення) у складі зразка ОВТ, автономна робота;

– дисплей для інформування обслуги про режим роботи ПРІ зі складу штатної апаратури модуля управління МРДК, на якому відображаються величини окремих контрольованих параметрів, результати виконання відновлювальних робіт, можливі несправності, тощо.

Захищений накопичувач є носієм зареєстрованих даних. В якості такого накопичувача доцільно використовувати зовнішній запам'ятовуючий пристрій довготривалого енергонезалежного збереження даних (HDD, SSD-накопичувачі, тощо), який під'єднується через USB-роз'єм. Це рішення дозволить здійснювати обробку зареєстрованих даних за межами зразка ОВТ, відправлення цих даних каналами зв'язку до зацікавлених сторін, тощо.

В якості роз'ємів для підключення багатоканальних цифрових пристроїв запису та обробки інформації, засобів реєстрації з цифровими каналами зв'язку найбільш доцільним варіантом є використання відомих мережевих інтерфейсів (наприклад, типу Ethernet). В такому разі в якості каналів інформаційного обміну у системі об'єктивного контролю можливо буде використовувати широко розповсюджені лінії передачі даних, які будуються на використанні екранованої витієї пари.

Блок управління може бути виконаний за допомогою сучасних рішень засобів вводу інформації і команд (окремі тумблери, наборне поле, спеціалізована клавіатура, тощо).

В якості дисплею може використовуватись сучасний електронний пристрій візуального відображення інформації (багатофункціональний

індикатор, монохромний дисплей, сенсорний дисплей, тощо), який реалізований в МРДК в модулі управління [7], та у разі використання сенсорного дисплею він може частково або повністю взяти на себе функціонал пульта управління.

Багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки відео та аудіо формації представляють собою пристрої, в яких здійснюється аналого-цифрове перетворення сигналів та формування з результатів цього перетворення інформаційних пакетів згідно протоколу мережевого обміну для передачі їх до МРІ. Багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки відеоінформації може бути відсутній. В такому разі це обмежить діапазон використання в якості засобів відео реєстрації ІР-камерами.

Багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ представляє собою вибір, в якому здійснюється:

– в режимі документування – аналого-цифрове перетворення сигналів та формування з результатів цього перетворення інформаційних пакетів згідно протоколу мережевого обміну для передачі їх до ПРІ;

– в режимі відтворення (тренажу) – формування з інформаційних пакетів, переданих згідно протоколу мережевого обміну від ПРІ, сукупності цифрових сигналів та їх подальше цифро-аналогове перетворення для видачі до штатних каналів реєстрації об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння МРДК ЗРО (апаратура документування).

Адаптер живлення апаратури блоку об'єктивного контролю від бортової мережі зразка ОВТ може бути виконаний як багатоканальний DC-DC перетворювач за відомими схемами стабілізації з широтно-імпульсною модуляцією.

Спеціальне програмне забезпечення для обробки і відтворення інформації, яка записана до блоку об'єктивного контролю, на сторонніх ПЕОМ повинно мати наступний функціонал:

– можливість перегляду (прослуховування) та обробки збереженої інформації з кожного окремого засобу реєстрації відео, аудіо (або мовної) інформації;

– можливість обробки (перетворення) збереженої інформації, яка надійшла з штатних каналів реєстрації об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння МРДК ЗРО (апаратури документування), для подальшого аналізу.

### **Обговорення**

Запропонована система об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння ЗРО із застосуванням МРДК (див. рис. 1) буде використана за призначенням наступним чином. Після прибуття МРДК на місце проведення робіт здійснюється переведення обладнання його модулів з транспортного положення в робоче, виносний термінал з необхідним комплектом

змінних вимірювальних пристроїв та пристроїв формування стимулюючих дій розгортається на ділянці дефектації, розбирання, післяремонтного збирання і налаштування відремонтованого зразка ОВТ. Центральний комп'ютер АСУ МРДК, АРМ переводяться у робоче положення. При контролі технічного стану зразка ОВТ з центрального комп'ютера АСУ МРДК на виносний термінал видається інтерактивна електронна ремонтна документація, яка містить вказівки ремонтному персоналу щодо послідовності їх дій, показові зображення фрагментів конструкції виносної контрольно-перевірочної апаратури з вказівкою місць підключення вимірювальних пристроїв із складу виносного терміналу.

Вимірювані за допомогою виносного терміналу величини параметрів технічного стану контрольованої частини зразка ОВТ порівнюються з допустимими. Виявлення невідповідності отриманих значень з допустимими є ознакою наближення апаратури до граничного стану або ознакою відмови. Шляхом послідовних вимірів у визначених місцях на основі вказівок ремонтної документації виявляють несправні змінні СЧ нижнього рівня розукрупнення. Далі, підозрювані на відмову змінні конструктивні елементи вилучають, а на їх місце встановлюють справні змінні елементи (ЗЕ) того ж типу з комплекту ЗІП. Повторними вимірами за допомогою виносного терміналу підтверджують відновлення працездатності зразка ОВТ [7].

Отримана системою об'єктивного контролю технологічного процесу ремонту зразків озброєння ЗРО із застосуванням МРДК відеоінформація від ІР-відеокамер та цифрових відеокамер (фотоапаратів) надходить на багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки відеоінформації, де здійснюється її обробка. Аудіоінформація від засобів реєстрації аудіоінформації надходить на багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки аудіоінформації, де здійснюється її обробка. Інформація про технічні параметри функціонування зразка ОВТ та (або) технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин від засобів реєстрації інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ під час виконання завдань із застосуванням МРДК надходить на багатоканальний цифровий пристрій запису та обробки інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ, де здійснюється її обробка. Після чого вся отримана інформація з виходів відповідних багатоканальних цифрових пристроїв передається на вхід накопичувача зазначеного АРМ, де здійснюється її збереження, при цьому в випадку переповнення накопичувача ПЕОМ зі складу АРМ інформація буде передаватися та зберігатися на зовнішньому накопичувачу.

Всі проміжні і остаточні результати виконаних операцій з контролю технічного стану і ремонту зразка ОВТ за допомогою терміналу в діалоговому режимі вводять в центральний комп'ютер, у тому

числі – дані по несправні змінні конструктивні елементи, вилучені зі зразка ОВТ в процесі його ремонту.

### **Висновки**

Таким чином, за результатами проведеного аналізу встановлено, що існуючі наукові розробки та нормативно-правові документи в основному призначені для організації проведення об'єктивного контролю дій літальних апаратів, бойових засобів ЗРО та не враховують особливості організації технологічного процесу ремонту зразків ЗРО із застосуванням МРДК. Крім того, вирішенню питання створення (модернізації) існуючих засобів об'єктивного контролю технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин приділяється недостатня увага.

Запропоновані перспективні напрями розвитку системи інформаційного забезпечення відновлення зразків озброєння ЗРО із застосуванням МРДК шляхом створення системи об'єктивного контролю технологічного циклу ремонту зразків ОВТ та їх складових частин на базі сучасних типів пристроїв фіксації інформації, до складу якої повинні входити пристрій реєстрації інформації, багатоканальні цифрові пристрої запису та обробки відеоінформації, аудіоінформації, інформації про технічні параметри функціонування зразка ОВТ (технологічного циклу ремонту зразка ОВТ та його складових частин).

### **Список використаних джерел**

1. Опенько П. В. Обґрунтування підходів до створення перспективного мобільного ремонтно-діагностичного комплексу зенітного ракетного озброєння / П. В. Опенько, В. В. Старцев, М. Б. Бровко // Збірник наукових праць НУОУ “Труди університету”. – 2016. – вип. № 3(136). – С. 103-109.
2. Патент на корисну модель № 127294 – № u 2018 01705 Заяв. 20.02.2018; Опубл. 25.07.2018; Бюл. № 14. – 11 с.
3. Патент на корисну модель № 132114 – № u2018 09313 Заяв. 12.09.2018; Опубл. 11.02.2019; Бюл. № 3. – 11 с.
4. Патент на корисну модель № 136544 – № u2019

01939 Заяв. 26.02.2019; Опубл. 27.08.2019; Бюл. № 16. – 11 с.

5. Патент на корисну модель № 144561 – № u2020 02678 Заяв. 04.05.2020; Опубл. 12.10.2020; Бюл. № 19. – 11 с.

6. Патент на корисну модель № 146578 – № u2020 06402 Заяв. 02.10.2020; Опубл. 03.03.2021; Бюл. № 9. – 11 с.

7. Патент на корисну модель № 150783 – № u2021 01825 Заяв. 06.04.2021; Опубл. 20.04.2022; Бюл. № 16. – 11 с.

8. Правила об'єктивного контролю в державній авіації України: [введені в дію наказом Міністерства оборони України №860 від 03.12.2014 р.] – К. : 2014. – 48 с.

9. Опалев Ю.І. Апаратно-програмний комплекс для оцінки повноти реалізації можливостей підрозділів в ході проведених дій за даними апаратури об'єктивного контролю / Ю.І. Опалев, С.І. Бурковський, М.О. Стахеев, О.М. Місюра // Системи обробки інформації. – 2005. – Вип. 8 (48). – С. 227-231.

10. Kobzev, V., Vasilyev, V., Doska, O. and Fomenko, D. 2019. Problematic issues and perspective ways for ensuring documentation of battle work on combat means of surface-to-air missile systems (complexes). Journal of Scientific Papers “Social development and Security”. 9, 1 (Mar. 2019), 17-25.

11. Опенько П.В. Перспективи розвитку системи технічного забезпечення зенітних ракетних військ / П. В. Опенько, А. В. Крижний, П. А. Дранник // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем. – 2015. – Вип. 10. – С. 148-157.

12. Андрушко М.В. Дослідження шляхів створення системи об'єктивного контролю сучасних БпАК та уніфікації наземних систем обробки інформації / М.В. Андрушко, С.В. Ратушний // Системи озброєння і військової техніки. – 2018. – Вип. 2 (54). – С. 67-76.

13. Корнеев А.М. Бортовые регистраторы информации (проблемы эксплуатации, перспективы развития) / А.М. Корнеев // Сб. Проблемы безопасности полетов. – М.: 1989. – № 5. – С. 30-43.

14. ОСТ 1 00774-98 Система сбора и обработки полетной информации самолетов (вертолетов). Общие технические требования. – 21 с.

15. Патент на корисну модель № 137252 – № u 2019 03690 Заяв. 10.04.2019; Опубл. 10.10.2019; Бюл. № 19.



## DEVELOPMENT OF INFORMATION SUPPORT FOR THE RECOVERY OF SURFACE TO AIR MISSILE (SAM) WEAPONS

<sup>1</sup>Pavlo Open'ko (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0001-7777-5101>

<sup>1</sup>Oleksandr Feskov

<https://orcid.org/0000-0002-6420-6839>

<sup>1</sup>Pyavchuk Oleksandr Oleksandrovych

<https://orcid.org/0000-0002-5623-1866>

<sup>2</sup>Fedorov Oleksiy Valeriyovych

<https://orcid.org/0000-0002-0905-027X>

<sup>1</sup>The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

*The purpose of the article is to improve the information support of the technological process of repair (restoration) of samples of weapons and military equipment of the mobile repair and diagnostic complex of surface to air missile (SAM) weapons by creating a system of objective control of the technological cycle based on modern information recording devices. The given option for improving the information support system for the technological process of repair (restoration) of weapons samples, implemented with the help of an objective control system, which should include an information registration device, multi-channel digital devices for recording and processing video information, audio information, information about the technical parameters of the functioning of the weapons sample and military equipment in line with modern trends. The proposed system will be unified and will allow objective control of combat work both on combat vehicles and on technical means of anti-aircraft missile weapons.*

**Keywords:** *information support, technical operation, repair (restoration), documentation of combat work, means of objective control, sample of weapons and military equipment.*

### References

1. Openko, P.V. Justification of approaches to the creation of a promising mobile repair and diagnostic complex of anti-aircraft missile weapons / P.V. Openko, V.V. Startsev, M.B. Brovko // Collection of scientific works of NUOU "Works of the University". – 2016. – issue No. 3(136). – P. 103-109.
2. Utility Model Patent No. 127294 - No. u 201801705 Application. 20.02.2018; Publ. 25.07.2018; Bul. No. 14. – 11 p.
3. Utility Model Patent No. 132114 - No. u201809313 Application. 12.09.2018; Publ. 11.02.2019; Bul. No. 3. – 11 p.
4. Utility Model Patent No. 136544 - No. u201901939 Application. 26.02.2019; Publ. 27.08.2019; Bul. No. 16. – 11 p.
5. Utility model patent No. 144561 - No. u202002678 Application. 05/04/2020; Publ. 12.10.2020; Bul. No. 19. – 11 p.
6. Utility model patent No. 146578 - No. u202006402 Application. 02.10.2020; Publ. 03.03.2021; Bul. No. 9. – 11 p.
7. Utility model patent No. 150783 - No. u202101825 Application. 04/06/2021; Publ. 04/20/2022; Bul. No. 16. – 11 p.
8. Rules of objective control in the state aviation of Ukraine: [put into effect by order of the Ministry of Defense of Ukraine No. 860 dated 03.12.2014] - K.: 2014. - 48 p.
9. Opalev Yu.I. A hardware and software complex for assessing the completeness of the realization of the capabilities of subdivisions during the actions taken according to the data of the objective control equipment / Yu.I. Opalev, S.I. Burkovskiy, M.O. Stakheev, O.M. Misura // Information processing systems. – 2005. – Issue 8 (48). – P. 227-231.
10. Kobzev, V., Vasilyev, V., Doska, O. and Fomenko, D. 2019. Problematic issues and perspective ways for ensuring documentation of combat work on combat means of surface-to-air missile systems (complexes). Journal of Scientific Papers "Social development and Security". 9, 1 (Mar. 2019), 17-25.
11. Openko P.V. Prospects for the development of the technical support system of anti-aircraft missile forces / P. V. Openko, A. V. Kryzhnyi, P. A. Drannyk // Problems of creation, testing, application and exploitation of complex information systems. – 2015. – Issue 10. – P. 148-157.
12. Andrushko M.V. Study of ways to create a system of objective control of modern air defense systems and unification of ground information processing systems / M.V. Andrushko, S.V. Town Hall // Systems of weapons and military equipment. – 2018. – Issue 2 (54). – P. 67-76.
13. Korneev A.M. On-board information recorders (problems of operation, perspectives of development) / A.M. Korneev // Sat. Flight safety problems. - M.: 1989. - No. 5. - P. 30-43.
14. OST 1 00774-98 System of collecting and processing flight information of airplanes (helicopters). General technical requirements. - 21 p.
15. Utility model patent No. 137252 - No. u 2019 03690 Application. 10.04.2019; Publ. 10.10.2019; Bul. No. 19. – 4 p.

Смиченко Євген Олександрович

<https://orcid.org/0000-0001-9446-2422>

Поліщук Василь Володимирович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

Миронюк Микола Юрійович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

Коломієць Юрій Миколайович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

Базіло Сергій Михайлович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## АНАЛІЗ РОБОТИ ОРГАНІВ ВІЙСЬКОВОГО УПРАВЛІННЯ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ВІЙСЬК ПРОТЯГОМ 2020 – 2022 РОКІВ В ЗОНІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ СИЛ

*У статті проведено аналіз організації перевезень військ та матеріальних засобів під час здійснення військових перевезень за період з 2020 року по 2022 рік, а також аналіз ефективності функціонування системи перевезень військ та матеріальних засобів у зазначений період. Визначено організаційну структуру, сили та засоби системи, функціональні повноваження та основну цільову функцію щодо організації перевезення військ та матеріальних засобів до споживача. Аналіз системи показав її слабкі і сильні сторони, що надає змогу здійснювати корегування її основної функції у бік покращення. Досвід російсько-української війни показує, що окремі питання, щодо функціонування системи, її ефективності потребують глибокого дослідження та в подальшому удосконалення.*

**Ключові слова:** *військові перевезення, система перевезення військ та матеріальних засобів, залізничний транспорт, організація планування перевезень.*

### Вступ

Протягом 2020 – 2022 років у Збройних Силах України була створена система перевезення військ та матеріальних засобів (СПВМЗ), яка призначена для задоволення потреби військ (сил), що задіяні до виконання завдань на той час в зоні операції об'єднаних сил (ООС), та на теперішній час – в ході російсько-української війни. В ході функціонування СПВМЗ було виявлено ряд проблемних питань щодо її організації, планування та взаємодії з транспортними органами, вплив внутрішніх та зовнішніх чинників на функціонування зазначеної системи які суттєво впливають на ефективність її функціонування щодо забезпечення високої мобільності (маневреності) військ, задоволення військ (сил) матеріально-технічними засобами для виконання поставлених перед ними завдань. Проаналізувавши вплив негативних чинників на функціонування СПВМЗ в зоні проведення ООС, визначивши в подальшому показники та критерії які характеризують ефективність функціонування СПВМЗ, необхідно буде оцінити ефективність функціонування СПВМЗ та надати обґрунтовані рекомендації, щодо підвищення ефективності її функціонування.

### Матеріали та методи

Для з'ясування шляхів вирішення актуальних питань пов'язаних з виконанням підвезення

матеріальних засобів у ході підготовки та проведення ООС, які впливають на якість їх виконання, проведено аналіз організації та здійснення військових перевезень. Вибрано період 2020 – 2022 років оперативного переміщення військових частин (підрозділів), які залучались для виконання завдань у складі угруповань військ (сил) Збройних Сил України або відновлювали боєздатність (формувались). Так як в цей період здійснювались найбільш інтенсивні заходи щодо переміщення військ (сил) та їх матеріально-технічних засобів у визначеній зоні, тому він і був обраний для проведення дослідження.

### Результати

Розгортання угруповань військ на Сході країни вимагало виконання протягом двох останніх років значних обсягів підвезення матеріальних засобів, які пов'язані з проведенням перегрупування військ, відновлення їхньої боєздатності, підвезення необхідних матеріально-технічних засобів, евакуації несправного озброєння та військової техніки (ОВТ), поранених і хворих. Аналізуючи ці завдання можна сказати, що транспортну систему необхідно розглядати як важливий засіб забезпечення операцій (бойових дій), від надійної роботи якої залежить успіх виконання поставлених завдань.

У ході стратегічного розгортання, підготовки та

проведення ООС виконувались наступні види військових перевезень, які здебільшого притаманні особливому періоду:

Оперативні (військовими ешелонами), що включали перевезення особового складу військових частин разом з ОВТ для виконання бойових завдань, проведення ротаций підрозділів, повернення до пунктів постійної дислокації, на відновлення боєздатності (формування) військових частин, на бойове залагодження, особового складу (без зброї та ОВТ) на доукомплектування військових частин, які виконують завдання в ООС, проведення ротаций особового складу, звільнення військовозобов'язаних, евакуація поранених та хворих;

мобілізаційні перевезення військовозобов'язаних, які призвані по мобілізації з територіальних центрів комплектування та соціальної підтримки (ТЦК та СП) до військових частин ВВНЗ та навчальних центрів;

постачальні та евакуаційні перевезення які включали в себе перевезення озброєння, військової техніки та матеріально-технічних засобів на доукомплектування військових частин, в ремонт, евакуація пошкодженого ОВТ на ремонтні підприємства Міністерства оборони України та Укроборонпрому, перевезення з національної економіки інженерно-будівельної техніки до військових частин (баз зберігання інженерної техніки).

Проведений аналіз функціонування СПВМЗ показав, що для оперативного переміщення військових частин (підрозділів), які залучаються для виконання завдань у складі угруповань військ (сил) Збройних Сил України, або відновлюють боєздатність (формуються), найбільше ефективно використовувався залізничний транспорт. Щодо цього питання налагоджена тісна взаємодія з керівництвом Укрзалізниці та проведено комплекс організаційних та технічних заходів, які позитивно впливали на ефективність функціонування СПВМЗ, а саме:

прийняття рішень на організацію військових перевезень;

всесічна підготовка залізничних станцій України для навантаження і розвантаження військ (сил) та матеріально-технічних засобів;

планування та управління військовими перевезеннями;

організація навантаження ешелонів з військами та військових транспортів з озброєнням та військовою технікою, матеріально-технічними засобами;

встановлення диспетчерського контролю за навантаженням, просуванням та вивантаженням військових ешелонів.

Завдання з організації військових перевезень транспортом загального користування та взаємодії з транспортними органами було покладено на Управління організації транспортного забезпечення штабу КСЛ.

З метою організації планування та здійснення

військових залізничних перевезень у період 2020–2021 років розроблені нові керівні документи, в основу яких був закладений досвід ранніх років проведення АТО (ООС) на Сході країни.

Але в першу чергу, ефективне функціонування СПВМЗ залежить від якості їх планування, організації тісної взаємодії між органами військового управління та органами управління на видах транспорту.

Планування ПВМЗ здійснювалось Управлінням організації транспортного забезпечення штабу КСЛ за заявками командувачів видів ЗС України, ОК та інших органів військового управління.

Взаємодія з органами управління на видах транспорту здійснювалась з питань забезпечення та регулювання військових перевезень, узгодження технічних можливостей та здійснення контролю підготовки до виконання перевезень.

Управління військовими залізничними перевезеннями здійснювалась через підпорядковані установи військових сполучень в районах навантаження, на маршрутах просування та в районах вивантаження, а також через оперативні групи, які направляються на окремі станції навантаження (розвантаження). В загальному ця система управління ПВМЗ ефективно виконувала поставлені перед нею завдання. Але разом з тим, оперативність перевезень вимагала здійснювати їх планування у надкороткі терміни. Для забезпечення навантаження військових ешелонів необхідно було проводити значні регулювальні заходи шляхом подачі порожнього рухомого складу на відстань до 500-700 км, та створювати резерв вагонів на станціях, наближених до районів навантаження (відновлення боєздатності, ведення бойових дій). Тому провівши відповідний аналіз, було виявлено ряд проблемних питань у системі управління ПВМЗ, які впливали на якість їх виконання. А саме: заявки на планування перевезень від командувачів видів ЗС, ОК, органів військового управління до Управління організації транспортного забезпечення штабу КСЛ надавались за 1-2 доби до початку перевезення (мали місце надання заявок КСВ, КДШВ за 6-8 годин до початку навантаження), що створювало загрозу незабезпечення перевезень вагонами та зриву виконання завдань;

80% наданих заявок надавались без врахування реального складу військових частин (підрозділів), що визначені до перевезення;

розрахунки відпрацьовувалися формально, вказані в них дані не завжди відповідали реальному складу військ та кількості ОВТ, що перевозиться. В окремих випадках уточнення кількості ОВТ здійснювалось у ході навантаження;

мали місце випадки відмови від перевезення, перенесення термінів навантаження військових ешелонів, внесення змін до планів, переадресування під час переміщення [4].

Такі чинники привели до збільшення часу на навантаження військових ешелонів, порушення

термінів прибуття у визначені райони та збільшення вартості перевезень.

З метою вирішення зазначеної проблеми пропонується надання заявок на планування військових перевезень залізничним транспортом здійснювати тільки після остаточного прийняття рішень командувачами видів ЗС України, ОК та інших органів військового управління.

Другою проблемою були і залишаються низькі практичні навички особового складу у навантаженні військової техніки на залізничний рухомий склад. Так, наприклад невміння штатних водіїв здійснювати заїзд на залізничні платформи збільшувало загальний термін навантаження військових ешелонів на 5-7 годин. У ряді випадків мали місце порушення правил розміщення і кріплення ОБТ на рухомому складі та габариту навантаження, що в подальшому створювало загрозу безпеці руху поїздів та могло призвести до аварій і людських жертв, спричиняло тривалі затримки у русі ешелонів для усунення порушень.

З метою недопущення подібних випадків необхідно:

передбачити збільшення в планах бойової підготовки військових частин кількості годин на навчання для набуття особовим складом практичних навичок щодо заїзду, розміщення та кріплення ОБТ на залізничні платформи;

завчасно відпрацьовувати схеми навантаження на рухомий склад та погоджувати їх з військовими комендантами на шляхах сполучення;

при підготовці негабаритної техніки до перевезення, у разі необхідності завчасно проводити демонтаж виступаючих вузлів і деталей, які виходять за межі габариту навантаження встановленого на залізниці (захисні екрани, решітки, антени, ковші тощо);

у ході здійснення навантаження обов'язково перевіряти справність та забезпечити надійність гальмівної системи, стопорних і фіксуєчих пристроїв, опломбування стопорних пристроїв. При несправності стопорних пристроїв застосовувати надійне дротове, тросове та ланцюгове кріплення, які виключають розворот башт танків, САУ тощо;

під час навантаження (розвантаження) прокладати перехідні містки під озброєнням та технікою, що рухаються, і знаходиться між розташованою на платформі машиною та іншою, що наближається до неї, ближче ніж за 5 м.

Грубі порушення техніки безпеки [5] особовим складом військових ешелонів та варт по супроводженню військових транспортів при знаходженні на залізничних коліях (в тому числі електрифікованих) та при перевезенні, приводило до травмування особового складу, в тому числі з смертельними випадками (ураження військовослужбовців електричним струмом від контактної мережі 27 тис. вольт).

Ще одним із важливих елементів функціонування СПВМЗ є її підсистема підвезення матеріально-технічних засобів.

До початку АТО, підсистема підвезення матеріальних засобів до військ (сил) була розбалансована, мала мінімальні спроможності, та не в повному обсязі відповідала завданням, які на неї поклалися. Ця підсистема включала незначну кількість потрібних сил і засобів для успішного її функціонування.

З початком проведення АТО навіть та незначна кількість сил і засобів підсистеми підвезення не була відмобілізована та на штати воєнного часу не переводилися, що ускладняло виконання завдань з підвезення матеріальних засобів, особливо на початковому етапі мобілізаційного розгортання військ (сил) та створення угруповань АТО. Загальна чисельність справного (відновленого) автомобільного парку на той час складала тільки 75 автомобілів.

Але згодом, з метою забезпечення підвезення матеріальних засобів було проведено відновлення парк автомобільної техніки, яка використовується для підвезення матеріально-технічних засобів, в результаті чого вантажопідйомність з 760 т. [4] на початку АТО збільшилась майже у три рази та станом на кінець 2021 року складала вже 2250 т.

Зазначеними силами та засобами вдалося, в подальшому, забезпечити мобілізаційне розгортання військ I та II черги.

З метою надання можливості командувачам угруповань самостійно утримувати необхідну кількість ресурсу матеріальних засобів та забезпечувати ними підпорядковані військові частини, було прийнято рішення на формування у кожному оперативному командуванні по два батальйони: батальйон матеріального забезпечення для утримання визначених запасів матеріальних засобів та забезпечення ними угруповання військ та автомобільного батальйону для підвезення матеріальних засобів в оперативній ланці.

Такий склад сил та засобів з підвозу матеріальних засобів, дозволив створити повноцінну ефективну СПВМЗ в ООС на території Донецької та Луганської областей, яка дозволила своєчасно підвозити матеріально-технічні засоби підпорядкованим військовим частинам:

у ланці підвезення від обмз ОК до військових частин угруповання військ (сил) – через начальника логістики угруповання;

у ланці підвезення від військової частини до підрозділу (РОП, ВОП) - через начальника логістики військової частини.

Зазначені перевезення матеріальних засобів до військ організовувались з використанням мереж автомобільних шляхів по визначених напрямках згідно розпорядження з комендантської служби.

Для обслуговування, ремонту, дозаправки автомобільної техніки та відправлення техніки, що відстала від своїх військ (підрозділів), зігрівання особового складу, забезпечення його водою та їжею, на визначених маршрутах були розгорнуті пункти всебічного забезпечення із запасами матеріальних засобів на кожному (пально-мастильних матеріалів, бутильованої води,

повсякденних наборів сухих продуктів, комплектів постільного приладдя та білизни), що в свою чергу також є підсистемою (елементом) СПВМЗ.

З метою безпечного та безперервного переміщення колон призначається конвой (супровід), який виділяється від підрозділів, в зоні відповідальності яких знаходяться ділянки автомобільних доріг - від підрозділів ВСП ЗС України, Національної гвардії України, а в районах виконання завдань від бойових підрозділів бригад. Склад конвою визначається в залежності від характеру районів (ділянок) місцевості по яким проходить маршрут руху колони.

З метою координації та управління перевезеннями, на КП угруповань військ створені групи планування та контролю перевезень, на які покладена відповідальність за організацію військових автомобільних перевезень у визначених зонах.

Отже, завдяки злагодженому функціонуванню всіх елементів та підсистем СПВМЗ, враховуючи досвід попередніх років [4], а також враховуючи позитивну тенденцію щодо покращення ефективності функціонування СПВМЗ, можна зробити висновок, що у період з 2020 по 2022 рр. щодоби здійснювався підвіз матеріально-технічних засобів автомобільними (матеріального забезпечення) військовими частинами КСЛ Збройних Сил України у складі більше ніж 40 колон, якими у середньому щодобово перевозилося більше 500 тон вантажів від центрів забезпечення, арсеналів, баз, складів безпосередньо до військових частин і підрозділів на передньому краї.

Отже із зазначеного вище ми можемо зробити висновок, що одними із важливих чинників, які впливають на ефективне функціонування СПВМЗ є:

злагоджена робота підсистеми управління СПВМЗ на всіх щаблях (ієрархіях);

наявність достатньої кількості сил і засобів для здійснення перевезення, обслуговування, забезпечення;

підготовленість особового складу всіх ланок, які задіяні у СПВМЗ;

організація надійної взаємодії між військами та органами транспорту з метою забезпечення високої мобільності, маневреності військ.

## **Висновки**

Таким чином створена СПВМЗ до 24 лютого 2022 року практично задовольняла потреби військ (сил), задіяних до виконання завдань в зоні ООС. З початком повномасштабної агресії росії проти нашої держави, враховуючи певний набутий досвід, дослідження щодо ефективності функціонування СПВМЗ потребують глибокого дослідження та в подальшому удосконалення. Тому, подальші напрямки цього дослідження будуть спрямовані на оцінювання ефективності функціонування СПВМЗ за допомогою обґрунтованого науково-методичного апарату. Це в свою чергу дасть змогу обґрунтувати необхідні рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування СПВМЗ.

## **Список використаних джерел**

1. Порядок організації діяльності залізничного транспорту під час здійснення військових залізничних перевезень: Постанова Кабінету Міністрів України від 4 листопада 2015 р. № 89.
2. Інструкція з управління військовими залізничними перевезеннями: Наказ Міністерства оборони України від 1 грудня 2014 р. № 853.
3. Інструкція з планування військових залізничних перевезень: Спільний наказ Міністра оборони та Міністра інфраструктури України 503 від 1 грудня 2015 р. № 666.
4. Гаврилюк І.Ю. Робота органів військового управління щодо організації та забезпечення військових перевезень протягом 2014-2016 років з урахуванням досвіду проведення антитерористичної операції / Гаврилюк І.Ю. військова академія (м. Одеса), збірник наукових праць №2 (6) 2016, - 60 – 68 с.
5. Наказ Міністерства транспорту України від 19.02.1998 №54 та вимог наказу МОУ від 05.09.2013 № 595 Про затвердження Положення з військових перевезень залізничним, морським, річковим та повітряним транспортом щодо дотримання заходів безпеки та поведінки особового складу військового ешелону призводять до виникнення нещасних випадків на об'єктах залізничного транспорту.
6. О.В. Авраменко, В.В. Поліщук, А.Г.Салій. Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment/ О.В. Авраменко та ін. Науково-технічний збірник КНУБА "Опір матеріалів і теорія споруд", – 2021. – №107. – С.265–280.

## **ANALYSIS OF THE WORK OF THE MILITARY ADMINISTRATION BODIES REGARDING THE PROVISION OF MATERIAL AND TECHNICAL ASSETS TO THE TROOPS DURING 2020 - 2022 IN THE ZONE OF THE OPERATION OF THE UNITED FORCES**

**Yevhen Smychenko**

<https://orcid.org/0000-0001-9446-2422>

**Vasyl Polishchuk** (Candidate of Military Sciences, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

**Mykola Myroniuk** (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

**Yurii Kolomiets** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

**Serhii Bazilo** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article analyzes the organization of the transportation of troops and materiel during military transportation for the period from 2020 to 2022, as well as the analysis of the effectiveness of the system of transportation of troops and materiel in the specified period. The organizational structure, forces and means of the system, functional powers and the main target function regarding the organization of the transportation of troops and material resources to the consumer have been defined. The analysis of the system showed its weak and strong points, which makes it possible to adjust its main function in the direction of improvement. The experience of the Russian-Ukrainian war shows that certain issues regarding the functioning of the system and its effectiveness require in-depth research and further improvement.*

**Keywords:** *military transportation, system of transportation of troops and material resources, railway transport, organization of transportation planning.*

### **References**

1. Poriadok orhanizatsii diialnosti zaliznychnoho transportu pid chas zdiisnennia viiskovykh zaliznychnykh perevezhen: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 4 lystopada 2015 r. № 89.
2. Instruksiiia z upravlinnia viiskovymy zaliznychnymy perevezenniamy: Nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 1 hrudnia 2014 r. № 853.
3. Instruksiiia z planuvannia viiskovykh zaliznychnykh perevezhen: Spilnyi nakaz Ministra oborony ta Ministra infrastruktury Ukrainy 503 vid 1 hrudnia 2015 r. № 666.
4. Havryliuk I.Iu. Robota orhaniv viiskovoho upravlinnia shchodo orhanizatsii ta zabezpechennia viiskovykh perevezhen protiahom 2014-2016 rokiv z urakhuvanniam dosvidu provedennia antyterorystychnoi operatsii / Havryliuk I.Iu.

viiskova akademiia (m. Odesa), zbirnyk naukovykh prats №2 (6) 2016, - 60 – 68 s.

5. Nakaz Ministerstva transportu Ukrainy vid 19.02.1998 №54 ta vymoh nakazu MOU vid 05.09.2013 № 595 Pro zatverdzhennia Polozhennia z viiskovykh perevezhen zaliznychnym, morskym, richkovym ta povitrianyim transportom shchodo dotrymannia zakhodiv bezpeky ta povedinky osobovoho skladu viiskovoho eshelonu pryzvodiat do vynyknennia neshchasnykh vypadkiv na ob'ektakh zaliznychnoho transportu.

6. O.V. Avramenko, V.V. Polishchuk, A.H.Salii. Determination of the optimal technical servicing periodicity of samples of aerodrome construction equipment/ O.V. Avramenko ta in. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk KNUBA "Opir materialiv i teoriia sporud", – 2021. – №107. – S.265–280.

# ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-63-66

УДК 621.03.9

<sup>1</sup>Климчук Володимир Павлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-8940-8883>

<sup>2</sup>Бутенко Микола Пилипович

<https://orcid.org/0000-0001-7272-5826>

<sup>2</sup>Іванов Василь Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

<sup>2</sup>Яблонський Петро Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет оборони України, Київ, Україна

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОБОК АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Авіаційна техніка за час життєвого циклу, який може тривати декілька десятиліть, постійно удосконалюється. При цьому виникає потреба оцінити ефективність її доопрацювання. В сучасній науково-технічній літературі цьому питанню приділяється недостатньо уваги. В зв'язку з цим у статті пропонується один з можливих підходів до вирішення такої задачі. У статті застосовується поняття теорії перевірки статистичних гіпотез, а також теорії толерантних оцінок. Отримані результати можуть бути основою для вирішення вказаної задачі для відомої функції розподілу часу до відмови. В подальшому планується здійснити перевірку гіпотези про ефективність доробок апаратури при вейбулівському, а також для логарифмічно нормального розподілу часу безвідмовної роботи.

**Ключові слова:** доробки, гіпотеза ,альтернатива, Вейбулівський розподіл, безвідмовність, критерій ефективності.

### Вступ

Методи визначення показників надійності та ефективності обладнання авіаційної техніки вибираються залежно: від цілей розрахунку та вимог до точності визначення показників надійності обладнання; наявності та/або можливості отримання вихідної інформації, необхідної для застосування певного методу розрахунку; рівня відпрацьованості конструкції та технології виготовлення зразка, системи його технічного обслуговування та ремонту, що дозволяє застосовувати відповідні розрахункові моделі надійності.

Метою статті є оцінка ефективності доопрацювання авіаційної техніки із застосуванням поняття теорії перевірки статистичних гіпотез, а також теорії толерантних оцінок.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу та синтезу.

### Результати

У технічній літературі пропонується кілька методів визначення показників ефективності та надійності обладнання складних технічних систем:

методи прогнозування, структурні методи, фізичні методи, логіко-ймовірний метод, топологічний метод [1–5].

1. Методи прогнозування [1–5] засновані на використанні для оцінки очікуваного рівня ефективності та надійності обладнання зразків авіаційної техніки та даних про досягнуті значення та виявлені тенденції зміни показників надійності (ПН) об'єктів-аналогів (ідентичного або допрацьованого обладнання, принципів дії, схемно) -конструктивної побудови, технології виготовлення, елементної бази, конструкційних матеріалів, що застосовуються, умов і режимів експлуатації, принципів і методів управління), за допомогою яких складається прогноз або план. Методи прогнозування об'єднуються у такі великі групи: прогнозування з часових рядів (методи екстраполяції); прогнозування за допомогою економікоматематичних моделей та прогнозування на основі експертних оцінок.

2. Структурні методи [1–5] оцінки ефективності та надійності є основними методами розрахунку показників ефективності та надійності в процесі проектування технічних систем, що піддаються

розукрупненню на елементи (окреме обладнання), техніко-економічні та надійні характеристики, які в момент проведення розрахунків відомі або можуть бути визначено іншими методами.

3. Фізичні методи оцінки ефективності та надійності ґрунтуються на застосуванні математичних моделей, що описують фізичні, хімічні та інші процеси, що призводять до відмови обладнання у зразках авіаційної техніки (до досягнення ними граничного стану), та обчисленні показників ефективності та надійності за відомими параметрами [1–5].

4. Топологічний метод оцінки ефективності та надійності (метод ненаправлених графів) заснований на використанні математичного апарату Марківських процесів (імовірність знаходження системи в будь-якому стані та в майбутньому, яка не залежить від минулих станів технічної системи за А. Марковим). Застосовується до розрахунку ймовірностей станів складних технічних систем [1–5].

5. Логіко-імовірнісний метод [5] полягає в описі блоксхеми технічної системи за допомогою апарату математичної логіки з подальшим використанням теорії ймовірностей щодо характеристик надійності.

Виявлено основні переваги та недоліки методів оцінки ефективності та надійності авіаційної техніки.

Основними перевагами методів прогнозування є: простота застосування, наочність результатів, оскільки прогноз видається як чисельних значень параметра, легко реалізується з допомогою ЕОМ (Microsoft Excel); комплексний підхід до аналізованої ситуації; маючи моделлю системи, можна прогнозувати не тільки одно, найбільш ймовірне розвиток ситуації, а й програвати різні сценарії і цим вибирати найрезультативніші варіанти поведінки; системний підхід (враховується взаємодія всіх факторів та ступінь їх впливу на кінцевий результат); дозволяють використовувати під час розробки прогнозу практично всю доступну інформацію, зокрема і неформалізовану, невизначену чи неповну.

До недоліків методів прогнозування відносяться: обмежена сфера застосування (прогнозування підлягають лише кількісні показники, при цьому необхідно, щоб їх значення мали за досить тривалий минулий період); обмежений обрій прогнозування (методи точні в короткостроковий період); прогноз не може передбачати якісь значні якісні зміни прогнозованого показника (обсяг виробництва певного виду продукції, заміну технологічної схеми, яка дозволить значно розширити виробництво, появу нових видів продукції, які витіснять аналізований продукт із ринку тощо.); відповідні параметри повинні наводитися у порівнянних умовах; оскільки методи засновані на аналізі подій, що вже відбулися, то при виникненні невластивої ситуації не здатні забезпечити точний прогноз; в основному використовуються в економічній сфері (комерційна діяльність); практичне використання такого прогнозу утруднено, оскільки виробнича практика потребує точних даних, а приблизні оцінки неможливо знайти покладено основою рішення; висновки експертів можуть бути необ'єктивні та упереджені; вкрай висока вартість, що безпосередньо впливає з вимог

до високої кваліфікації експертів та використання досить складних організаційних процедур.

Перевагами структурних методів оцінки ефективності та надійності є: структурна схема ефективності та надійності технічної системи (технологічних ліній) створюється безпосередньо за функціональною діаграмою системи, що дозволяє скоротити кількість конструктивних помилок та/або систематичний опис функціональних шляхів технічної системи; методи придатні для різних видів технологічних систем, включаючи складні та комбіновані; придатні для повного аналізу варіантів за зміни параметрів ефективності технологічних ліній; дають компактні результати імовірнісних характеристик для системи загалом. До основних недоліків відносяться: не забезпечують повний аналіз несправностей (причинно-наслідковий зв'язок не визначається); вимагають наявності імовірнісної моделі ефективності кожного елемента діаграми; не дозволяють розрізнити навмисні та ненавмисні результати; спрямований, передусім, на аналіз працездатності системи та не поширюється на складні стратегії ремонту, технічного обслуговування чи загальний аналіз працездатності.

Основною перевагою фізичних методів є можливість прогнозування параметричних відмов обладнання у технологічних лініях на основі прискорених випробувань.

Недоліки фізичних методів: необхідність випробувань за умов багатонаменклатурного виробництва нових видів продукції; непередбачуваність катастрофічних відмов; відсутність моделей зв'язку показників якості та результатів аналізу відмов при доробках.

Перевагами топологічних методів є: - придатні для розрахунку ефективності та надійності технологічних ліній з великою кількістю станів (понад 100); простота обчислювальних алгоритмів; висока наочність графа; можливість наближених оцінок.

Недоліки: складності під час аналізу роботи складних технічних систем при обмеженій статистиці про відмови.

Перевагами логіко-можливих методів є: системний підхід; наочність одержаних результатів; компактні обчислення; докладний аналіз можливих параметрів та умов при експлуатації авіаційної техніки; недорогий метод.

Основними недоліками цього методу є: обмеження використання у разі потреби оперативної оцінки ефективності та надійності та при малій кількості відмов.

Проведений аналіз переваг та недоліків відомих методик комплексної оцінки ефективності та надійності зразків авіаційної техніки дозволив запропонувати методику оцінки ефективності доробок зразків авіаційної техніки в умовах малої кількості відмов, яка основана на використанні теорії толерантних оцінок. При оцінці ефективності доробок авіаційної техніки (АТ) одним з найбільш потужних методів є метод, заснований на статистичному експерименті. Основна ідея такого методу полягає у наступному:

- висувається гіпотеза про очікувані критерії



безвідмовності;

- проводяться випробування і узагальнюються їх результати;
- отримані дані порівнюються за обраним критерієм залежності;
- за результатами перевірки уточнюється запроваджена гіпотеза;
- приймається рішення про якість проведеного доопрацювання.

Суттєвою особливістю статистичного експерименту про ефективність доробки є те, що при випробуванні є можливість змінювати чинні фактори.

Існуючі методи випробувань, що засновані на зміні тільки одного чинника при незмінних інших, не відповідають реальним умовам експлуатації. Ця обставина є однією з причин недостатньої ефективності проведених доробок. При статистичному аналізі важливо правильно обрати критерій. При обранні критерію, зазвичай, враховуються наступні міркування:

- до надійності виробів висуваються кількісні вимоги;
- ефективність застосування апаратури значною мірою залежить від надійності;
- реалізація такого заходу вимагає певних матеріальних витрат.

При побудові критерію ефективності доробок будемо в основному орієнтуватися на інформацію, що отримана під час випробувань.

Будемо вважати, що початковою інформацією є сукупність двох виборок спостережень напрацювань до відмови виробів АТ до і після проведення доробок. Виборки спостережень є цензуруваними з цензуруванням другого роду, тобто має вигляд:

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix} \quad (1)$$

де  $r$  і  $s$  – номери зареєстрованих відмов, при появі яких спостереження припиняються.

Загальне число виробів, що випробовуються до і після проведення доробок дорівнює  $n$  і  $m$  відповідно. Важливою характеристикою показника ефективності проведених доробок є середнє напрацювання на відмову (до відмови). В подальшому будемо оцінювати ефективність доробок шляхом аналізу цього показника, або величину, що однозначно з нею зв'язану. Вважається, що розподіл напрацювань виробів АТ до відмови має функцію розподілу з параметрами зсуву і масштабу. Будемо вважати, що доробка залишає без зміни параметр масштабу  $\theta_1$ , але змінює параметр зсуву  $\theta_0$  – величину, що тісно зв'язана з математичним очікуванням випадкової величини. Якщо розглядати випадкову величину  $\dot{X}$ , що може бути записана як [6, 8, 9]

$$X = \theta_{ox} + \dot{X}, \quad (2)$$

де  $\dot{X}$  – нормована випадкова величина.

При незмінному  $\theta_1$  збільшення  $\theta_0$  – еквівалентно збільшенню математичного очікування  $\mu(X)$  випадкової величини через залежність:

$$\mu(X) = \theta_{ox} + \theta_1 \cdot \mu(\dot{X}), \quad (3)$$

Якщо довести, що доробка була ефективною, то це означає збільшення параметру зсуву. Щоб довести ефективність доробки, потрібно довести значення розбіжності в параметрах зсуву двох виборок [10]

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix}$$

Тобто потрібно довести розбіжність в параметрах зсуву спостережень, отриманих до і після проведення доробок. Потрібно здійснити перевірку гіпотези про ефективність доробок, що проводяться на výroбах авіаційної техніки, визначаючи гіпотезу  $H: \theta_{ox} = \theta_{oy}$ , а альтернативою є твердження про збільшення  $\theta_{oy}$ , тобто  $K: \theta_{oy} > \theta_{ox}$ .

Якщо доробка була ефективною, то значення оцінок  $\theta_{ox}$  і  $\theta_{oy}$  повинні суттєво відрізнитися.

Тобто, якщо по спостереженням

$$\begin{matrix} X_1, X_2, \dots, X_r, \dots, X_n \\ Y_1, Y_2, \dots, Y_s, \dots, Y_n \end{matrix}$$

визначити значення, то можна запропонувати процедуру, метою якої є доведення факту розбіжності  $\theta_{ox}$  і  $\theta_{oy}$ , яка дозволяє стверджувати, що виборки  $X$  і  $Y$  не належать до однієї сукупності і відрізняються параметрами зсуву. Використання еквіваріантних оцінок дає можливість запровадити критерій для рішення поставленої задачі [7]:

$$V = \frac{\theta_{oy}^{\hat{}} - \theta_{ox}^{\hat{}}}{\theta_1^{\hat{}}} \quad (4)$$

де  $\theta_{ox}^{\hat{}}$ ,  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ ,  $\theta_1^{\hat{}}$  – оцінки параметрів зсуву і масштабу, що отримані у відповідних виборках.

В термінах теорії толерантних  $P$  – меж вираз

$$\tau(x) = \theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p), \quad (5)$$

є толерантною  $p$ - межею для випадкових величин  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ , яка не буде перебільшена з ймовірністю  $p$ .

Для вказаної межі справедливим буде запис

$$P(\theta_{oy}^{\hat{}} < \theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p)) = p, \quad (6)$$

Формула (3) є межею критичної області розміром  $1-p$ . Дійсно, якщо обрати рівень значень критерію  $V$  рівним  $\alpha = 1 - p$ , то перебільшення спостережень  $\theta_{oy}^{\hat{}}$  величини  $\theta_{ox}^{\hat{}} + \theta_1^{\hat{}} v(p)$  означає про розбіжність значень параметрів  $\theta_{ox}^{\hat{}}$  і  $\theta_{oy}^{\hat{}}$ . За гіпотезу обираємо ствердження про відсутність збільшення середнього напрацювання на відмову у виробів, що мали доробку.

Задача про перевірку гіпотез має вигляд: гіпотеза  $H: \theta_{oy}^{\hat{}} = \theta_{ox}^{\hat{}}$  – доробка не призвела до збільшення параметру зсуву, а значить і до середнього напрацювання на відмову доопрацьованого зразка техніки;

альтернатива  $K: \theta_{oy}^{\hat{}} > \theta_{ox}^{\hat{}}$  – доробка була успішною. Якщо справедлива альтернатива, то це повинно призвести до зростання альтернативи  $V$ , а це дозволяє обрати критичну область, в якій гіпотеза бракується, якщо  $V > C$ , де  $C$  знаходиться з умови обмеження помилок першого роду.

## Висновки

У роботі запропонована методика оцінки ефективності доробок АТ із застосуванням теорії толерантних границь. Основою для прийняття рішення про ефективність доробок є інформація двох виборок спостережень напрацювань до відмови виробів АТ до і після проведення доробок. Вважається, що розподіл напрацювань виробів АТ до відмови має функцію розподілу з параметрами зсуву і масштабу. Для оцінки ефективності доробок АТ потрібно довести значення розбіжності в параметрах зсуву двох виборок. Запропонована методика може застосовуватися для багатьох технічних систем з функцією розподілу Вейбула, яка рекомендована ДСТУ2869-94.

## Список використаних джерел

1. Рябінін, І.А. Надійність та безпека структурно-складних систем. - СПб: СПУ, 2007. - 276 с.
2. Конесев С.Г., Хазієва Р.Т. Методи оцінки показників надійності складних компонентів і систем // Сучасні проблеми

науки та освіти. - 2015. - № 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558>;

3. Грибов В.М. Оцінювання та прогнозування надійності бортового аерокосмічного обладнання. -М.: 2013.-508 с.
4. Труханов В.М., Матвєєнко А.М. Надійність складних систем всіх етапах життєвого циклу. Москва: ТОВ Видавничий дім«Спектр» 2012; 663.
5. Надійність та ефективність у техніці: Довідник: У 10 т. / Ред. Порада: В.С. Авдудєвський (поперед.) та ін. - М.:Машинобудування, 1989. - Т. 6. - 376 с.
6. Закс Ш. Теория статистических выводов.-М.: Мир,1975-776 с.
7. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. М.: Наука, 1984-472 с.
8. Капур Д. и др. Надежность и проектирование систем. М.: Мир,1980-476 с.
9. Диптан В.П. /Диптан В. П.,Тюрін В.В., Яблонський П.М., Бутенко М.П., Климчук В.П.
10. Оцінка надійності засобів наземного забезпечення польотів із застосуванням теорії толерантних границь Повітряна міць України 1(2) 2022 с.56-60.

## ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF AVIATION TECHNIQUE PRODUCTS

<sup>1</sup>Volodymyr Klimchuk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-8940-8883>

<sup>2</sup>Mykola Butenko

<https://orcid.org/0000-0001-7272-5826>

<sup>2</sup>Vasyl Ivanov

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Yuriy Koskov

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

<sup>2</sup>Petro Yablonskyi (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

<sup>1</sup>The National Aviation University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*During the life cycle, which can take several decades, aviation technology is constantly being improved. In this case, there is a need to evaluate the effectiveness of its refinement. In modern scientific and technical literature, this issue is given insufficient attention. In this regard, the article proposes one of the possible approaches to solving this problem. The article uses the concept of the theory of testing statistical hypotheses, as well as the theory of tolerant estimates. The results obtained can serve as a basis for solving the indicated problem for the known time-to-failure distribution function. In the future, it is planned to test the hypothesis about the efficiency of equipment operating time under the Weibull, as well as for the logarithmically normal distribution of uptime.*

**Keywords:** improvements, hypothesis, alternative, Weibull distribution, reliability, efficiency criterion.

## References

1. Ryabiniin, I.A. Reliability and safety of structurally complex systems. - St. Petersburg: SPU, 2007. - 276 p.
2. Konesev S.G., Khaziyeva R.T. Methods of assessing reliability indicators of complex components and systems // Modern problems of science and education. - 2015. - No. 1-1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=17558>;
3. Hrybov V.M. Evaluation and forecasting of the reliability of on-board aerospace equipment. - M.: 2013.-508 p.
4. Trukhanov V.M., Matveenko A.M. Reliability of complex systems at all stages of the life cycle. Moscow: Spektr Publishing House LLC, 2012; 663.
5. Reliability and efficiency in technology: Handbook: In 10

volumes / Ed. Advice: V.S. Avduyevskiy (in advance) and others. - M.: Mashinobudovaniya, 1989. - Vol. 6. - 376 p.

6. Zaks Sh. Theory of statistical inferences.-M.: Mir, 1975-776 p.
7. Borovkov A.A. Mathematical statistics. Evaluation of parameters. Hypothesis testing. M.: Nauka, 1984-472 p.
8. Kapur D. and others Reliability and design of systems. M.: Mir, 1980-476 p.
9. Diptan V.P. /Deputy V.P., Tyurin V.V., Yablonskyi P.M., Butenko M.P., Klimchuk V.P.
10. Reliability assessment of ground support means of flights using the theory of tolerance limits Air Force of Ukraine 1(2) 2022 p.56-60.

**DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-67-73**  
**УДК 623.746.17 (477)**

**Сафонов Ігор Євгенович**

<https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>

**Коротін Сергій Михайлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

**Радько Олег Віталійович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## **МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІЙСЬКОВО-ТРАНСПОРТНИХ ВЕРТОЛЬОТІВ НА ОСНОВІ МАРКОВСЬКОГО ПРОЦЕСУ З ДИСКРЕТНИМИ СТАНАМИ ТА БЕЗПЕРЕРВНИМ ЧАСОМ**

*У статті запропоновано варіант побудови моделі системи технічної експлуатації вертольотів із застосуванням методу статистичного моделювання на основі марковського процесу з дискретними станами та безперервним часом та проведено порівняння математичних розрахунків з результатами моделювання. Для простоти математичних розрахунків прийнято невелику кількість припущень. Разом з тим модель обмежена розподілом часу перебування у станах, зміна яких відбувається під дією випадкових факторів, тому її використання можливо лише для аналізу станів системи технічної експлуатації вертольотів за минулий період часу. Розроблена модель системи технічної експлуатації вертольотів реалізується за допомогою комп'ютерних програм і, на відміну від існуючих, враховує час на проведення робіт з продовження ресурсних показників та дообладнання вертольотів сучасною радіоелектронною апаратурою та бортовими комплексами оборони.*

***Ключові слова:** авіаційна техніка, система технічної експлуатації, технічне обслуговування і ремонт, модель, марковський процес.*

### **Вступ**

Майже 75% військово-транспортних вертольотів (ВТВ) державної авіації України експлуатуються понад 30 років та перебуває у гранично допустимому технічному стані. Збільшення інтенсивності їх використання призвело до збільшення кількості відмов. Найважливішим завданням щодо підтримання вертольотів у справному стані є пошук шляхів підвищення ефективності їх експлуатації [1]. Визначення раціональної періодичності технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) можна вважати одним із перспективних шляхів. Для проведення розрахунків необхідно знайти оптимальну кількість станів системи технічної експлуатації вертольотів та побудувати математичну модель, яка дозволяє максимально наблизитись до об'єктивно існуючого процесу технічної експлуатації, що характеризується послідовною зміною в часі різних станів: польоту, видів обслуговування та ремонту, зберігання, очікування тощо. Математична модель надасть можливість знаходження фінальних ймовірностей перебування вертольотів у різних станах, на основі яких можна провести оцінювання якості управління технічною експлуатацією.

У рамках загальної проблеми оцінювання динаміки зміни технічного стану та надійності вертольотів, виявлення причин виникнення несправностей окремих систем, розроблення та впровадження заходів щодо попередження їх виникнення, актуальним є розроблення моделі системи технічної експлуатації вертольотів, що пов'язане з вирішенням наукових та практичних задач

під час їх експлуатації з продовженими призначеними ресурсними показниками.

Питанню дослідження ефективності процесів технічної експлуатації, методів і режимів технічного обслуговування виробів АТ присвячено багато наукових робіт. Основи математичних моделей і методів розрахунку надійності закладені у статтях та монографіях у середині 1950-х та на початку 1960-х років. Відтоді ці основи набули широкого розвитку в працях багатьох авторів сучасності.

Так, у роботі [2] визнано, що процес ТОіР виробів АТ є стохастичним, але врахувати всі фактори, що мають випадковий характер та впливають на нього, практично неможливо. Цей факт свідчить про необхідність побудови стохастичної моделі, що адекватно описує процес ТОіР. Для реальних стохастичних систем, стани в яких змінюються стрибком, характерна наявність кінцевої кількості можливих переходів, що визначені кінцевою кількістю випадкових факторів, які впливають на неї. Кожен із цих факторів характеризується випадковим часом впливу, що залежить, як правило, від певного стану системи. У зв'язку з цим серед стохастичних моделей складних технічних систем особлива увага приділяється марковським та напівмарковським процесам.

Аналітичний огляд наукової літератури показав, що серед невирішених завдань з пошуку та впровадження ефективних методів ТОіР виробів АТ є розроблення математичних моделей процесу технічної експлуатації, які б дозволяли проводити порівняльне оцінювання ефективності різних

режимів ТОiP систем та агрегатів АТ, що мають різноманітні закони зміни інтенсивності відмов, а також враховували би збільшення часу на обслуговування АТ, яка експлуатується понад призначені показники.

Виникнення змін в умовах експлуатації, поява нових вихідних даних, призводять до недостовірних результатів розрахунків статистичними методами. Цей факт вимагає пошуку інших підходів, найбільш адаптованих під можливості інформаційних технологій [3, 4].

Мета статті – створення моделі системи технічної експлуатації ВТВ із застосуванням методу статистичного моделювання на основі марковського процесу з дискретними станами та безперервним часом, яка дозволяє спростити процедури отримання розрахунків для стаціонарних ймовірностей станів такої системи.

### **Матеріали та методи**

Моделі процесу технічної експлуатації АТ запропоновані науковцями ще у 1980-х роках, але набувають розвитку і сьогодні, наприклад у роботі [4], і є ефективним та зручним інструментом моделювання процесів складних авіаційних систем, до складових яких можна віднести і вертольоти.

Аналіз вітчизняних та зарубіжних робіт з управління складними технічними системами показує, що нині при їх експлуатації в основному прийнято “жорстку” стратегію технічного обслуговування, яка використовує лише апріорну інформацію. У той же час, більш перспективними є “гнучкі” стратегії управління технічним станом потенційно небезпечних об'єктів, засновані на аналізі та оцінюванні фактичного технічного стану об'єктів з використанням діагностичних даних, прогнозі його зміни в процесі експлуатації, оцінюванні залишкового ресурсу, коригуванні параметрів програми підтримки та функціонування процесу експлуатації. Для цього необхідний науково-методичний апарат, що дозволяє за результатами реального оцінювання (достовірної діагностичної інформації про існування передумов до аварійних ситуацій) приймати своєчасні рішення щодо запобігання можливим надзвичайним ситуаціям [3].

Вибір методів дослідження ґрунтується на підставі властивостей моделі. В більшості своїй методи вдосконалення технічної експлуатації АТ засновані на усередненні розрахункових значень та статистико-ймовірнісних методах. Так, у роботі [5] автор розглядає теоретичні основи і практичні рекомендації з розробки і впровадження нових методів ТОiP виробів АТ за технічним станом.

У роботі [6] запропоновано загальний підхід до вирішення завдань надійності на основі програмного забезпечення Simulink. За результатами імітаційного моделювання отримана інформація з достатньою точністю обробляється чисельним методом – основним апаратом розв'язання математичних задач.

Аналіз сучасних підходів до моделювання систем технічної експлуатації АТ та її компонентів показує, що такі моделі будуються як на основі

давно відомих та широко застосовуваних методів системи масового обслуговування, методу динаміки середніх, алгоритмів на основі марковських процесів, так і, наприклад, на основі методології IDEF3 (Integrated Definition for Process Description Capture Method) та нотації DFD (Data Flow Diagrams) [7].

Імітаційному моделюванню механічних статичних та динамічних систем присвячена робота [8]. Вдале поєднання в одному виданні базових теоретичних засад комп'ютерного моделювання, обчислювальних експериментів, та практичних засобів комп'ютерного моделювання здійснено у дослідженні [6].

При побудові моделі функціонування складної багатокomпонентної системи технічної експлуатації вертольотів, як метод дослідження, використаний статистичний аналіз станів і переходів реального процесу технічної експлуатації [5]. На основі отриманих статистичних даних методом імітаційного моделювання визначаються ймовірності перебування вертольотів у різних станах, що дає можливість проведення аналізу їх технічного стану в період безпосередньої експлуатації та оцінювання ефективності режимів технічного обслуговування.

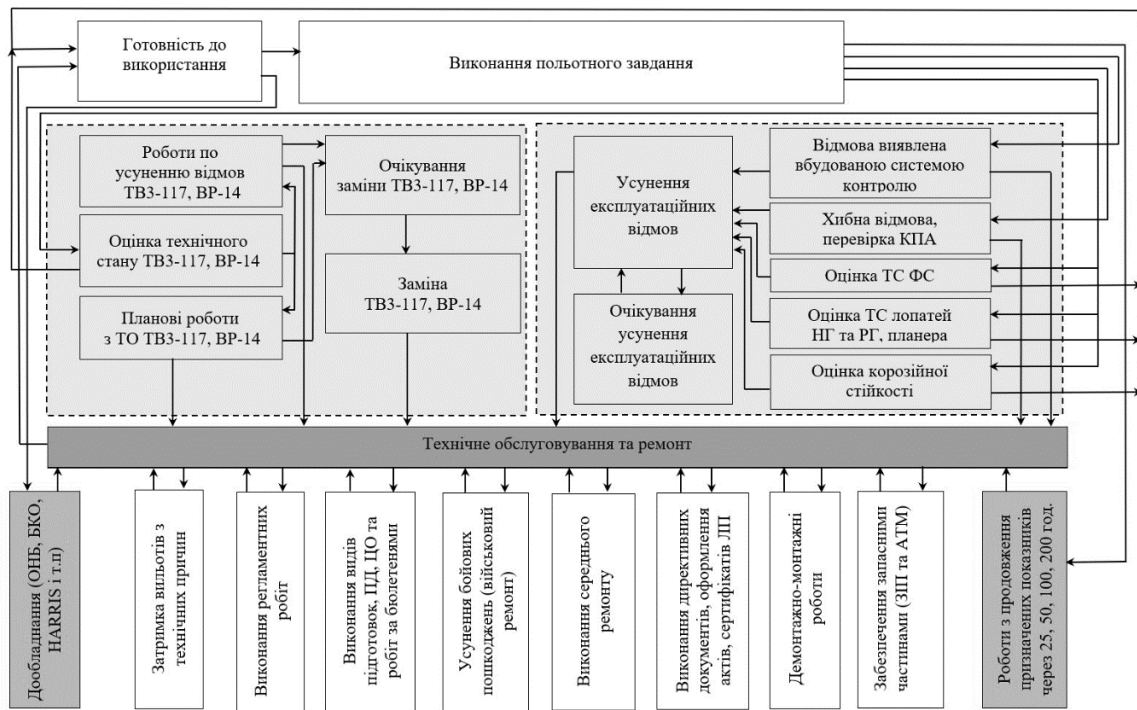
### **Результати**

При реалізації моделей експлуатації АТ за станом виникає проблема збирання та оброблення великого динамічного масиву статистичних даних. На шляху вирішення цієї проблеми гостро постає питання обґрунтування мінімально необхідного обсягу контрольованих параметрів у процесі експлуатації авіаційних систем, пошуку шляхів скорочення обсягу вимірювань тощо [2, 4].

Дослідження експлуатаційних властивостей авіаційних систем із залежними елементами та складною структурою у ряді випадків доцільно проводити із застосуванням методу статистичного моделювання. Завдання полягає в оцінюванні показників надійності системи на різних етапах експлуатації та у прогнозуванні цих показників [9]. Широке поширення для оцінювання систем технічної експлуатації АТ отримав марковський процес з дискретними станами та безперервним часом переходів з одного стану в інший [2].

При аналізі випадкових процесів із дискретними станами зручно користуватися геометричною схемою – так званим графом станів [10]. Для реалізації науково обґрунтованого підходу до оцінювання станів ВТВ, спочатку розробляється модель системи технічної експлуатації у вигляді блок-схеми (рис.1), яку у подальшому необхідно перетворити на граф станів (рис.2), більш наближений для математичних розрахунків.

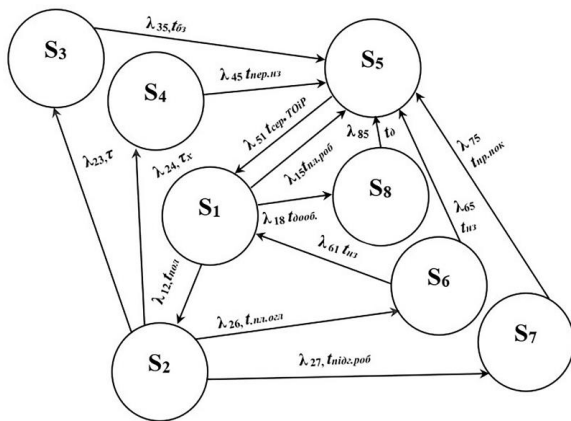
Модель системи технічної експлуатації ВТВ можна представити наступним чином: стани процесу технічної експлуатації задаються через стани кожного вертольоту (рис.1), знаходяться часи перебування в станах технічного обслуговування із своїми функціями розподілу, що дозволяє оцінювати ефективність режимів технічного обслуговування.



**Рисунок 1.** Блок-схема системи технічної експлуатації ВТВ

ТВ3-117 – авіаційний двигун; ВР-14 – вертолітний редуктор; КПА – контрольно-перевірочна апаратура; ТС – технічний стан; ФС – функціональні системи; НГ та РГ – несучий та рульовий гвинти; ОНБ – окуляри нічного бачення; БКО – бортовий комплекс оборони; ЛП – льотна придатність; ПД – паркові дні; ЦО – цільові огляди; ЗІП – запасні частини, інструмент та приладдя; АТМ – авіаційно-технічне майно

Закінчення перебування в одному зі станів характеризується миттєвим переходом в інший стан, причому перехід в інший стан можна описати певною інтенсивністю та ймовірністю переходу [4, 7, 9]. Таким чином, здійснюється процес функціонування системи технічної експлуатації вертольотів загалом.



**Рисунок 2.** Граф станів системи технічної експлуатації вертольотів

Для опису випадкового процесу, який протікає у системі, застосовують ймовірність станів  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_i(t)$  [10],

де  $p_i(t)$  – ймовірність того, що система в момент  $t$  знаходиться у стані  $S_i$  (1).

$$\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1, \quad (1)$$

Стан  $S_1$  – вертоліт знаходиться у справному стані.

Стан  $S_2$  – політ.

Стан  $S_3$  – на вертольоті проводиться контроль технічного стану після виникнення у випадкову мить відмови, що зафіксувала вбудована система контролю.

Стан  $S_4$  – на вертольоті проводиться контроль технічного стану вбудованою системою контролю після виникнення у випадкову мить помилкової тривоги.

Стан  $S_5$  – виконується повне відновлення вертольоту.

Стан  $S_6$  – на вертольоті проводиться перевірка функціональних систем, оцінка параметрів наземною системою контролю, оцінка технічного стану лопатей НГ та РГ, планера, корозійної стійкості.

Стан  $S_7$  – на вертольоті проводяться роботи по продовженню призначених показників у відповідності до Переліку обов'язкових робіт через 25, 50, 100, 200 годин нальоту.

Стан  $S_8$  – на вертольоті проводяться роботи з дообладнання під використання окулярів нічного бачення, дообладнання новітніми засобами зв'язку, бортовим комплексом оборони тощо.

Підхід до моделювання процесу технічної експлуатації заснований на простому уявленні про те, що ймовірність відмови елемента в системі визначається сумарною щільністю потоку відмов елементів у працездатній частині системи, та їх попереднім напрацюванням.

В моделі зроблено припущення, що величини часу є невинпадковими, це зроблено з метою спрощення подальших розрахунків. Переходи з будь-якого стану у інший стан відбуваються миттєво.

Для знаходження стаціонарних ймовірностей марковського процесу, необхідно вирішити систему диференціальних рівнянь Колмогорова, які мають наступний загальний вигляд (2):

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}(t)P_j(t) - \sum_{j=1}^n \lambda_{ij}(t)P_i(t) \quad (2)$$

$(i,j=1,2,3,\dots,n)$

де  $\lambda_{ij}(t)P_i(t)$  – потік ймовірності переходу із стану  $S_i$  до стану  $S_j$ ;  
 $n$  – кількість станів системи.

Складемо систему рівнянь Колмогорова (3) для розміченого графу, який представлено на рис. 2 [9, 10]:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_{51}P_5(t) + \lambda_{61}P_6(t) - \lambda_{15}P_1(t) - \lambda_{18}P_1(t) - \lambda_{12}P_1(t); \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= -\lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{24}P_2(t) - \lambda_{26}P_2(t) - \lambda_{27}P_2(t) + \lambda_{12}P_1(t); \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= -\lambda_{35}P_3(t) + \lambda_{23}P_2(t); \\ \frac{dp_4(t)}{dt} &= -\lambda_{45}P_4(t) + \lambda_{24}P_2(t); \\ \frac{dp_5(t)}{dt} &= -\lambda_{51}P_5(t) + \lambda_{35}P_3(t) + \lambda_{45}P_4(t) + \lambda_{15}P_1(t) + \\ &\quad + \lambda_{65}P_6(t) + \lambda_{75}P_7(t) + \lambda_{85}P_8(t); \\ \frac{dp_6(t)}{dt} &= -\lambda_{61}P_6(t) - \lambda_{65}P_6(t) + \lambda_{26}P_2(t); \\ \frac{dp_7(t)}{dt} &= -\lambda_{75}P_7(t) + \lambda_{27}P_2(t); \\ \frac{dp_8(t)}{dt} &= -\lambda_{85}P_8(t) + \lambda_{18}P_1(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Для рішення системи алгебраїчних рівнянь необхідно одне із рівнянь відкинути та замінити умовою нормування (у нашому випадку рівняння для стану 5), після чого отримаємо систему рівнянь з сімома невідомими [10]. Таким чином знайдемо стаціонарні ймовірності станів марковського процесу.

Система лінійних диференціальних рівнянь за початкових умов має єдине рішення, якщо задані інтенсивності переходу із одного стану в інший [8]. З урахуванням статистичних даних, які отримано за результатами експлуатації ВТВ протягом 2-х років безпосередньої експлуатації, знаходимо усі інтенсивності потоків подій, які переводять систему із одного стану в інший (табл.1), тобто визначимо щільності ймовірностей переходів із станів  $i$  у стани  $j$  [10].

При визначенні показників використовуємо прямий метод оцінки показників надійності, без визначення законів розподілу часу між відмовами [11].

Таблиця 1

Інтенсивності переходів із одного стану в інші

$\lambda_{12}=0,225423$	$\lambda_{15}=0,120225$
$\lambda_{18}=0,001252$	$\lambda_{23}=0,015278$
$\lambda_{24}=0,022222$	$\lambda_{26}=0,443056$
$\lambda_{27}=0,019444$	$\lambda_{35}=0,5$
$\lambda_{45}=0,5$	$\lambda_{51}=0,154412$
$\lambda_{61}=0,249739$	$\lambda_{65}=0,083595$
$\lambda_{75}=0,083333$	$\lambda_{85}=0,008929$

Якщо ймовірності  $p_1, p_2, \dots, p_8$  постійні, то їх похідні дорівнюють нулю. Це означає, що для того, щоби знайти фінальні ймовірності, необхідно усі ліві частини у рівнянні прирівняти до нуля та розв'язати отриману систему вже не диференціальних, а лінійних алгебраїчних рівнянь. Одне із рівнянь необхідно замінити умовою нормування [10].

Систему рівнянь вирішуємо за допомогою програмного забезпечення, та отримаємо результати, які представлені у табл.2.

Таблиця 2

Стаціонарні ймовірності станів

$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$
0,2772	0,1251	0,0038	0,0056	0,3542	0,1661	0,0292	0,0388

Відмінною рисою представленого методу є визначення основних розрахункових залежностей ймовірностей та інтенсивностей переходу з урахуванням вимог сучасної нормативної бази щодо надійності у техніці та визначення технічного стану.

Для адекватного відображення процесів зміни технічного стану вертольотів, представлених в логіко-математичній формі, використане імітаційне моделювання [7, 12].

Імітаційне моделювання (simulation) передбачає представлення моделі у вигляді комп'ютерної програми, яка дозволяє відтворити поведінку об'єкту. При цьому імітуються елементарні явища, що складають процес, зі збереженням їх логічної структури та послідовності у часі, що дозволяє отримати відомості про стан системи у певний момент часу та оцінити характеристики системи. Сутність імітаційного моделювання полягає у відшуканні кількісних і якісних результатів. При цьому є можливість проведення багатократних дослідів з поступовими змінами вхідних даних. У процесі побудови математичної моделі і під час її дослідження можна проаналізувати і зрозуміти характеристики досліджуваного процесу [6]. Модель системи технічної експлуатації ВТВ представлено на рис.3. Логіку спостереження за реальною системою ми перенесемо з реального часу поведінки системи в модельний час [7]. Підставляючи отримані значення інтенсивностей переходів (табл.1) в блоки станів і задаючи модельний час, можна отримати фінальні ймовірності марковського процесу. Результати моделювання на рис.3 представлені у вікнах блоків

вихідних параметрів, які характеризують кожний із станів. Порівняння результатів аналітичних

розрахунків і імітаційного моделювання надає можливість вважати створену модель адекватною.

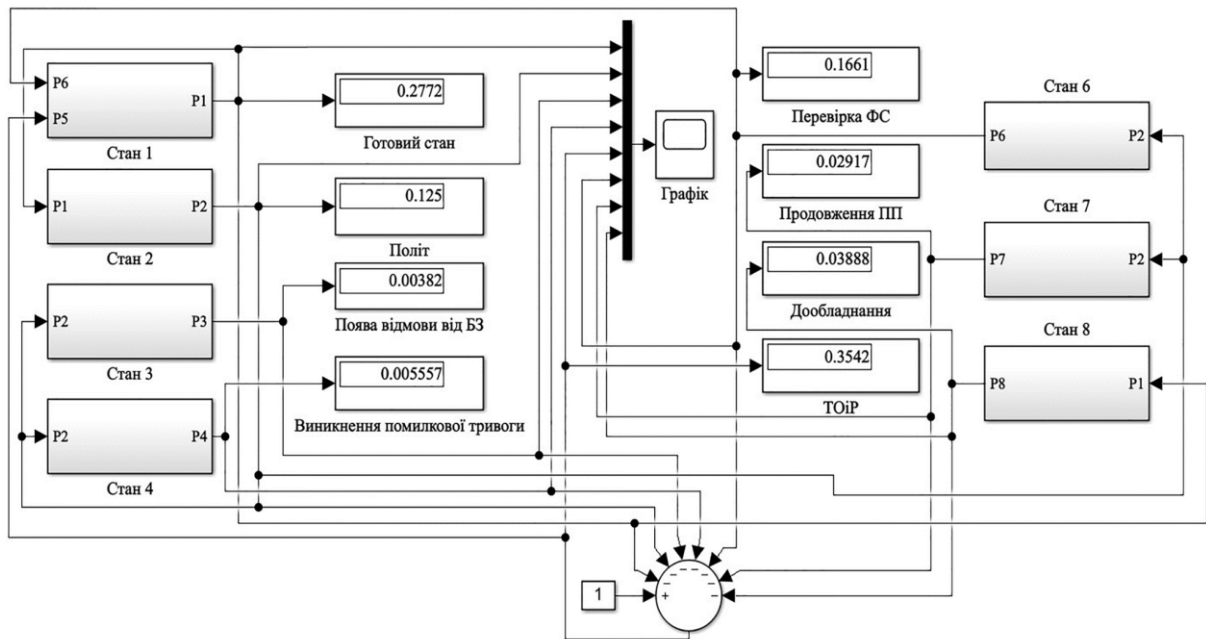


Рисунок 3. Модель розрахунку стаціонарних ймовірностей марковського процесу

Аналітичні вирази доведено до кількісної відповіді, яка визначає характеристики системи, що моделюється. Отримання таких відповідей базується на чисельних методах, що дозволяють звести розв'язування задачі до виконання скінченного числа арифметичних і логічних дій з числами.

Для того щоб скористатися результатами розрахунків, їх необхідно представити у зручній для сприйняття формі [12]. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді таблиць, графіків, діаграм, схем тощо. Найпростішою формою вважаються таблиці, хоча графіки наочно ілюструють результати моделювання системи [14].

Для наочної ілюстрації результатів моделювання у статті представлено графік залежності ймовірностей станів від часу (рис. 4). Із збільшенням часу функціонування, в системі настає стаціонарний режим, коли ймовірності стають незалежними від початкового стану. Якщо час наближається до нескінченності, у системі встановлюється граничний стаціонарний режим, протягом якого вона випадковим чином змінює свої стани, але їх ймовірності вже не залежать від часу. Фінальну ймовірність можна тлумачити як середній відносний час перебування системи у цьому стані [15].

На підставі аналізу результатів моделювання приймається рішення про те, за яких умов система буде функціонувати із найбільшою ефективністю [7].

### Обговорення

Створена імітаційна модель:

має переваги в простоті використання у порівнянні з аналітичними математичними моделями;

дозволяє здійснювати порівняння різних варіантів організації ТОiP;

дає можливість отримання параметрів процесу технічної експлуатації з достатньою точністю при невеликому обсязі статистичної інформації;

дає задовільну збіжність результатів моделювання з розрахунковими показниками системи;

дозволяє контролювати результати моделювання і встановлювати причинно-наслідкові зв'язки параметрів моделі протягом заданого періоду часу.

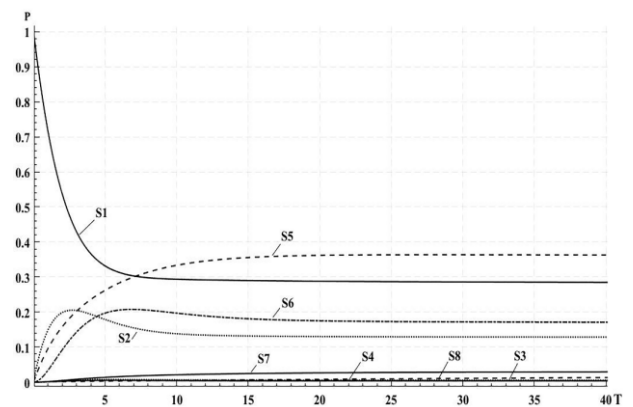


Рисунок 4. Залежність ймовірностей станів від часу

Перехід вертольотів з одного стану до іншого відбувається за часом, який визначається статистичними даними.

### Висновки

За результатами проведеного дослідження вирішено завдання побудови моделі системи технічної експлуатації ВТВ за блочно-модульним принципом, яка перевірена методом статистичного моделювання на

основі марковського процесу з дискретними станами і безперервним часом і яка спрощує процедуру отримання розрахунків для стаціонарних ймовірностей станів.

Знання стаціонарних ймовірностей можуть допомогти оцінити ефективність роботи системи технічної експлуатації вертольотів. На основі інформації про технічний стан в період безпосередньої експлуатації вертольотів, розроблена модель системи технічної експлуатації дозволить коригувати строки ТОіР, продовження ресурсних показників та передбачати напрямки модернізації АТ.

Програмне забезпечення Simulink дозволило модифікувати математичну модель та фактично спостерігати за поведінкою системи технічної експлуатації вертольотів протягом заданого проміжку часу.

Запропонована імітаційна модель може бути взята за основу для створення напівмарковської моделі прогнозування технічного стану ВТВ та їх функціональних систем. У ході подальших досліджень одними із важливих завдань є встановлення закономірностей виникнення відмов, прогнозування відмов, а також знаходження способів збереження надійності у процесі експлуатації вертольотів.

### **Список використаних джерел**

1. І.Є. Сафонов, С.М. Коротін. Тенденції розвитку вертольотобудування у світі та його перспективи в Україні. Науково-практичний журнал "Повітряна міць України", 2021. № 1(1). С. 102–107.
2. Н.А. Северцев. Прогнозирование надежности технических устройств в зависимости от конструктивных параметров и условий эксплуатации. Киев: Сборник общества "Знание, 1973.
3. В.В. Вичужанін. Методи інформаційних технологій у діагностиці стану складних технічних систем: монографія. Одеса: Наукове видання. Видавництво «Екологія», 2019. 178 с.
4. О.М. Нечипоренко. Основи надійності літальних апаратів: навч. посіб. Київ, 2010. 240 с.
5. В.А. Игнатов, В.В. Константиновский, Г.Г. Маньшин. Элементы теории оптимального обслуживания технических изделий. Минск: Наука и техника, 1974. 190 с.
6. Н.В. Богданова, О.В. Богданов. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 85 с.
7. А.М. Лоу, В.Д. Кельтон. Имитационное моделирование. СПб. Киев: BHV, 2004. 847 с.
8. В.Б. Струтинський. Математичне моделювання процесів та систем механіки: підручник. Житомир: ЖПТ, 2001. 612 с.
9. Имитационное моделирование полумарковских процессов в системах с дискретными состояниями и непрерывным временем / Л.Б. Афанасьевский та ін. Вестник ВГУ. Системный анализ и информационные технологии. 2019. № 3. С. 42–52.
10. Е.С. Венцель. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 552 с.
11. Оцінка впливу функціональних систем вертольотів Мі-8МСБ-В та Ми-8МТ(МТВ) на показники їх безвідмовності за 2017-2021 роки / В.М. Голуб та ін. Збірник ДНДІ ВіС ОБТ. 2022. № 1(11). С.29–37.
12. І.В. Кравченко, В.І. Микитенко, Г.С. Тимчик. Комп'ютерне моделювання: системи і процеси: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 215 с.
13. А.В. Сохацький. Моделювання в транспортних технологіях: монографія. Дніпро: УМСФ, 2022. 182 с.
14. Моделювання економіки: навчальний посібник / Н. Клименко та ін. Київ: Редакційно-видавничий відділ. НУБіП України, 2022. 252 с.
15. С.М. Броди, О.Н. Власенко, Б.Г. Марченко. Расчет и планирование испытаний систем на надежность. Киев: Наукова думка, 1970.



# **SIMULATION OF OPERATION OF THE MAINTENANCE SYSTEM OF MILITARY TRANSPORT HELICOPTERS BASED ON THE MARKOV PROCESS WITH DISCRETE STATES AND CONTINUOUS TIME**

**Ihor Safonov**

<https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>

**Serhii Korotin** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2123-6103>

**Oleg Radko** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article proposes a variant of constructing a model of the helicopter technical operation system using the statistical modeling method based on the Markov process with discrete states and continuous time and comparing mathematical calculations with the results of modeling. For the simplicity of mathematical calculations, a small number of assumptions are made. At the same time, the model is limited by the distribution of the time spent in the states, the change of which occurs under the influence of random factors, so its use is possible only for the analysis of the states of the helicopter technical operation system over the past period of time. The developed model of the helicopter technical operation system is implemented with the help of computer programs and, unlike the existing ones, takes into account the time required for the continuation of resource indicators and the retrofitting of helicopters with modern radio-electronic equipment and on-board defense systems.*

**Keywords:** *aviation equipment, technical operation system, maintenance and repair, model, Markov process.*

## **References**

1. I.E. Safonov, S.M. Korotin. Tendenciji rozvytku vertoljotobuduvannja u sviti ta joho perspektyvy v Ukraini. Naukovo-praktychnyj zhurnal "Povitrijana micj Ukrainy", 2021. № 1(1). S. 102–107.
2. N.A. Severtsev. Prognozirovanie nadezhnosti tehniceskikh ustroystv v zavisimosti ot konstruktivnykh parametrov i usloviy ekspluatatsii. Kiev: Sbornik obschestva "Znanie, 1973.
3. V.V. Vychuzhanin. Metody informacijnykh tekhnologij u diaghnostyci stanu skladnykh tekhnichnykh system: monografija. Odesa: Naukove vydannja. Vydavnyctvo «Ekologhija», 2019. 178 s.
4. O.M. Nechyporenko. Osnovy nadijnosti litaljnykh aparativ: navch. posib. Kyjiv, 2010. 240 s.
5. V.A. Ignatov, V.V. Konstanovskiy, G.G. Manshin. Elementy teorii optimalnogo obsluzhivaniya tehniceskikh izdelij. Minsk: Nauka i tehnika, 1974. 190 s.
6. N.V. Boghdanova, O.V. Boghdanov. Matematyčne modeljuvannja system i procesiv: navch. posib. Kyjiv: KPI im. Ighorja Sikorsjkogho, 2022. 85 s.
7. A.M. Lou, V.D. Kelton. Imitatsionnoe modelirovanie. SPb. Kiev: BHV, 2004. 847 s.
8. V.B. Strutynskij. Matematyčne modeljuvannja procesiv ta system mekhaniky: pidruchnyk. Zhytomyr: ZhITI, 2001. 612 s.
9. Imitatsionnoe modelirovanie polumarkovskikh protsessov v sistemah s diskretnymi sostoyanijami i nepreryvnym vremenem / L.B. Afanasevskiy ta In. Vestnik VGU. Sistemnyy analiz i informatsionnyie tehnologi. 2019. № 3. S. 42–52.
10. E.S. Venttsel Issledovanie operatsiy. M.: Sovetskoe radio, 1972. 552 s.
11. Ocinka vplyvu funkcionalnykh system vertoljotiv Mi-8MSB-V ta My-8MT(MTV) na pokaznyky jikh bezvidmovnosti za 2017-2021 roky / V.M. Gholub ta in. Zbirnyk DNDI ViS OVT. 2022. # 1(11). S.29–37.
12. I.V. Kravchenko, V.I. Mykytenko, Gh.S. Tymchyk. Komp'juterne modeljuvannja: systemy i procesy: pidruchnyk. Kyjiv: KPI im. Ighorja Sikorsjkogho, 2022. 215 s.
13. A.V. Sokhac'kyj. Modeljuvannja v transportnykh tekhnologhijakh: monografija. Dnipro: UMSF, 2022. 182 s.
14. Modeljuvannja ekonomiky: navchalnyj posibnyk / N. Klymenko ta in. Kyjiv: Redakcijnno-vydavnychyj viddil. NUBiP Ukrainy, 2022. 252 s.
15. S.M. Brodi, O.N. Vlasenko, B.G. Marchenko. Raschet i planirovanie ispytaniy sistem na nadezhnost. Kiev: Naukova dumka, 1970.

ЛУЦИК Юлія Олександрівна (кандидат економічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-1486-2336>

ДЕМЕНЕВ Олександр Миколайович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2804-1456>

ПАРХОМЕНКО Павло Петрович (кандидат економічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-1026-3723>

ТЕЛЕГІН Вадим Володимирович

<https://orcid.org/0000-0001-6896-3848>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

## ЗБЕРЕЖЕННЯ ФІНАНСОВО-ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЯК ЗАПОРУКА СТАБІЛІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ДЕРЖАВИ ТА НАДІЙНОГО ФІНАНСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ ОБОРОНИ І БЕЗПЕКИ УМОВАХ ПОВНОМАСШТАБНОЇ АГРЕСІЇ РФ ПРОТИ УКРАЇНИ

У статті узагальнено досвід з адаптації вітчизняної економіки, в тому числі і бізнесу, до змін ситуації в державі. Проаналізовано заходи Уряду щодо забезпечення фінансово-економічної стійкості, як однієї із ключових складових економічної безпеки та національної безпеки України в цілому. В тому числі, висвітлено проактивні заходи, які були вжиті з метою мінімізації негативних наслідків інфляційних процесів та від'ємної ділової активності, оптимального використання наявних ресурсів на найбільш пріоритетних напрямках та можливі шляхи розв'язання нагальних потреб, в першу чергу сектору безпеки і оборони та соціальної підтримки населення. Зазначено, що досвід відновлення економіки від втрат та руйнацій внаслідок бойових дій показує, що на державному рівні відбувається перегляд традиційних уявлень про економічну безпеку та національну безпеку держави в бік пріоритизації енергетичної стійкості, як однієї із визначальних складових економічної безпеки та національної безпеки в цілому.

**Ключові слова:** втрати економіки, адаптація економіки, інфляційний звіт, податкова політика, фінансово-економічна стійкість, оборона та безпека.

### Вступ

З перших днів російського повномасштабного військового вторгнення в українська економіка зазнала значних втрат. Військові події завдали потужного удару по всіх ланках економічної системи держави. Системного узагальненого підрахунку збитків України, після 16-ти місячної війни, у відкритому доступі не опубліковано. Так як кожний день супроводжується черговими невідворотними втратами. Періодичні аналітичні матеріали, що з'являються у засобах масової інформації, свідчать про поступову стабілізацію економічної ситуації в державі, адаптацію економіки до умов війни і формування економічної стійкості.

Питання економічної безпеки, економічної стійкості постає як одне із найбільш пріоритетних в науковому практичному і фаховому середовищі. Із чисельних публікацій на увагу заслуговують роботи вітчизняних учених: В. Горбуліна, А. Качинського, Г. Ситника, В. Мандрагелі, В. Смолянюка, О. Суходолі, О. Резнікової та ін. [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Питання економічної безпеки, економічної стійкості постає як одне із найбільш пріоритетних в науковому практичному і фаховому середовищі.

Із чисельних публікацій на увагу заслуговують роботи вітчизняних учених: В. Горбуліна, А. Качинського [7, 8], Г. Ситника, В. Мандрагелі [9],

В. Смолянюка [11], О. Суходолі [12], О. Резнікової [13] та ін.

Розглянуті в тезах результати аналізу щодо набутого досвіду з підтримання економічної стійкості в державі в умовах війни раніше не досліджувалися та знаходяться на початковому етапі свого становлення та розвитку.

Відповідно мета дослідження – дослідити сутність економічної безпеки та довести посилення ролі і важливості питання економічної стійкості, особливо за умов повномасштабної агресії рф: узагальнити досвід з адаптації вітчизняного економіки, в тому числі і бізнесу, до змін ситуації в державі, проаналізувати заходи Уряду щодо забезпечення фінансово-економічної стійкості, як однієї із ключових складових економічної безпеки та національної безпеки України в цілому.

### Матеріали та методи

Так, 19 травня 2023 року у електронному виданні “Економічна правда” було опубліковано інтерв'ю Міністра фінансів України Сергія Марченка стосовно заходів Уряду щодо стабілізації фінансово-економічної ситуації в державі, а також вкладу українського бізнесу у наближення перемоги. Міністр концентровано виокремлює принципи форс-мажорні проблеми національної економіки, які раптово виникли з моменту агресії рф проти

України, висвітлює проактивні заходи Уряду, які були вжиті з метою мінімізації негативних наслідків для економіки країни та можливі шляхи розв'язання нагальних потреб сектору безпеки та оборони держави [14].

Виклики та абсолютна невизначеність полягали у наступному:

фактичний параліч бізнесу в Україні у перші місяці війни. Станом на травень 2022 року майже 79% малих і середніх підприємств повністю або частково призупинили роботу. Лише незначна частина підприємств, здійснила релокацію та відновила роботу;

розрив ланцюгів постачання, проблеми пов'язані із логістикою, значно ускладнили, однак не зупинили роботу виробничого сектору економіки;

загальне падіння економіки за підсумками 2022 року становило 29,1%.

### **Результати**

За оцінкою Міністра фінансів України, сьогодні держава перебуває у значно кращій економічній ситуації, порівняно з попереднім роком. Інфляція знижується швидшими темпами, ніж прогнозувалось: з 26,6% у грудні 2022 року до 17,9% у квітні 2023 року. Уряд утримується від монетарного фінансування у 2023 році, а прогноз зростання ВВП підвищено до 3,2%.

Відповідно до макроекономічного прогнозу Національного банку України, опублікованому в Інфляційному звіті у січні 2023 року, прогнозується зниження інфляції з весни 2023 року до 18,7%, зріст реального ВВП на 0,3%, та відновлення економіки починаючи з 2024 року, насамперед завдяки очікуваному зменшенню безпекових ризиків [15].

Безпекові ризики залишаються визначальним чинником в оцінці перспектив подальшого розвитку економіки України. Тому найвагомим ризиком є термін та інтенсивність активних бойових дій.

Економічне зростання у наступному році відбудеться, однак повільними темпами (близько 2,0%). Повільнішим буде відновлення ринку праці, як у частині зниження безробіття, так і підвищення зарплат. Споживчі настрої також залишаються пригніченими, а девальваційні очікування вищими через менші обсяги валютних надходжень від експорту. Інфляція стримуватиметься продовженням мораторію на підвищення тарифів на окремі житлово-комунальні послуги, проте значно прискориться після його скасування. У разі реалізації сценарію більш тривалої війни Національний банк України (далі – НБУ) зберігатиме жорсткіші монетарні умови. Водночас, частково негативні ефекти від продовження терміну та інтенсивності війни компенсуватимуться більшими обсягами міжнародної допомоги – у негативному сценарії МВФ фінансові потреби на чотири роки дії програми EFF, що гарантуються міжнародними партнерами, зростають до 140 млрд дол США порівняно з 115 млрд дол США у базовому сценарії.

У 2023 році в Україні не очікується різкого стрибка економічної активності на тлі високих ризиків безпеки й дефіциту електроенергії, які придушуватимуть споживчі й інвестиційні настрої. Економічна активність залишатиметься слабкою, але поступово

пожвавлуватиметься в міру зниження безпекових ризиків. Нацбанк прогнозує значне підвищення рівня безпеки лише на початок 2024 року. Дані в новому інфляційному звіті Нацбанку свідчать, що втрати ВВП цього року становитимуть 1,9 відсоткового пункту, а у 2024-му – 0,6 відсоткового пункту.

Є ще й інші фактори, які очікувано негативно вплинуть на економіку в 2023 році. Серед них: зниження споживання, високий рівень безробіття, слабкі темпи повернення мігрантів, складнощі з весняним посівом, скорочення експорту.

Відповідно до щомісячного трекеру економіки України під час війни у квітні 2023 року річна інфляція становила 17,9% розрахункового рівня (далі – р/р.). У травні – 15,3% р/р. Інфляція сповільнювалася за всіма категоріями товарів та послуг. Залежно від того, наскільки серйозними будуть наслідки знищення Каховської ГЕС, вони також можуть негативно вплинути і на темпи сповільнення інфляції [18].

Серед основних чинників, які впливають на сповільнення інфляції – стабільне енергопостачання, зменшення світових цін на паливо та відмова уряду та НБУ від фінансування дефіциту бюджету за рахунок друку гривні.

Облікова ставка залишається незмінною на рівні 25%. Наразі НБУ планує починати зменшувати її у IV кварталі 2023 року. Раніше планували робити це у II кварталі 2024, але сповільнення інфляції та стабілізація макроекономічного становища сприяє більш ранньому зниженню ключової ставки. Дохідність однорічних гривневих військових облігацій залишається на рівні 18,5%. Середні ставки за депозитами фізичних осіб (UIRD) стабілізувалися у коридорі 13-14% і практично не зростають.

Все ще існує потреба у великих продажах валюти з боку НБУ. Однак, міжнародні резерви НБУ продовжують бити рекорди та за результатами квітня сягнули 35,9 млрд дол. США. Це новий історичний максимум за одинадцять років. На зростання резервів вплинули в першу чергу значні надходження іноземної фінансової допомоги та менші обсяги валютних інтервенцій НБУ з продажу валюти.

Офіційний курс залишається фіксованим на рівні 36,57 грн/дол. Готівковий обмінний курс гривні практично не змінювався: 37,40-37,90 грн/дол. станом на 15 квітня; 37,40-37,80 грн/дол. станом на 15 травня. НБУ поступово продовжує пом'якшувати валютні обмеження: 21 квітня розширив можливості банків здійснювати операції з продажу готівкової іноземної валюти населенню та дозволив переказ іноземної валюти за кордон е-резидентами.

За словами Сергія Марченка, у міжнародних партнерів України викликає здивування і захоплення одночасно: як в умовах війни Уряду України вдалося у цілому утримати фінансово-економічну ситуацію в державі на належному рівні та фінансувати військову кампанію проти агресора, який в кратному співвідношенні переважає по кількості.

Запорукою таких результатів була, по-перше, система заходів, яку Уряд планомірно впроваджував до 24 лютого 2022 року, що на сьогодні дозволило забезпечити запас міцності фінансової системи.

По-друге, відповідальність та патріотизм

українських підприємств, які з початку війни незважаючи на безпрецедентні виклики та абсолютну невизначеність, адаптувалися до умов війни і продовжували працювати та сплачувати податки. По-третє, міжнародна допомога країн-партнерів, яка на сьогоднішній день залишається одним із джерел фінансування першочергових потреб, так як економіка потребує відновлення.

Відповідно Урядом було вжито ряд заходів щодо стабілізації фінансово-економічної ситуації:

*Заходи до формування та реалізації податкової політики.* Податки є тим паливом, яке живить наше прогностичне агресору, сектор безпеки і оборони фінансується виключно за рахунок податків та внутрішніх запозичень.

Так, 2,3 млн платників податків, які зареєстровані на територіях ведення бойових дій або тимчасово окупованих територіях, сплатили податків, зборів та платежів на 278,1 млрд грн (Харківська, Херсонська, Запорізька області). Державний сектор економіки та підприємці продовжували працювати, навіть на тимчасово окупованих територіях, та сплачувати податки до державного бюджету, незважаючи на утиски окупаційної влади.

Крім того, з метою підтримки Збройних Сил України, податки сплачували не тільки вчасно, а і наперед. За період з березня по червень 2022 року додатково було сплачено 32,9 млрд грн.

Завдяки неймовірним зусиллям, податкові надходження до загального фонду держбюджету (не враховуючи ряд факторів, таких як приріст за рахунок інфляції та вимушене тимчасове невідшкодування ПДВ), зросли на 2% порівняно з 2021 роком, що становило 627,7 млрд гривень.

Надзвичайно важливими є ефективні і виважені дії Уряду щодо оптимального використання наявних ресурсів на найбільш нагальні напрями (насамперед оборона та соціальна підтримка населення) та уникнення ініціатив щодо збільшення видатків без забезпечення відповідного їх покриття.

Оборона і безпека займають 2/3 видатків бюджету. Витрати на оборону за 4 місяці 2023 року склали 561 млрд гривень, що становить 57% від загальних витрат, а на громадський порядок та безпеку було витрачено 129 млрд гривень (13%). Найбільша "цивільна" стаття витрат, соціальний захист, досягла 157 млрд гривень. Інші витрати за 4 місяці 2023 року, включаючи охорону здоров'я, загальнодержавні функції та освіту, становили всього 15% витрат, або 146 млрд гривень, залишаючись на рівні помісячних витрат 2022 року в номінальному вираженні [20].

*Заходи Уряду із стимулювання платників податків.*

З метою, щоб приватний сектор економіки, зареєстрований на тимчасово окупованих територіях або територіях, де велись активні бойові дії, був спроможний і надалі функціонувати та підтримувати економіку, Уряд працював над створенням умов для переміщення та реєстрації підприємств на безпечній території. Було започатковано низку ініціатив, які дозволили перереєструвати та перевезти підприємства. Як результат, за рік війни майже 19 тис. підприємств змінили місце реєстрації.

*Заходи Уряду із стимулювання фінансово-*

*економічної стійкості.*

Уряд України запровадив ряд програм, зокрема: кредитування "Доступні кредити 5-7-9%", програма держгарантій на портфельній основі, державна грантова програма для бізнесу.

*Заходи Уряду з підтримки стійкості енергетичної системи.*

Важливою передумовою, що дасть змогу уникнути спаду економіки, за підсумками поточного року, є підтримка стійкості енергетичної системи, зменшення впливу дефіциту електроенергії (e/e) на економіку. Через цілеспрямовані атаки росії на енергетичну інфраструктуру в Україні утворився значний дефіцит e/e. Водночас, зважаючи на масштаби пошкоджень, енергосистема продемонструвала високу гнучкість та адаптивність. А завдяки пристосуванню бізнесу економіка й надалі працює, хоча на менших рівнях потужностей [17].

НБУ розглянув два сценарії подальшого розвитку подій з дефіцитом e/e: базовий і песимістичний.

*Базовий* – передбачає відносно швидке відновлення енергосистеми завдяки ремонтам та оперативним поставкам обладнання.

*Песимістичний* – враховує суттєвіші руйнування енергогенеруючих підприємств або магістральних мереж, тимчасову зупинку окремих блоків АЕС через зниження маневреності системи, суттєві втрати у тепло- та газопостачанні, а також тимчасові тривалі відключення e/e в дефіцитних областях України [19].

Дефіцит e/e призводить до зниження обсягів виробництва та скорочення споживчого попиту. За реалізації базового сценарію від'ємний внесок у ВВП у 2023 році оцінено НБУ в 1,9 відсоткового пункту (в.п.), а у 2024 році – ще в 0,6 в. п. Натомість, якщо реалізується негативний сценарій, то внесок буде суттєвішим – 3,6 в. п. та 1,5 в. п. відповідно у 2023 та 2024 роках.

Дефіцит e/e також призводить до втрат зовнішньої торгівлі, передусім через збільшення імпорту нафтопродуктів та енергоносіїв. У базовому сценарії втрати у 2023 році оцінено у 2 млрд дол. США та ще в 0,5 млрд дол. США у 2024 році, в негативному – 4 млрд дол. США та 1,2 млрд дол. США відповідно.

Внаслідок зростання виробничих витрат бізнесу проінфляційний вплив енергетичного терору посилюється порівняно з попереднім роком та в II-III кварталах 2023 року становитиме 3 в. п., а наприкінці року знизиться до 2 в. п. за реалізації як базового, так і песимістичного сценаріїв. У другому сценарії вищий тиск з боку витрат компенсується слабшим сукупним попитом.

Поточний макропрогноз НБУ ґрунтується на базовому сценарії.

Слід зазначити, що за останнє півріччя Урядом проведена значна робота із зменшення дефіциту електроенергії та його негативного тиску на економіку.

Згідно повідомленню Департаменту комунікацій Секретаріату КМ України, від 05.05.2023 року КМ України за поданням Міністерства енергетики схвалив Енергетичну стратегію України до 2050 року. Документ відображає цілі Європейського зеленого курсу та базується на принципах комплексного підходу до формування та реалізації політики у сфері енергетики, створення умов для сталого розвитку економіки

України. У Стратегії, зокрема, враховані:

наслідки повномасштабної війни російської федерації проти України, посилення ролі енергетичної безпеки та зміцнення стійкості енергосистеми;

результати приєднання ОЕС України до європейської мережі операторів системи передачі електроенергії (ENTSO-E) та поглиблення інтеграції енергетичної системи України в загальноєвропейську;

наявність новітніх технологій (зокрема виробництво та використання водню в енергетичних цілях, малі модульні ядерні реактори, установки зберігання енергії тощо), технічні зміни в енергетичному секторі, світові тренди та інноваційні рішення, вимоги до екологічної безпеки згідно з нормами ЄС та прийнятим зобов'язанням України;

міжнародні зобов'язання України щодо енергоефективності та використання ВДЕ, зменшення викидів парникових газів тощо;

децентралізація генерації електроенергії по всій території країни для поліпшення стійкості та надійності енергозабезпечення.

Уряд Італії через Європейський банк реконструкції та розвитку (СБРР) надасть EUR10 млн гранту НЕК "Укренерго" на підтримку ліквідності і проведення ремонтних робіт. Фінансування від Італії допоможе забезпечити "Укренерго" ліквідністю та провести термінові ремонтні роботи.

Модернізована НЕК "Укренерго" повідомила про завершення модернізації та успішне триденне з 7 квітня цього року тестування потужної міждержавної ЛЕП 400 кВ між Україною та Польщею спільно з польським оператором системи передачі PSE. Загальна вартість проекту становила 350 млн грн, крім того, приблизно 1 тис. тонн необхідного обладнання надано безкоштовно польськими партнерами. Лінія посилить зв'язки між українською та європейською енергосистемами, становить додатковий елемент європейської енергетичної безпеки та сприяє розвитку стабільної енергомережі в Україні.

П'ятого травня 2023 року Державне підприємство Національна акціонерна енергетична компанія «Енергоатом», МАГАТЕ і Міністерство Європи та закордонних справ Франції уклали тристоронню угоду про співпрацю. Документ передбачає надання Францією допомоги для Енергоатома у закупівлі через МАГАТЕ запасних частин для дизель-генераторів.

Словацький оператор системи передачі SEPS передає «Укренерго» 8 вантажівок обладнання для відновлення магістральних підстанцій, що постраждали під час російських ракетних атак та обстрілів. Обладнання загальною вартістю 1 мільйон євро допоможе відновити роботу кількох високовольтних підстанцій у різних регіонах України.

Для сприяння стійкості енергетичної системи, Кабінет Міністрів України схвалив, за поданням Міністерства енергетики України "Енергетичну стратегію України до 2050 року", де враховані наслідки повномасштабної війни, посилення ролі енергетичної безпеки та зміцнення стійкості енергосистеми. Енергетична стратегія відповідно до Європейського зеленого курсу базується на принципах комплексного підходу до формування та реалізації політики у сфері енергетики, створення умов для сталого розвитку

економіки України. Домінантом Стратегії є наголошення пріоритетності посилення ролі енергетичної безпеки та зміцнення стійкості енергосистеми держави.

Заходи Уряду з підтримки співпраці з міжнародними партнерами щодо перспектив отримання зовнішнього фінансування. Міжнародна допомога залишиться ключовим джерелом фінансування першочергових потреб і дефіциту державного бюджету в тому числі.

Національний банк підтримуватиме тісну взаємодію з Урядом для сприяння залученню необхідного зовнішнього фінансування від міжнародних організацій та країн-партнерів. Ключову роль у покритті бюджетних потреб відіграватиме нова програма МВФ. МВФ, разом із НБУ та Урядом, планують вжити ряд спільних заходів з активізації ринку внутрішніх державних боргових запозичень, що дасть змогу уникнути емісійного фінансування бюджетного дефіциту та підтримати фінансову складову економічної стійкості, як засобу забезпечення економічної безпеки держави.

Заходи Уряду з відновлення інфраструктури та виробництва України. Плани по відновленню України після війни передбачають тісну співпрацю з міжнародними організаціями, оскільки необхідні інвестиції для відновлення інфраструктури та виробництва вимірюються вже сотнями мільярдів доларів США. Реалізація таких програм дозволить прискорити темпи економічного зростання, збільшити доходи населення і знизити безробіття.

У 2022 році Україна отримала 31,1 млрд доларів США іноземних грантів і кредитів, що в середньому становить 3,1 млрд доларів США за місяць війни. Однак виплати не були ні стабільними, ні регулярними, в окремі місяці спостерігалися як надзвичайно високі, так і низькі обсяги фінансування. Нерегулярні виплати зашкодили виконанню бюджету. І США, і ЄС заявляють, що одним із їхніх пріоритетів є надання фінансової допомоги Україні у 2023 році вчасними та стабільними виплатами.

У квітні Україна отримала 5,6 млрд доларів іноземного фінансування. Так, Україна отримала 1,65 млрд дол. США кредиту від ЄС та 1,25 млрд дол. гранту від США. Також надійшов перший транш кредитного фінансування від МВФ у розмірі 2,7 млрд дол. США; на 2023 рік заплановано надходження ще двох траншів.

У травні Україна отримала 3,3 млрд дол. США іноземного фінансування. Зокрема, надійшло 1,6 млрд дол. кредиту від ЄС, 1,25 млрд дол. гранту від Сполучених Штатів та 384 млн дол. кредиту від Світового Банку.

У червні Україна має отримати другий транш кредиту від МВФ розміром 900 млн дол.

Перспективи отримання закладеного в бюджет зовнішнього фінансування (на рівні 38,2 млрд дол. США) поліпшилися з моменту ухвалення проекту бюджету. Однак обсяги фінансування залишаються доволі амбітними. Водночас фактичні обсяги залучень уряду на внутрішньому борговому ринку, урахувавши заходи НБУ та Міністерства фінансів з поживлення цього ринку, можуть виявитися більшими, ніж закладалося в бюджет.

Потреби України в додатковому фінансуванні державного бюджету збільшилися до 59,3 млрд доларів

США. Проте обсяг підтвердженого та отриманого іноземного фінансування на 2023 рік становить лише 41,6 млрд доларів США, на додачу до чого уряд вже випустив ОВДП на 6,8 млрд доларів США. Це створює фінансовий розрив у розмірі 10,9 млрд доларів США.

Частину розриву профінансують за рахунок додаткових випусків ОВДП. Проте це все ще залишить розрив у декілька млрд доларів США, який повинен бути профінансованим додатковими зобов'язаннями з боку зарубіжних партнерів [20].

### **Обговорення**

Однак слід зазначити, що основним припущенням цього досить оптимістичного макропрогнозу НБУ є сподівання на суттєве зниження безпекових ризиків з початку 2024 року, завдяки успішним діям Збройним Силам України. Це сприятиме повноцінному розблокуванню морських портів, шляхів логістичного забезпечення та поверненню в Україну вимушених мігрантів. У прогноз також закладені припущення щодо започаткування нової програми з МВФ, проведення злагодженої монетарної та фіскальної політики, поступового нівелювання квазіфіскальних дисбалансів, зокрема в енергетичній сфері.

### **Висновки**

З наведеного у статті огляду і аналізу проблем стану економіки України та прийнятих Урядом заходів з досягнення фінансово-економічної стійкості економіки в умовах воєнного часу витікає, що прийняті заходи поступово досягають своєї мети, як мінімум на даному етапі, та дають можливість для очікування успішних дій української армії та продовження дослідження стану економіки держави шляхом співставного періодичного аналізу макроекономічних показників. А саме.

1. Незважаючи на форс-мажорні проблеми національної економіки, які раптово виникли з початку агресії РФ проти України, Уряду України вдалося у цілому втримати фінансово-економічну ситуацію в державі під контролем та фінансувати військовий опір агресору.

2. Одним із чинників таких результатів була система заходів, які Уряд планомірно впроваджував задовго до лютого 2022 року, і це дозволило забезпечити запас міцності і стійкості фінансово-економічної системи, здатність її адаптуватися до умов воєнного стану, забезпечити функціонування українського бізнесу, в першу чергу – виробничого сектору національної економіки, та вчасної сплати податків.

3. Для надання спроможності бізнесу, зареєстрованому на тимчасово окупованих територіях або територіях, де велись активні бойові дії, Уряд забезпечив переміщення та реєстрацію близько 19 тис. підприємств на більш безпечних територіях.

Окрім того, за період з березня по червень 2022 року додатково наперед було сплачено 32,9 млрд грн податків до державного бюджету України, які мали б надійти пізніше. Завдяки зусиллям бізнесу податкові надходження до загального фонду держбюджету зросли на 2% проти 2021 року, встановивши 627,7 млрд гривень.

4. Завдяки заходам з підтримання стійкості фінансово-економічної системи держава сьогодні перебуває у значно кращій економічній ситуації,

порівняно з попереднім роком. Інфляція знижується швидшими темпами, ніж прогнозувалось – з 26,6% у грудні 2022 року до 17,9% у квітні 2023 року. Уряд утримується від монетарного фінансування у 2023 році, а прогноз зростання ВВП підвищено до 3,2%.

5. Для забезпечення фінансово-економічної стійкості держави Уряд України запровадив ряд програм, зокрема: кредитування "Доступні кредити 5-7-9%"; державна грантова програма підтримки бізнесу переробної агротехнічної сфери; програма держгарантії на портфельній основі.

6. Міжнародна допомога залишиться ключовим джерелом фінансування бюджетних потреб у поточному році а також дасть змогу підтримувати міжнародні резерви на достатньо високому рівні. Міжнародна допомога від країн партнерів дасть змогу уникнути надмірного емісійного фінансування бюджетного дефіциту та підтримати фінансову складову економічної стійкості, як засобу забезпечення економічної безпеки держави на достатньому рівні.

7. Згідно щоквартального Інфляційного звіту НБУ, за січень 2023 року бізнес і населення продемонстрували високий рівень адаптивності та стійкості у 2022 році, що підтримуватиме економіку і надалі, а початок поступового відновлення економіки прогнозується з 2024 року. Проте високі безпекові ризики все ще обмежуватимуть економічну активність у 2023 році, а дефіцит електроенергії позначатиметься ще й у 2024 році. Важливою передумовою, що дасть змогу уникнути спаду економіки, за підсумками поточного року є підтримка стійкості енергетичної системи.

8. Внаслідок повномасштабної війни російської федерації проти України одним із принципових поглядів Уряду на значимість традиційних складових економічної безпеки держави постає усвідомлення на державному рівні необхідності зміцнення стійкості енергосистеми та посилення ролі енергетичної безпеки як однієї із пріоритетних складових економічної безпеки та національної безпеки у цілому.

9. Відповідно до прогнозу НБУ у 2024-2025 роках економіка відновлюватиметься завдяки зниженню безпекових ризиків та, як наслідок, налагодженню виробничих і логістичних процесів при збереженні значних фіскальних стимулів. Втім, реальний ВВП перебуватиме значно нижче свого потенційного рівня через значні втрати виробничого та людського потенціалу. За оцінками НБУ, у 2024 році економіка зросте на 4,1%, а у 2025 році – ще на 6,4%.

10. Однак слід прийняти до уваги, що основним припущенням досить оптимістичного макропрогнозу НБУ є сподівання на успішні дії Збройних Сил України, започаткування нової програми з МВФ, проведення злагодженої монетарної та фіскальної політики, поступового нівелювання дисбалансів, зокрема в енергетичній сфері в тому числі.

Таким, чином, бізнес і населення продемонстрували високий рівень адаптивності та стійкості. Однак, економічна активність у 2023 році, все ще залишатиметься не достатньо стійкою, поступово поживалюватиметься.

Незважаючи на форс-мажорні обставини, які виникли з початком агресії РФ проти України, Уряду України вдалося втримати фінансово-економічну

ситуацію в державі під контролем. Досягнення міцності і стійкості фінансово-економічної системи, відбулося за рахунок планомірного впровадження Урядом системи заходів, що дозволило адаптувати економіку до умов воєнного стану, забезпечити функціонування виробничого сектору національної економіки і українського бізнесу.

Відповідно до прогнозних показників, у 2024-2025 роках економіка відновлюватиметься завдяки покращенню споживчих та ділових настроїв, активізації інвестиційної діяльності, налагодженню виробничих і логістичних процесів. Однак слід зазначити, що основним припущенням цього досить оптимістичного прогнозу є сподівання на суттєве зниження безпекових ризиків завдяки успішним бойовим діям Збройних Сил України.

### **Список використаних джерел**

1. Концепція забезпечення національної системи стійкості. Указом Президента України від 27.09.2021 року № 479/2021.
2. Деякі питання здійснення оплати товарів, робіт і послуг для забезпечення потреб сектору безпеки і оборони в умовах воєнного стану. Постанова КМ України від 20.03.2022 р. № 335.
3. Майбутнє безпекове середовище 2030: Стратегічне передбачення. Міністерство оборони України : Київ, 2019. 50 с.
4. Економіка війни: як виглядає сучасний перехід на військові рейки? URL: <https://savelife.in.ua/ua/ekonomika-vijny-yak-vyglydaye-suchasnyj-perehid-na-vijskovi-rejky/> (дата звернення 10.05.2023).
5. Економіка війни та повоєнний економічний розвиток України: проблеми, пріоритети, завдання. URL: <https://www.prostir.ua/?news=ekonomika-vijny-ta-povojennyj-ekonomichnij-rozvytok-ukrajiny-problemy-priorytety-zavdannya> (дата звернення 12.05.2023).
6. Де взяти фінансові ресурси для підтримки воєнної економіки і оборони. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/05/16/687087/> (дата звернення 12.05.2023).
7. Горбулін В. П., Шеховцов В. С., Шевцов А. І. ОПК України: кроки до стабілізації діяльності та розвитку в умовах гібридної війни. Стратегічна панорама, 2016. № 2. С. 54–62.
8. Горбулін В. П., Качинський А. Б. Стратегічне планування: вирішення проблем національної безпеки. Київ : НІСД, 2010. 288 с.
9. Ситник Г. П., Абрамов В. І., Мандрагеля В. А. та ін. Обрунтування концептуальних та організаційно-правових засад розробки паспортів загроз національній безпеці України : навч.-метод. посіб. / за ред. Г. П. Ситника. Київ : НАДУ, 2012. 52 с.
10. Власюк О. С. Національна безпека України: еволюція проблем внутрішньої політики: вибр. наук. праці. Київ : НІСД, 2016. 528 с.
11. Смоляннюк В. Ф. Системні засади національної безпеки України. Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого». 2018. № 2 (37). С. 107–126.
12. Суходоля О. М. Стійкість енергетичної системи чи стійкість енергозабезпечення споживачів: постановка проблеми. Стратегічні пріоритети. 2018. № 2. С. 101–117
13. Резнікова О. О. Національна стійкість в умовах мінливого безпекового середовища : монографія. – Київ : НІСД, 2022. – 532 с.
14. Колонка Міністра фінансів Сергія Марченка для Економічної правди (19.05.2023). <https://www.kmu.gov.ua/news/colonka-ministra-finansiv-serhii-marchenka-dlia-ekonomichnoi-pravdy-19052023> . Дата звернення 28.05.23 року.
15. Макроекономічний прогноз до Інфляційного звіту, січень 2023 року. Національний банк України. URL: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/Macroeconomic\\_Forecast\\_table\\_2023\\_01](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Macroeconomic_Forecast_table_2023_01) (дата звернення 28.05.23 року).
16. Ухвалено за основу законопроект щодо забезпечення стабільного функціонування підприємств ОПК. <https://armyinform.com.ua/2022/05/03/prinyato-za-osnovu-zakonoprojekt-shhodo-zabezpechennya-stabilnogo-funkcionuvannya-pidpryemstv-opk/> (дата звернення 28.05.23 року)
17. Ситуація в енергетиці. Департамент комунікацій Секретаріату Кабінету Міністрів України, опубліковано 05 травня 2023 року. URL : <https://www.kmu.gov.ua/news/5-travnia-sytuatsiia-v-enerhetytsi> (Дата звернення 28.05.23 року).
18. Трекер економіки України під час війни. Лаконічний формат щомісячних досліджень про стан економіки України від початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну. URL : <https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/> (дата звернення 11.06.23.)
19. Національний банк прогнозує зниження інфляції в цьому році та повноцінне відновлення економіки з 2024 року – Інфляційний звіт 02.02.2023 року URL: <https://bank.gov.ua/ua/news/all/natsionalniy-bank-prognozuje-znijennya-inflyatsiyi-v-tsomu-rotsi-ta-povnotsinne-vidnovlennya-ekonomiki-z-2024-roku-inflyatsiyiy-zvit> (дата звернення 28.05.23 року)
20. Трекер економіки України під час війни . Самойлюк М. Дослідження URL: <https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/> (дата звернення 28.05.23 року).

# **PRESERVATION OF FINANCIAL AND ECONOMIC STABILITY AS A GUARANTEE OF STABILIZATION OF THE STATE'S ECONOMY AND RELIABLE FINANCIAL SUPPORT FOR DEFENSE AND SECURITY NEEDS IN THE CONTEXT OF FULL-SCALE RUSSIAN AGGRESSION AGAINST UKRAINE**

**Yuliia Lutsyk** (Candidate of Economic Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-1486-2336>

**Oleksandr Demenev** (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0003-2804-1456>

**Pavlo Parkhomenko** (Candidate of Economic Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-1026-3723>

**Vadym Telehin**

<https://orcid.org/0000-0001-6896-3848>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article considers the urgent problem of preserving and maintaining financial and economic stability as a means of ensuring the economic security of the state and the ability to reliably finance the needs of security and defense in the context of Russia's full-scale aggression against Ukraine. It is shown that, contrary to the enemy's expectations and to the surprise of international partners, Ukraine's economy has shown resilience, flexibility, ability to adapt to the conditions of martial law in the country and the ability to meet the needs of the armed forces and other components of the security and defense sector. The author analyzes the Government's measures to ensure financial and economic stability, reduce the negative inflationary impact on business activity and the importance of international assistance as one of the sources of financing budgetary needs in the current year.*

**Keywords:** *economic losses, economic adaptation, inflation report, tax policy, financial and economic sustainability, defense and security, discount rate, energy security.*

## **References**

1. The concept of ensuring the national system of sustainability. By Decree of the President of Ukraine dated September 27, 2021 No. 479/2021.
2. Some issues of payment for goods, works and services to meet the needs of the security and defense sector under martial law. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 335 of March 20, 2022.
3. Future Security Environment 2030: Strategic Foresight. Ministry of Defense of Ukraine: Kyiv, 2019. 50 c.
4. The economy of war: what does the modern transition to military rails look like? URL: <https://savelife.in.ua/ua/ekonomika-vijny-yak-vyglyadaye-suchasnyj-perehid-na-vijskovi-rejky/> (access date 05/10/2023).
5. War economy and post-war economic development of Ukraine: problems, priorities, tasks. URL: <https://www.prostir.ua/?news=ekonomika-vijny-ta-povojennyj-ekonomichnyj-rozvytok-ukrajiny-problemy-priorityty-zavdannya> (access date 05/12/2023).
6. Where to get financial resources to support the military economy and defense. URL: <https://www.epravda.com.ua/columns/2022/05/16/687087/> (access date 05/12/2023).
7. Horbulin V. P., Shekhovtsov V. S., Shevtsov A. I. Defense Forces of Ukraine: steps towards stabilization of activities and development in conditions of hybrid warfare. Strategic Panorama, 2016. No. 2. P. 54–62.
8. Gorbulin V.P., Kachynskiy A.B. Strategic planning: solving national security problems. Kyiv: NISD, 2010. 288 p.
9. Sytnyk G. P., Abramov V. I., Mandragelya V. A. and others. Grounding of the conceptual and organizational and legal foundations of the development of passports of threats to the national security of Ukraine: educational method. manual / edited by G. P. Sytnyk. Kyiv: NADU, 2012. 52 p.
10. Vlasjuk O. S. National security of Ukraine: evolution of domestic policy problems: select. of science labor Kyiv: NISD, 2016. 528 p.
11. Smolyanyuk V. F. System principles of national security of Ukraine. Bulletin of the National University "Law Academy of Ukraine named after Yaroslav the Wise". 2018. No. 2 (37). P. 107–126.
12. Suhodolya O. M. Stability of the energy system or stability of energy supply to consumers: problem statement. Strategic priorities. 2018. No. 2. P. 101–117.
13. Reznikova O. O. National stability in the conditions of a changing security environment: monograph. – Kyiv: NISD, 2022. – 532 p.
14. Column of Minister of Finance Serhiy Marchenko for Economic Truth (May 19, 2023). <https://www.kmu.gov.ua/news/kolonka-ministra-finansiv-serhiia-marchenka-dlia-ekonomichnoi-pravdy-19052023>. Date of application 05/28/23.
15. Macroeconomic forecast for the Inflation Report, January 2023. National Bank of Ukraine. URL: [https://bank.gov.ua/admin\\_uploads/article/Macroeconomic\\_c\\_Forecast\\_table\\_2023\\_01](https://bank.gov.ua/admin_uploads/article/Macroeconomic_c_Forecast_table_2023_01) (date of application 05/28/23).
16. The draft law on ensuring the stable functioning of defense industry enterprises was adopted as a basis. <https://armyinform.com.ua/2022/05/03/pryinyato-z-osnovu-zakonoprojekt-shhodo-zabezpechennya-stabilnogo-funkcionuvannya-pidpryemstv-opk/> (date of application 05/28/23).
17. The situation in energy. Communications Department of the Secretariat of the Cabinet of Ministers of Ukraine, published on May 5, 2023. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/5-travnia-sytuatsiia-v-enerhetytsi> (Last appeal dated 28.05.23).
18. Трекер економіки України під час війни. Лаконічний формат щомісячних досліджень про стан економіки України від початку повномасштабного вторгнення рф в Україну. URL : <https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/> (дата звернення 11.06.23.)
19. The National Bank predicts a decrease in inflation this year and a full recovery of the economy from 2024 - Inflation Report 02.02.2023 URL: <https://bank.gov.ua/ua/news/all/natsionalniy-bank-zvit> (date of application 05/28/23).
20. Tracker of the economy of Ukraine during the war. Samoiluk M. Research. URL: <https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/> (date of application 05/28/23)



**Шановні колеги!**

Запрошуємо до участі у науково-практичному журналі  
“Повітряна міць України”,

Видавець: Національний університет оборони України,  
відкрите видання.

**На сторінках журналу розглядаються такі питання:**

1. Питання розвитку, застосування та забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України, удосконалення їх системи управління.
2. Питання бойового застосування військових частин та підрозділів державної авіації України, зенітних ракетних військ, радіотехнічних та спеціальних військ, радіотехнічного забезпечення та зв'язку.
3. Моделювання процесів застосування родів військ та спеціальних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
4. Питання розвитку перспективних засобів повітряного нападу.
5. Дослідження процесів управління та застосування пілотованої та безпілотної авіації.
6. Теоретичні основи взаємодії під час застосування військових частин та підрозділів Повітряних Сил, Сухопутних військ, Військово-Морських Сил, Десантно-штурмових військ Збройних Сил України та інших військових формувань.
7. Питання розвитку логістичного забезпечення родів військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
8. Безпека застосування та забезпечення живучості сил та засобів родів військ та спеціальних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
9. Питання попередження надзвичайних ситуацій терористичного та техногенного характеру, що пов'язані з діяльністю військових частин (підрозділів) Повітряних Сил Збройних Сил України.
10. Досвід щодо проведення операцій (антитерористичних, миротворчих, Сил оборони).
11. Інноваційні процеси у галузях авіації, автомобілебудування, радіоелектроніки, радіотехніки, засобів зв'язку та АСУ, а також інформаційних технологій.

**Подання матеріалів**

Обсяг рукопису – від 4 до 10 аркушів українською або англійською мовами.

Для публікації необхідно надіслати статтю у електронній формі (**docx** та **pdf** – **копія оригіналу з відомостями щодо відсутності інформації з обмеженим доступом та підписаними всіма авторами статті кожного аркуша**).

Рукопис супроводжується **експертним висновком, рецензією кандидата наук (доктора філософії, доцента), витягом з протоколу засідання кафедри (відділу)**.

Подані матеріали автору не повертаються.

Матеріали просимо подавати через сайт журналу або до інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України за адресою: 03049, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, тел.: (044) 271-5-88, Коротіну Сергію Михайловичу, каб. 1/162/1, тел.: (050)981-49-83, e-mail: SAP\_journal@nuou.org.ua.

З питань оплати звертатись до редакції.

Редколегія залишає за собою право відмови у публікації статей, що не відповідають проблематиці журналу, умовам оформлення матеріалів та у разі більше 3-х осіб авторського колективу

**Схема оформлення статей**

**DOI** (Arial, кегль – 11 пт.)

**УДК** (Arial, кегль – 11 пт.)

<sup>1</sup>**Полуботок Павло Леонтійович** (д-р техн. наук, професор) **11** та **8** пт.)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X> ← (кегль – 10 пт.)

<sup>2</sup>**Острозький Костянтин Іванович** (канд. техн. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

<sup>1</sup>**Університет..., Київ, Україна**

<sup>2</sup>**Інститут..., Київ, Україна** ← (кегль – 11 пт.)

**НАЗВА СТАТТІ** (Times New Roman, кегль – 14 пт.; накреслення – “напівжирне”, по центру)

Текст анотації мовою тексту статті (в даному випадку – українською). Зміст анотації має стисло і достатньо інформативно підсумовувати основні ідеї та отримані результати дослідження. Вона має бути відповідно структурована (актуальність, мета, методи, результати, рекомендації для кого ця стаття буде корисною). Розмір анотації повинен становити не менше 600-800 друкованих символів з пробілами. Зверніть увагу на те, що дані про авторів, назва, ключові слова та анотація будуть використані як метадані для опису Вашої статті, тому вони повинні максимально чітко описувати її зміст. Для більш якісного пошуку даного контенту в мережі, будь ласка, уникайте занадто узагальнених та складних формулювань, використовуйте тільки загальновідомі аббревіатури.

**Ключові слова:** поняття1; поняття 2; поняття3. (кегль – 10 пт.)

**Вимоги до набору**

**Формат документа:** docx.  
**Формат аркуша:** А4 (21 × 29,7 см).  
**Параметри сторінки** (відступи від краю): зліва – 3 см.; справа – 2 см.; зверху – 2 см.; знизу – 2 см.  
**Шрифт статті** – Times New Roman; накреслення – пряме; кегль – 10 пт.; міжрядковий інтервал – одинарний.  
**Текст статті** розташовується у два стовпчики однакової

ширини – 7,75 см; відстань між стовпчиками – 0,5 см; відступ першого рядка абзацу – 0,5 см; вирівнювання – за шириною.

**Підзаголовок** – кегль – 12 пт; накреслення – напівжирне; відступів немає; вирівнювання – центроване.

**Абзаци:** виставлені автоматично

**Пробіли:** одинарні

**Абревіатура:** перша абревіатура обов'язково розшифровується

**Ланки:** використовуйте тільки англійську розкладку

Не використовуйте для форматування тексту пропуски, табуляцію тощо. Не встановлюйте ручне перенесення слів, не використовуйте колонититули. Між значенням величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (Ctrl + Shift + пропуск).

**УВАГА! Остання сторінка статті заповнюється не менше 3/4, рекомендована парна кількість аркушів. Кількість авторів – не більше трьох.**

**Набір формул:** за допомогою стандартного редактора рівнянь Microsoft Word: *Вставка* → *Символи* → *Рівняння*.

**Формули та опис до них рекомендовано** вставляти у таблиці (Границі таблиць виставляти невидимими, формулу вирівнювати по центру, номер формули в круглих дужках, вирівнювання по правому краю, вирівнювання в ячейках по центру). Наприклад:

← 1 пустий рядок – 6 пт.

$A = \pi r^2$	(1)
---------------	-----

← 1 пустий рядок – 6 пт.

де $r$	–	радіус кола
--------	---	-------------

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Для заміни стандартного для рівнянь шрифту *Cambria Math* необхідно виділити формулу, у вкладці *Робота з рівняннями* активувати кнопку *Звичайний текст* після цього у вкладці *Головна* обрати шрифт *Times New Roman*.

Розмір шрифту 10 пт, підрядковий та надрядковий індекс 8 пт.

Стиль формул – “прямий” для символів *Кирилицею* та “курсив” для *Латинських* символів.

Табличний заголовок (напівжирний, 10 пт.) – **обов’язковий**, в таблиці 10 пт.

Рисунки **обов’язково** супроводжуються центрованими підрисунковими підписами (кегель – 10).

**Не допускаються** кольорові та фонові рисунки.

Допускається розташування великих рисунків, формул та таблиць в одну колонку (до 16 см.).

## Структура рукопису

Роботу структурувати згідно з IMRAD – стандарт оформлення наукової статті.

**Introduction** – **вступ** (висвітлено цінність дослідження для наукової спільноти, висвітлено виконану роботу та вказано про

подальшу необхідність даного дослідження, сформульовано основні тези та висвітлено матеріали попередніх досліджень з даної області, визначено головні завдання та гіпотези);

**Materials and methods** – **матеріали та методи** (висвітлено матеріали та методи за допомогою яких проводилося дослідження);

**Results** – **результати** (висвітлено основні положення і результати наукового дослідження, особисті ідеї, думки, отримані наукові факти, виявлені закономірності, зв’язки, тенденції, методика отримання та аналіз фактичного матеріалу, особистий внесок автора у досягнення і реалізацію висновків);

**Discussion** – **обговорення** (науковець дає оцінку результатів та пояснює як ці результати були отримані, аналізує їх та робить висновки та дає необхідні рекомендації для вивчення даної теми в подальших дослідженнях, захищає отримані дані, проводить паралелі з результатами інших науковців і вказує чи є взаємозв’язок між ними, опираючись на сильні сторони роботи автор вказує слабкі сторони, які потрібно доопрацювати і розкриває практичне і теоретичне застосування результатів, робить висновки і описує подальші можливості цього дослідження);

**Conclusions** – **висновки** (яке значення мають отримані знання для наукового світу і як їх можна застосувати на практиці, рекомендації вченим, що досліджують в цій області). Бібліографію оформлюють у вигляді списку, в якому є всі джерела, що згадуються протягом роботи. Їх потрібно написати в алфавітному порядку або таким чином, як вони були оформлені у тексті.

Список літератури виділяється підзаголовком **Список використаних джерел** та оформлюється згідно з IEEE style (кегель – 9 пт). Рекомендовано вписувати не менше 20 посилань, і декілька з них на роботи, які були опубліковані в останні роки.

Текст статті розбивається на відповідні розділи з підзаголовками, які виділені напівжирним шрифтом.

На останньому аркуші статті після списку літератури наводяться: назва статті, прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання автора (співавторів), назва організації, у якій працює автор (співавтори), анотація та ключові слова українською, англійською мовами (крім основної мови статті) за нижченаведеним зразком (11 кегль (8 для наукового ступеня, звання, посади), міжрядковий інтервал – 1,0, вирівнювання – по центру). Обсяг анотації – не менше 250 слів.

## ARTICLE TITLE

<sup>1</sup>Pavlo Polubotok (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

<sup>2</sup>Kostyantyn Ostrogski (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

<sup>1</sup>University..., Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Institute..., Kyiv, Ukraine

### Translation of the abstract and keywords

Після цього наводиться список використаних джерел **References** англійською мовою згідно з IEEE style (9 кегль).

**Корисні посилання для здійснення транслітерації:**

<http://translit.kh.ua/?passport> – автоматична транслітерація з української мови

<http://translate.meta.ua/ua/translit/> – автоматична транслітерація з російської мови

На окремому аркуші наводяться відомості про рецензента та авторів.

**Рецензент:** Прізвище, ім’я та по-батькові; посада; вчена ступінь та вчене звання; адреса електронної поштової скриньки; контактний телефон; ORCID ID в форматі: <https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

**Автор:** Прізвище, ім’я та по-батькові; посада; вчена ступінь та вчене звання; адреса електронної поштової скриньки; контактний телефон; ORCID ID в форматі: <https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

Комп’ютерна верстка: Ю.М. Коломієць, С.М. Базіло

Оформлення обкладинки Ю.М. Коломієць

Засновник і видавець Національний університет оборони України.

Св-во КВ № 24979-14919Р. Адреса редакції: 03049, м. Київ, Повітрофлотський пр-т, 28. Тел. (044) 271-05-88.

Підписано до друку 26.06.2023. Формат 60×84 1/8. Ум. друк. а. 10,25. Тираж 35 прим. Безкоштовно.

Надруковано у друкарні Національного університету оборони України.