

# ПОВІТРЯНА МІЦЬ УКРАЇНИ

№ 2 (3)  
2022

## Науково-практичний журнал Засновник і видавець

Національний університет оборони  
України імені Івана Черняхівського  
Журнал заснований у 2021 році

### Адреса редакції

Національний університет оборони  
України імені Івана Черняхівського  
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 імені  
Івана Черняхівського  
(протокол № 13 від 26 грудня 2022 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
Аналіз застосування безпілотних літальних апаратів в збройних конфліктах в Сирії, Лівії та Нагірному Карабасі в період 2017-2020 рр. для удосконалення форм і способів застосування Повітряних Сил (Титаренко О.Б., Горобець Ю.О.).....	5
Модель оцінки повітряної обстановки з використанням логічного виведення на основі драстичної суми (Каліновський Д.О., Самокіш А.В., Шаповалов О.В.).....	11
ПИТАННЯ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ Авіації України, Зенітних ракетних, радіотехнічних та спеціальних військ, зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.....	17
Уточнення понятійного апарату для проведення досліджень ефективності і спроможностей системи зенітного ракетного прикриття (Глоба О.В., Левченко М.А.).....	17
Методика оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки (Пуховий О.В., Попов С.Е., Дворніченко І.О.).....	24
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПЛОТНОЇ Авіації.....	29
Алгоритм процесу управління спільною авіаційною групою за етапами бойового польоту (Ярошенко Я.В., Герасименко В.В., Коротін С.М., Мартинюк О.Р., Блискун О.Є.).....	29
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ, СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК, ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ, ДЕСАНТНО-ШТУРМОВИХ ВІЙСЬК ТА ІНШИХ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ.....	35
Застосування розширення діаграми Ганта для моделювання взаємодії підрозділів протиповітряної оборони (Резнік Д.В., Шкурат Б.Ж., Мельниченко В.С.).....	35
ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ.....	41
Методика математичного моделювання зміни експлуатаційного стану жорстких аеродинамічних покриттів на основі кінцево-елементного аналізу (Дуленко Д.І., Мильников Г.В., Косков Ю.М., Голик М.В.).....	41
Шляхи удосконалення інформаційного забезпечення перспективної автоматизованої системи управління логістичним забезпеченням зенітних ракетних військ (Опенько П.В., Феськов О.С., Іванов В.І., Кобзєв В.В.).....	47
ДОСВІД ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ (АНТИТЕРОРИСТИЧНИХ, МИРОТВОРЧИХ, СИЛ ОБОРОНИ).....	56
Вивчення та впровадження досвіду у Збройних Силах України (Гончаренко Є.В., Ткаченко А.В.).....	56
Досвід інженерно-авіаційного забезпечення застосування авіації Збройних Сил України в умовах сучасної війни (Коцюруба А.В., Радько О.В., Корвін І.П., Сафонов І.Є.).....	60
ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ Авіації, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	65
Вдосконалений алгоритм протоколу стану каналу зв'язку для забезпечення маршрутизації в інформаційно-телекомунікаційній системі (мережі) військового призначення (Хажанець Ю.А., Корнівська І.С., Кас'яненко М.В.).....	65
Застосування однокрокового варіаційно-градієнтного методу для керування безпілотними літальними апаратами (Дакно Н.Б., Барабаш О.В., Базіло С.М., Коломієць Ю.М.).....	70
Схема оформлення статей.....	74

## **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

*Авраменко Олександр Васильович*

доктор технічних наук

*Герасименко Володимир Вікторович*

кандидат військових наук

*Горбенко Володимир Михайлович*

кандидат військових наук,

доцент

*Горобець Юрій Олексійович*

кандидат військових наук, доцент

*Диптан Валентин Петрович*

кандидат військових наук, доцент

*Коровін Іван Павлович*

кандидат технічних наук, доцент

*Коршець Олена Антонівна*

кандидат технічних наук, доцент

*Левченко Михайло Антонович*

кандидат військових наук, доцент

*Мартинюк Олексій Ростиславович*

кандидат технічних наук, доцент

*Медведєв Володимир Костянтинович*

кандидат військових наук, професор

*Миронюк Микола Юрійович*

кандидат військових наук

*Опенько Павло Вікторович*

кандидат технічних наук,

старший дослідник

*Паталаха Валерій Григорович*

кандидат військових наук, доцент

*Пуховий Олександр Володимирович*

кандидат військових наук, доцент

*Радько Олег Віталійович*

кандидат технічних наук, доцент

*Резнік Дмитро Вікторович*

кандидат військових наук

### ***Технічний редактор***

*Коломієць Юрій Миколайович*  
доктор філософії

# AIR POWER OF UKRAINE

№ 2 (3)  
2022

## Scientific and Practical Journal

### Founder and publisher

National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskiy  
The journal was founded in 2021

### Address

National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskiy,  
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  
on-line version of journal:  
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  
named after Ivan Chernyakhovskiy  
(protocol № 13 from December, 26, 2022)

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
Analysis of the use of unmanned aircraft in armed conflicts in Syria, Libya and Nagomy Karabas in the period 2017-2020, for the improvement of the forms and methods of application of the Air Forces (Tytarenko O., Gorobec Y.).....	5
Model of air situation assessment using logical output on the basis of a drastic sum (Kalinovskiy D., Samokish A., Shapovalov O.).....	11
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.....	17
Specification of the conceptual apparatus for conducting of the anti-aircraft missile cover systems efficiency and capabilities researches (Hloba O., Levchenko M.).....	17
Methodology of evaluating the effectiveness of radar reconnaissance (Pukhovyi O., Popov S., Dvornichenko I.).....	24
RESEARCH OF MANAGEMENT AND APPLICATION PROCESSES OF MANNED AND UNMANNED AVIATION.....	29
The joint aviation group management process algorithm by stages of combat flight (Yaroshenko Y., Herasymenko V., Korotin S., Martyniuk O., Blyskun O.).....	29
THEORETICAL BASIS OF INTERACTION WHEN APPLYING MILITARY UNITS OF AIR FORCES, LAND FORCES, NAVY, AIRBORNE TROOPS AND OTHER MILITARY UNITS.....	35
Using of Gantt chart extension for modeling the interaction of air defense units (Rieznik D., Shkurat B., Melnychenko V.).....	35
THE ISSUES OF DEVELOPMENT OF LOGISTIC SUPPORT OF KINDS OF AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	41
Mathematical simulation of changes in the operational condition of hard airfield surfaces based on finite element analysis (Dulenko D., Mylnikov G., Koskov Y., Golyk M.).....	41
Improvement of information support of perspective automated control system of surface-to-air missile troop's logistics support (Open'ko P., Feskov O., Ivanov V., Kobzev V.).....	47
THE EXPERIENCE IN CONDUCTING OPERATIONS (ANTI-TERRORIST, PEACEKEEPING, DEFENSE FORCES).....	56
Lessons learned procedure in the Armed Forces of Ukraine (Honcharenko Y., Tkachenko A.).....	56
Experience of aircraft maintenance of the Armed Forces of Ukraine aviation use in the modern warfare conditions (Kotsiuruba A., Radko O., Korovin I., Safonov I.).....	60
INNOVATIVE PROCESSES IN THE FIELDS OF AVIATION, AUTOMOTIVE, RADIO ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS, AS WELL AS INFORMATION TECHNOLOGIES.....	65
Improved algorithm for communication channel state protocol for routing in a military information and telecommunication system (network) (Khazhanets Y., Korenivska I., Kasianenko M.).....	65
Application of the one-step variation-gradient method for controlling unmanned aircraft (Dakhno N., Barabash O., Bazilo S., Kolomiets Y.).....	70
Paper template.....	74

## **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

*Oleksandr Avramenko*

doctor of technical sciences

*Volodymyr Herasimenko*

candidate of military sciences

*Volodymyr Horbenko*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Yurii Horobets*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Valentyn Dyptan*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Ivan Korovin*

candidate of technical sciences,  
associate professor

*Olena Korshets*

candidate of technical sciences,  
associate professor

*Dmytro Rieznik*

candidate of military sciences

*Mykhailo Levchenko*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Volodymyr Medvediev*

candidate of military sciences, professor

*Mykola Mironyuk*

candidate of military sciences

*Oleksii Martyniuk*

candidate of technical sciences,  
associate professor

*Pavlo Openko*

candidate of technical sciences,  
senior researcher

*Valerii Patalakha*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Oleksandr Pukhovyi*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Oleg Radko*

candidate of technical sciences,  
associate professor, senior researcher

### ***Technical Editor***

*Yurii Kolomiets*

Doctor of Philosophy

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

**УДК 355.424.4**

**Титаренко Олександр Борисович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-3992-9314>

**Горобець Юрій Олексійович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-7994-2022>

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

### **АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ В СИРІЇ, ЛІВІЇ ТА НАГІРНОМУ КАРАБАСІ В ПЕРІОД 2017-2020 РР. ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ФОРМ І СПОСОБІВ ЗАСТОСУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ**

*На основі результатів аналізу застосування безпілотних літальних апаратів та зенітних ракетних (ракетно-артилерійських) комплексів в збройних конфліктах в Сирії, Лівії та Нагірному Карабасі в період 2017-2020 рр. визначені проблемні питання та шляхи удосконалення форм і способів застосування Повітряних Сил. Визначено характерні риси їх оперативного та бойового застосування, зроблено висновки, що пояснюють результати збройного протиборства у повітрі. Особливу увагу приділено протиборству безпілотних літальних апаратів та зенітних ракетних (ракетно-артилерійських) комплексів в збройних конфліктах.*

**Ключові слова:** збройний конфлікт, протиповітряна оборона, безпілотний літальний апарат, зенітних ракетний комплекс.

#### **Вступ**

Широкомасштабна агресія російської федерації проти України підкреслила важливість протиповітряної оборони (ППО) держави в ході ведення бойових дій. Аналіз досвіду сучасних воєнних конфліктів, дає змогу визначити їх основні риси, до яких можна віднести осередковий і швидкоплинний характер бойових дій, відсутність затяжних позиційних боїв, застосування тільки далекобійної зброї, переважно повітряного і космічного базування, зростання ролі навігаційних систем у вирішенні завдань ураження і координації дій не тільки великих оперативних угруповань військ, але і дрібних тактичних формувань.

Змінюється характер збройної боротьби, у війнах сучасності відбувається певна еволюція окремих її елементів, головним з яких є засоби вогневого ураження, що обумовлено розвитком засобів розвідки, наведення та безпосереднього вогневого впливу на важливі об'єкти противника.

Сучасні воєнні конфлікти характеризуються активним застосуванням високоточної зброї. Збройна боротьба в таких війнах перемістилася у повітряно-космічний простір, який став головним

театром воєнних дій, а високоточна зброя поступово перетворюється на вирішальний чинник збройної боротьби, масоване використання якої, здатне забезпечити досягнення цілей війни навіть без застосування сухопутних військ.

#### **Матеріали та методи**

Однією з основних тенденцій ведення збройної боротьби в сучасних умовах стало масове використання невеликих за розміром, малопомітних і з великою тривалістю польотів безпілотних літаків-розвідників та ударних безпілотників. Висока ефективність застосування цих засобів підтверджена досвідом сучасних збройних конфліктів таких як, проведення ООС (АТО) на сході нашої держави та вході Карабахського конфлікту, привела до суттєвого збільшення обсягів фінансування програм розробки і прийняття на озброєння безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в провідних країнах світу. Результати застосування різномірних сил та засобів ураження у військових операціях вказують на стійку тенденцію інтеграції систем розвідки, управління та вогневого ураження в єдину розвідувально-ударну систему управління

розвідкою, радіоелектронним подавленням і ураженням об'єктів противника. Підставою для такої інтеграції стало використання новітніх технологій в сфері розвідки, що забезпечило здатність стеження у реальному масштабі часу за усіма можливими цілями.

Поряд із широким використанням крилатих ракет повітряного та морського базування, включенням до складу авіаційного угруповання різномірних безпілотних літальних апаратів характерною особливістю сучасних війн стає зміна ролі ударних літаків, які поступово перетворюються на повітряні платформи для доставки крилатих ракет у район їх пуску. Застосування високоточної зброї та БПЛА внесло кардинальні зміни у форми і способи застосування угруповань повітряного нападу.

Перехід від масованого застосування авіації у визначений час до завдань комбінованих групових авіаційних ударів з використанням інтегрованого розвідувального інформаційного поля також можна вважати однією з основних рис сучасної збройної боротьби.

Це все потребує постійно удосконаленню форм і способів застосування Збройних Сил України в сучасних та перспективних збройних конфліктах, дослідження ролі і місця повітряної компоненти в стратегічних формах застосування Збройних Сил України, порядку застосування повітряної компоненти в ході ведення операції об'єднаних сил.

### **Результати**

Проведемо аналіз застосування безпілотних літальних апаратів в останніх збройних конфліктах в Сирії, Лівії та Нагірному Карабасі в період 2017-2020 рр. для пошуку проблемних питань та шляхів удосконалення форм і способів застосування Повітряних Сил.

#### *Збройний конфлікт в Сирії.*

Під час військового протистояння в Сирії, Туреччина вивела тактику застосування своїх БПЛА на новий рівень.

По-перше, ударні БПЛА стали на постійній основі застосовуватися проти особового складу і засобів озброєння іррегулярної армії – Збройних Сил Сирії, а не проти регулярних військових формувань.

По-друге, була вироблена тактика застосування ударних БПЛА “Bayraktar TB2” масованими, групами, під прикриттям більш важких розвідувальних БПЛА “Anka”, обладнаних засобами радіолокаційної розвідки (далі – РЛР), оптикоелектронної розвідки (далі – ОЕР) і комплексами радіоелектронного придушення (далі – РЕП), в рамках вирішення завдань ураження ЗРК і ЗРГК системи ППО.

Детальніше бойове протистояння “БПЛА – ЗРК” зокрема між ЗРГК “Панцир-С1”, що стоїть на озброєнні військ Сирії, і турецькими БПЛА

“Bayraktar TB2” і “Anka” в 2017-2019 роках у війні в Сирії представлені в роботах [1, 2].

За твердженням турецьких засобів масової інформації (ЗМІ), засобом РЕП, розміщеним на БПЛА “Anka” майже завжди вдавалося успішно подавляти РЛС ЗРГК “Панцир-С1”, що дозволяло ударним БПЛА “Bayraktar TB2” входити в зону ураження цих ЗРГК і успішно їх атакувати [3].

За непідтвердженими даними, за інформацією ЗМІ протиборчих сторін, в ході військової операції турецьких військ в Сирії в період з вересня 2019 року по вересень 2020 року в дуельних ситуаціях “БПЛА – ЗРГК” було збито близько 20 БПЛА “Bayraktar TB2” і “Anka”, при цьому знищено 8 ЗРГК “Панцир-С1”. Однак можна припустити, що ці дані були завищені в пропагандистській цілях. За повідомленнями офіційних осіб, а також за підтвердженнями даними, за цей період було збито 10 БПЛА “Bayraktar TB2” і “Anka” і втрачено 2 ЗРГК “Панцир-С1” [4, 5]. Разом з тим, навіть якщо орієнтуватися на офіційно надані втрати, розмір 1 ЗРГК “Панцир-С1” на 5 БПЛА підтверджує неадекватно низький рівень бойової живучості ЗРГК, в умовах масованого застосування БПЛА.

Таким чином, можна констатувати, що групи ударних БПЛА для поразки ЗРК, стають ефективними засобами для розкриття і знищення системи ППО противника [3]. Надалі тактичні прийоми застосування БПЛА були розвинені в ході їх бойового застосування в Лівії і в Нагірному Карабасі.

#### *Збройний конфлікт в Лівії.*

Аналіз бойового застосування російських ЗРК і ЗРГК проти турецьких БПЛА “Bayraktar TB2” і “Anka” у війні в Лівії у 2019 році детально представлений в роботі [3].

Перші турецькі ударні БПЛА “Bayraktar TB2” влітку 2019 року були поставлені Уряду національної згоди (далі - УНЗ) Лівії, який вів боротьбу з силами маршала Х. Хафтара, на озброєнні яких, в свою чергу, були ЗРГК “Панцир-С1”. Масоване застосування турецьких БПЛА (до 40 одиниць), як і в Сирії так і в Лівії зумовило результат вирішального бою за Тріполі.

За непідтвердженими даними, з травня 2019 року по червень 2020 року за повідомленнями протиборчих сторін, сили Х. Хафтара втратили 15 ЗРГК “Панцир-С1”, знищених БПЛА “Bayraktar TB2”, яких, в свою чергу, було втрачено 78 одиниць. При цьому, потрібно розуміти, що ці дані можуть бути завищені щодо реальних втрат. За підтвердженнями випадками, за той же період, було збито до 26 БПЛА “Bayraktar TB2” та втрачено до 12 ЗРГК “Панцир-С1” що, безумовно, набагато більше, в порівнянні з кампанією в Сирії [3, 5, 6].

Причина високих втрат БПЛА “Bayraktar TB2” в тому, що, на відміну від Сирії, в Лівії вони застосовувалися без підтримки БПЛА “Anka”, обладнаних комплексами РЕП та в більшості

випадків, без підтримки наземних комплексів РЕП. Для зниження ймовірності виявлення БПЛА “Bayraktar TB2” з боку РЛС ЗРГК вони відправлялися на завдання з вогневої підтримки військ та прориву системи ППО на малих та гранично малих висотах. Результатом цього були великі втрати БПЛА, так як легкі БПЛА, задіяні для нанесення ударів – це одна з найбільш уразливих для засобів ППО категорія цілей. Разом з тим, протидія масованому удару таких БПЛА для системи ППО є не тривіальним завданням. Легкі БПЛА, такі як “Bayraktar TB2”, при роботі по передньому краю системи ППО можуть йти на низькій висоті (в кілька сотень метрів), залишаючись невиявленими для більшої кількості РЛС ЗРК.

Низьковисотний політ БПЛА – це ризик, на який необхідно йти для прориву системи ППО і втрати в цьому випадку неминучі. Але в разі застосування БПЛА “Bayraktar TB2” в Лівії, через брак інших варіантів, такий ризик був неминучий і виправданий тим, що масоване застосування груп БПЛА дозволяло більшій частині групи успішно подолати зону ППО і, створивши велику чисельну перевагу, знищити ЗРК, попередньо змусивши останні вичерпати свій боєзапас [3].

Разом з тим, якщо приблизно орієнтуватися на вищевказані підтверджені втрати, в Лівії був забезпечений розмір 1 ЗРГК “Панцир-С1” на 2,8 БПЛА, що підтверджує високу ефективність одночасного масового застосування БПЛА для знищення ЗРК системи ППО. При цьому БПЛА дешевше і їх застосування не несе жертв серед особового складу. Основними причинами, за якими ЗРГК зазнають втрат, є: низька ефективність алгоритмів управління вогнем для відображення масового удару БПЛА з декількох сторін, слабка підготовка екіпажів, порушення правил експлуатації та транспортування, а також нехтування основами маскування. Як зазначається в роботі [5], переважна частина втрачених ЗРГК “Панцир-С1” перебувала або на марші, або вони були знищені, коли у них закінчився боєкомплект і вони вже не могли забезпечити як свою власну безпеку, так і здійснити прикриття сусідніх позиційних районів ППО від БПЛА противника.

З огляду на вищевказані обставини, бойове застосування ЗРК та ЗРГК проти БПЛА “Bayraktar TB2” в Лівії слід, в цілому, оцінити як неефективне, особливо з урахуванням того, що БПЛА “Bayraktar TB2” – це легкий БПЛА з обмеженою дальністю застосування озброєння, при цьому, його використання в Лівії було лімітовано відсутністю можливості управління БПЛА по супутниковому зв'язку [3]. Переважна кількість втрат ЗРГК відбулося через успішну реалізацію проти них атаки на вичерпання кількості ракет, що проводиться шляхом масованого застосування легких БПЛА [5].

#### *Збройний конфлікт в Нагірному Карабасі*

Восени 2020 року розпочався військовий конфлікт між Азербайджаном і Вірменією в Нагірному Карабасі. Характерною рисою даного конфлікту було масоване застосування з боку Азербайджану БПЛА для знищення засобів озброєння і живої сили Вірменії.

На озброєння Азербайджану безпосередньо перед початком конфлікту надійшли турецькі БПЛА “Bayraktar TB2”, оснащені керованими авіабомбами МAM-L (Smart Micro Munition – розумний мікро-боєприпас) з лазерним наведенням, а також ізраїльські БПЛА “Heron TP” і “Hermes 4507”, баражуючі “БПЛА-камікадзе” “Sky Striker” і “Harop”. Крім того, в Азербайджані, на спільному з Ізраїлем підприємстві випускалися БПЛА “Aerostar”, а також “БПЛА-камікадзе” “Orbiter-1K” і “Orbiter-3” [7].

Станом на початок конфлікту, на озброєнні ЗС Вірменії стояли різні системи ППО радянського і російського виробництва, при цьому прикриття повітряного простору безпосередньо над територією Нагірного Карабаху забезпечували ЗРК “Оса” і “Стріла” [8]. Також Вірменія закупила у Росії ЗРК “Тор”, які можливо було б ефективно застосовувати проти БПЛА, проте на території Нагірного Карабаху їх не розміщували [7].

Обидва цих ЗРК орієнтовані, перш за все, на поразку літаків і вертольотів армійської авіації і не призначені для боротьби з БПЛА. Незважаючи на це, спільні вірмено-російські навчання військ ППО які пройшли у червні 2020 році, на думку російських військових фахівців, дозволили зробити висновок про високі бойові якості цих ЗРК для потенційної протидії азербайджанським БПЛА. Такий висновок був зроблений на підставі того, що ЗРК “Оса” успішно перехопила одиночний розвідувальний БПЛА “Hermes 900” [9].

З початком бойових дій в Нагірному Карабаху, як показано в роботах [7, 8, 9], азербайджанські збройні сили, за підтримки турецьких військових фахівців, розгорнули масове групове застосування ударних БПЛА, з урахуванням досвіду застосування БПЛА в Сирії та Лівії. На думку російських фахівців, якби війна в Нагірному Карабасі велася б без БПЛА, вірменські системи ППО були б цілком адекватні завданням щодо стримування азербайджанської авіації. Не випадково, навіть отримавши перевагу в повітрі, Азербайджан дуже обмежено використовує свою пілотовану авіацію, так як ЗРК які є на озброєнні Вірменії представляли для них серйозну загрозу. Однак Вірменія виявилася абсолютно не готова до війни з масовим використанням БПЛА, тактика якої була відпрацьована в Ємені, Сирії та Лівії.

Результатом масованого застосування груп БПЛА “Bayraktar TB2”, спільно з “БПЛА-камікадзе” “Sky Striker”, “Harop” і “Orbiter” стало практично повне знищення вірменських ЗРК “Оса”

і “Стріла-10”, розміщених в Нагірному Карабасі, в перші дні конфлікту. Вже в перший день війни по позиціях цих ЗРК був нанесений заздалегідь підготовлений удар, який позбавив оборону Нагірного Карабаху, за оцінками фахівців, до 80% комплексів ППО – 6 ЗРК “Оса” і 3 ЗРК “Стріла-10” при втратах в 4 БПЛА [9, 10].

Таким чином, за рахунок масовості і раптовості застосування, забезпечивши обмін 2,25 ЗРК на 1 БПЛА (!!!). Завоювання переваги в повітрі дало можливість Азербайджану за допомогою БПЛА безперервно, в цілодобовому режимі, і безперешкодно атакувати вірменські мотострілкові і механізовані частини, завдаючи їм істотні втрати ще до того, як вони вступали в бій з силами Азербайджану. Це значно полегшило наступ азербайджанської армії і дозволило добитися істотних тактичних успіхів.

При цьому, що залишилися на озброєнні Вірменії комплекси ППО, такі як С-300ПС та С-300ПТ, в принципі не призначені для боротьби з БПЛА, в зв'язку з чим вони не можуть бути ефективно використані для оборони повітряного простору Вірменії і Нагірного Карабаху від цього нового типу загрози.

Більш того, в результаті грамотної спланованої операції силами БПЛА були знищені 2 пускові установки і 2 РЛС зі складу ЗРК С-300ПС. За інформацією ЗМІ один із знищених ЗРК С-300ПС входив до складу системи ППО Вірменії і знаходився на відкритій місцевості без будь-якого додаткового прикриття. Причиною тому послужило те, що на першому етапі військового конфлікту Азербайджан використовував літаки Ан-2 в безпілотному виконанні, щоб виявити місце

розташування вірменських систем ППО. Літаки були збиті, але це дозволило розкрити місце розташування як ЗРК С-300ПС, так і ЗРК ближньої дії “Оса” і “Стріла-10М3”, що прикривають його. Після знищення ЗРК ближньої дії ЗРК С-300ПС залишилися без прикриття і пускова установка 5П85С, а також РЛС типу 36Дб, що входять до складу ЗРК, були вражені за допомогою “БПЛА-камікадзе” ізраїльського виробництва “Нагор”.

Таке масове ефективне застосування БПЛА для знищення спочатку системи ППО, а в подальшому і живої сили, і озброєння сухопутних військ, яке було використано у війні в Нагірному Карабасі, зустрічається у світовій практиці вперше і отримало в ЗМІ назву “війна дронів”. Азербайджанська сторона широко розповсюдила в ЗМІ записи високоточних ударів БПЛА по вірменським позиціях. Основні цілі ударів – це, перш за все, засоби ППО, а потім - бронетанкові колони на марші, танки і артилерія на позиціях, рідше – склади, сховища і казарми [7, 8].

Після знищення основних сил системи ППО в Нагірному Карабасі вірменська сторона виявилася нездатна швидко заповнити їх ресурс за рахунок нових ЗРК. Вона виявилася в ситуації, коли противник, завоювавши перевагу в повітрі, використовує її для досягнення стратегічної переваги у війні. Це робить неминучим зростання кількості втрат і зростання проблем в обороні сухопутних військ від масованих ударів БПЛА з повітря. Екстрені закупівлі ПЗРК, які розглядаються зараз вірменською стороною, є не зовсім вдалою спробою вирішити системну проблему боротьби з БПЛА [8].

**Таблиця 1**

Орієнтовні показники середнього розміру кількості знищених БПЛА на кількість знищених ЗРК і ЗРГК системи ППО

Збройний конфлікт	Показник розміру
Збройний конфлікт в Сирії (2017-2019 рр.)	1 ЗРГК на 5 БПЛА
Збройний конфлікт в Лівії (2019 р.)	1 ЗРГК на 2,8 БПЛА
Збройний конфлікт в Нагірному Карабасі (2020 р.)	2,25 ЗРК на 1 БПЛА

### **Обговорення**

Аналіз поліпшення показника розміру “БПЛА за ЗРК” (таблиця 1) паралельно з удосконаленням тактики групового застосування БПЛА дозволяє зробити наступні висновки. Незалежно від того, як складеться подальше розвиток подій за Нагірний Карабах, очевидна тенденція підвищення ефективності застосування БПЛА для завоювання панування в повітрі і поразки основних сухопутних засобів озброєння – бронетехніки. Це дозволяє зробити висновок про можливу близьку зміну стратегії ведення війн, в частині застосування БПЛА. У війнах найближчого майбутнього можливе масове багатоступеневе і багаточислове застосування груп легких розвідувальних і

розвідувально-ударних БПЛА, а також “БПЛА-камікадзе”. На першому етапі – для розвідки противника. На етапі нанесення першого удару – для знищення засобів ППО, а в подальшому – знищення літаків і вертольотів пілотованої авіації на землі і в повітрі. Після завоювання переваги в повітрі – знищення бронетехніки і живої сили сухопутних військ, об'єктів тилу і критичної державної інфраструктури.

### **Висновки**

Результати аналізу переконливо доводять низьку живучість системи ППО в умовах масованого удару групи БПЛА і підтверджує можливість успішного ураження ЗРК і ЗРГК систем ППО групами БПЛА, що було зафіксовано у



військових конфліктах, розглянутих вище.

Проведений аналіз, є досить переконливою демонстрацією того, що групове застосування БПЛА вже сьогодні є серйозним фактором для придушення комплексів ППО малими витратами. Подальший розвиток технології групового застосування БПЛА істотно ускладнить умови функціонування систем ППО.

Досвід проведених операцій багатонаціональними силами НАТО та нанесення ракетних та бомбових ударів ЗС РФ по об'єктах в Сирії ще раз підтверджує, що основні зусилля при підготовці військ слід спрямувати на підготовку Повітряних Сил до бойового застосування.

Аналізуючи розвиток зазначених подій, є всі підстави стверджувати, що у сучасних умовах значну частину завдань у воєнний час будуть вирішувати саме Повітряні Сили.

Визначення місця і ролі Повітряних Сил у загальній системі Збройних Сил України вимагає детальних теоретичних досліджень і уточнення завдань Повітряним Силам, з яких випливатимуть напрямки удосконалення їх структури та пошуку нових форм та способів їх застосування.

### **Список використаних джерел**

1. Протистояння ЗРК “Панцир-С1” і турецьких БПЛА: репетиція воєн майбутнього // Військове огляд [Електронний ресурс]. 14.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172126-protivostojanie-zrk-pancir-s1-i-tureckih-bpla-repeticija-vojn-buduschego.html>.
2. ЗРГК “Панцир” проти атаки БПЛА слабкі місця при варіанті слабкою навченості екіпажів // Військове огляд [Електронний ресурс]. 08.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/171955-zrpk-pancir-protiv-ataki-bpla-slabye-mesta-pri-variante-slaboj-obuchennosti-jekipazhej.html>.
3. Ударні БПЛА змінили хід бойових дій в Сирії та Лівії // Військовий огляд [Електронний ресурс]. 23.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172367-udarnye-bpla-izmenili-hod-boevykh-dejstvij-v-sirii-i-livii.html>.
4. Орлов В. “Байрактар” проти “Панцирів” // Військово-промисловий кур'єр. 2020. № 21 (834). - URL: <https://www.vpk-news.ru/articles/57318>.
5. Втрати турецьких БПЛА в Лівії // [livejournal.com](https://livejournal.com) [Електронний ресурс]. 08.06.2020. - URL: <https://colonelcassad.livejournal.com/5929471.html>.
6. Аксьонов П. Війна дронів в Карабасі: як безпілотники змінили конфлікт між Азербайджаном і Вірменією // BBC News [Електронний ресурс]. 06.10.2020. - URL: <https://www.bbc.com/features-54431129>.
7. Рожин Б. Нагорний Карабах став першою війною епохи ударних безпілотників // Федеральне агентство новин [Електронний ресурс]. 12.10.2020. - URL: <https://riafan.ru/1320335-nagornyi-karabakh-stal-pervoi-voinoi-epokhi-udarnykh-bespilotnikov>.
8. Тучков В. Повітряну фазу битви за Карабах Єреван вже програв // Вільна Преса [Електронний ресурс]. 06.10.2020. - URL: <https://svpressa.ru/war21/article/277832/>.
9. У Карабасі турецькі Bayraktar TB2 знищили радянські “Оси” і “Стріли” // Lenta.ru [Електронний ресурс]. 29.09.2020. - URL: <https://lenta.ru/news/2020/09/29/bayraktarb2/>.
10. У Мережі з'явилися знімки знищеного ЗРС С-300 ЗС Вірменії // Військове огляд [Електронний ресурс]. 26.10.2020. - URL: <https://topwar.ru/176473-v-seti-pojavilis-snimki-unichtozhennogo-zrs-s-300-vs-armenii.html>.
11. Даманцев Е. Знищення радару 36Д6 і самохідної ПУ 5П85С вірменського С-300ПС: привід для пафосних реляцій азербайджанських ЗМІ або чергові помилки? // Військове огляд [Електронний ресурс]. 14.10.2020. - URL: <https://topwar.ru/176019-besprejatstvennoe-porazhenie-radara-36d6-i-samohodnoj-pu-5p85s-armjanskogo-s-300p-s-povod-dlja-pafosnyh-reljacij-azerbajdzhanskih-smi-ili-ocherednaja-porcija-nelepyh-zabluzhdenij.html>.
12. Ростопчина В. В. Ударні безпілотні літальні апарати і протиповітряна оборона - проблеми і перспективи протистояння // Безпілотна авіація [Електронний ресурс]. 2019. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/331772628\\_Udarnye\\_bespilotnye\\_tetatelnye\\_apparaty\\_i\\_protivovozdusnaa\\_oborona\\_problemy\\_i\\_perspektivy\\_protivostoania](https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_tetatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_problemy_i_perspektivy_protivostoania).
13. Рамм А. Правда і міфи беспилотной битвы. Независимое военное обозрение. URL: [https://nvo.ng.ru/nvo/2020-10-29/1\\_1115\\_dron.html](https://nvo.ng.ru/nvo/2020-10-29/1_1115_dron.html).

## **ANALYSIS OF THE USE OF UNMANNED AIRCRAFT IN ARMED CONFLICTS IN SYRIA, LIBYA AND NAGORNY KARABAS IN THE PERIOD 2017-2020. FOR THE IMPROVEMENT OF THE FORMS AND METHODS OF APPLICATION OF THE AIR FORCES**

**Oleksandr Tytarenko** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3992-9314>

**Yuriy Gorobec** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-7994-2022>

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*Based on the results of the analysis of the use of unmanned aerial vehicles and anti-aircraft missile (missile-artillery) complexes in armed conflicts in Syria, Libya and Nagorno-Karabakh in the period 2017-2020, problematic issues and ways of improving the forms and methods of application of the Air Forces have been identified. The characteristic features of their operational and combat use are determined, conclusions are made that explain the results of armed combat in the air. Particular attention is paid to combating unmanned aerial vehicles and anti-aircraft missile (missile-artillery) complexes in armed conflicts.*

**Keywords:** *armed conflict, air defense, unmanned aerial vehicle, anti-aircraft missile system.*

### **References**

1. Confrontation of the "Pantsyr-S1" air defense system and turkish UAVs: a rehearsal for future wars // Military review [Electronic resource]. 14.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172126-protivostojanie-zrk-pancir-s1-i-tureckih-bpla-repeticija-vojn-buduschego.html>.
2. ZRGK "Pantsyr" against UAV attack weak points in case of weak training of crews // Military review [Electronic resource]. 08.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/171955-zrpk-pancir-protiv-ataki-bpla-slabye-mesta-pri-variante-slaboj-obuchennosti-jekipazhej.html>.
3. Attack UAVs changed the course of hostilities in Syria and Libya // Military review [Electronic resource]. 23.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172367-udarnye-bpla-izmenili-hod-boevyh-dejstvij-v-sirii-i-livii.html>.
4. Orlov V. "Bayraktar" against "Pantsyr" // Military-industrial courier. 2020. № 21 (834). - URL: <https://www.vpk-news.ru/articles/57318>.
5. Losses of turkish UAVs in Libya // livejournal.com [Electronic resource]. 08.06.2020. - URL: <https://colonelcassad.livejournal.com/5929471.html>.
6. Aksyonov P. Drone war in Karabakh: how drones changed the conflict between Azerbaijan and Armenia // BBC News [Electronic resource]. 06.10.2020. - URL: <https://www.bbc.com/features-54431129>.
7. Rozhyn B. Nagorno-Karabakh became the first war of the era of attack drones // Federal News Agency [Electronic resource]. 12.10.2020. - URL: <https://riafan.ru/1320335-nagornyi-karabakh-stal-pervoi-voinoi-epokhi-udarnykh-bespiilotnikov>.
8. V. Tuchkov. Yerevan has already lost the air phase of the battle for Karabakh // Vilna Presa [Electronic resource]. 06.10.2020. - URL: <https://svpressa.ru/war21/article/277832/>.
9. In Karabash, turkish Bayraktar TB2 destroyed Soviet "Wasps" and "Arrows" // Lenta.ru [Electronic resource]. 29.09.2020. - URL: <https://lenta.ru/news/2020/09/29/bayraktartb2/>.
10. Pictures of the destroyed S-300 anti-aircraft missile system of the Armed Forces of Armenia appeared online // Military review [Electronic resource]. 26.10.2020. - URL: <https://topwar.ru/176473-v-seti-pojavilis-snimki-unichtozhennogo-zrs-s-300-vs-armenii.html>.
11. Damantsev E. The destruction of the 36D6 radar and the self-propelled PU 5P85S of the Armenian S-300PS: an excuse for the pathetic reports of the Azerbaijani mass media or another mistake? // Military review [Electronic resource]. 14.10.2020. - URL: <https://topwar.ru/176019-besprejatstvennoe-porazhenie-radara-36d6-i-samohodnoj-pu-5p85s-armjanskogo-s-300ps-povod-dlja-pafosnyh-reljacij-azerbajdzhanskih-smi-ili-ocherednaja-porcija-nelepyh-zabluzhdenij.html>.
12. Rostopchyna V. V. Shock unmanned aerial vehicles and anti-aircraft defense - problems and prospects of confrontation // Unmanned aviation [Electronic resource]. 2019. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/331772628\\_Udarnye\\_bespiilotnye\\_letatelnye\\_aparaty\\_i\\_protivovozdusnaa\\_oborona\\_problemy\\_i\\_perspektivy\\_protivostoania](https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespiilotnye_letatelnye_aparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_problemy_i_perspektivy_protivostoania).
13. Ramm A. Truth and myths of unmanned battle. Independent military review. URL: [https://nvo.ng.ru/nvo/2020-10-29/1\\_1115\\_dron.html](https://nvo.ng.ru/nvo/2020-10-29/1_1115_dron.html)

**УДК 004.622**

**Каліновський Дмитро Олександрович**

<https://orcid.org/0000-0003-3184-6458>

**Самокіш Артем Валерійович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

**Шаповалов Олександр Васильович** (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-9744-9431>

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна*

## МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОВІТРЯНОЇ ОБСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ НА ОСНОВІ ДРАСТИЧНОЇ СУМИ

Оцінка повітряної обстановки відображає склад, стан і характер дій повітряних суден і засобів інфраструктури в заданому районі. Результати оцінки обстановки, яка складається в районі відповідальності залежить від автоматизованої системи управління та оператора який її використовує для прийняття низки рішень: аналізу повітряної обстановки; визначення типу ситуації яка склалася та варіанти її розвитку. Враховуючи необхідність приймати рішення на основі інформаційної моделі яка використовується, виникає необхідність, звернути увагу на ряд факторів нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та різноманітність варіантів застосування засобів повітряного нападу. Крім того, слід виділити різні категорії та способи подання інформації яка використовується. Враховуючи вищесказане сформовано ієрархічну нечітку продукційну модель з використанням алгоритму Сугено та драстичної суми на етапі агрегування. Запропонована модель дозволяє формалізувати процес оцінки повітряної обстановки, що характеризується перш за все неповнотою інформації в умовах невизначеності, враховуючи вихідні дані прогнозування. які характеризуються невизначеністю та неповнотою інформації.

**Ключові слова:** модель, продукційна модель, оцінка обстановки, формалізація, логічне виведення.

### Вступ

На теперішній час велика частина управлінських рішень залишається частково неформалізованою. Це спричинено недосконалістю апарату формалізації [1, 2], який не призначений для опису і врахування усіх особливостей процесу управління. Вирішення зазначеної задачі оцінки обстановки може бути досягнуто, за рахунок врахування сукупності емпіричних знань людини, що отримані на основі різноманітної інформації, власного досвіду, та її інтелектуальних можливостей.

Розробка і використання методів формалізації знань, які враховують особливості повітряних операцій а саме: високу динамічність бойових дій та значну невизначеність умов як бойової так і повітряної обстановки, приводить до значного ускладнення своєчасного і обґрунтованого прийняття управлінського рішення. Додатковим обмеженням, що над територією, над якою, ведуться бойові дії закривають повітряний простір. Зокрема в даний час повітряний простір над Україною закритий і кожен літак або засіб повітряного нападу (ЗПН), який виявлено під час вильоту або пуску розцінюється, як ціль, яка повинна бути знищена.

Аналіз ведення війни росії з Україною свідчить про широке використання:

безпілотні літальні апарати (Shahid-136, Mohager-6);

ракти класу “Поверхня-Поверхня” (“Калібр”, “Іскандер-М”);

ракти класу “Повітря-Поверхня” (Х-101, Х-47 “Кинджал”);

стратегічна та тактична авіація (Ту-160, Ту-95МС, Ту-22М3, Су-34, Су-35С, Су-30СМ, Су-25). Перераховані ЗПН можна класифікувати відповідно до:

способу польоту (балістичні, аеродинамічні);

способом управління (пілотовані, безпілотні);

місця базування (повітряного, морського та наземного);

цільового призначення (розвідувальні, ударні, РЕБ, багатоцільові);

рівня розв’язуваних задач (тактичні, стратегічні).

Враховуючи дану класифікацію необхідність приймати рішення, вносить ряд факторів нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та різноманітність варіантів застосування ЗПН, а саме:

множину маршрутів польоту;

множину цілей, які визначені для ураження;

множину типів авіаційного озброєння;

множину напрямків удару та інші.

Метою статті є розробка структури ієрархічної нечіткої продукційної моделі з використанням логічного виведення на основі драстичної суми.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

## Результати

Використовуючи систему нечіткого виведення сформуємо послідовність логічного виведення для вирішення задачі оцінки обстановки для розподілу засобів ППО, які протиставляються засобам повітряного нападу (ЗПН).

Знання, які використовуються в процесі прийняття рішення формалізовано у вигляді системи нечітких логічних висловлювань, та описано за допомогою відношень множини лінгвістичних нечітких змінних:

$$\langle \beta, T, X, M \rangle,$$

де  $\beta$  – ім'я змінної (наприклад, “швидкість ЗПН”);

$T$  – базова множина значень її термів – значень, кожне з яких надається за допомогою нечіткої множини (наприклад, “низька”, “середня”, “висока”);

$X$  – носій можливих конкретних значень змінної для всіх термів (наприклад, км/год);

$M$  – семантична процедура надання терму певної нечіткої змінної вигляду  $\langle X, \mu_i(X) \rangle$ ,  $\mu_i(X)$  – функція належності  $i$ -того терму з множини  $T$ .

Для побудови нечітких продукційних моделей з використанням лінгвістичних змінних в системах нечіткого виведення найбільш часто застосовуються наступні алгоритми Мамдані (Mamdani), Сугено (Sugeno), Цукамото (Tsukamoto), Ларсена (Larsen) [3].

Для побудови нечіткої продукційної моделі, використано алгоритм Sugeno в якому вхідним змінним відповідає конкретне значення вихідної змінної.

Етапи розробки і застосування продукційної нечіткої моделі зображено на рисунку 1.

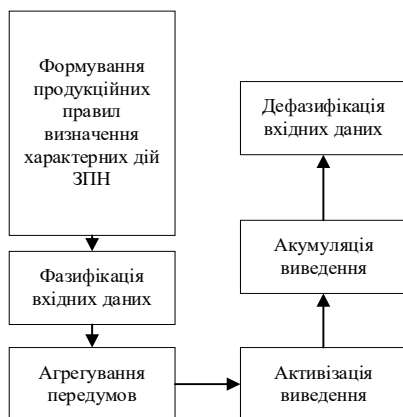


Рисунок 1. Етапи розробки продукційної нечіткої моделі

Побудова нечіткої (ієрархічної) продукційної моделі визначена наступними її компонентами:

1. Вибір способу (схеми) нечіткого виведення заключень. В нечітких продукційних моделях використовуються в основному два способи нечіткого виведення висновків: прямий і зворотний [1].

Прямий спосіб нечіткого виведення, або прямий нечіткий ланцюг міркувань (fuzzy forward chaining reasoning) ґрунтується на правилі виведення “нечіткий модус поненс” (fuzzy modus ponens), узагальнена схема якого містить такі етапи.

Етап 1. Задання нечіткої імплікації  $R: A \rightarrow B$ , що визначає нечітке причинно-наслідкове відношення між перед посиленням  $A$  та висновком  $B$ , яке представляється у вигляді нечіткої імплікації:

$$\text{if } x \in A, \text{ then } y \in B, \quad (1)$$

де  $x$  – вхідна змінна,  $x \in X$ ,  $X$  – область визначення посилення нечіткого продукційного правила;  $A$  – нечітка множина, що визначена на  $X$  з функцією належності  $\mu_A(x) \in [0,1]$ ;

$y$  – вихідна змінна,  $y \in Y$ ,  $Y$  – область визначення виведення;  $B$  – нечітка множина, визначена на  $Y$ , з функцією належності  $\mu_B(y) \in [0,1]$ .

Операція нечіткої імплікації займає центральне (фокусне) місце в нечітких продукційних моделях, визначаючи причинно-наслідкове відношення між посиленнями та виведенням правил.

Етап 2. Задання нечіткого умови (факту):

$$x' \in A', \quad (2)$$

де  $x'$  – фактичне значення змінної  $x$ ;  $A'$  – нечітка множина, що відображає значення  $x'$ , визначене на  $X$ , з функцією приналежності  $\mu_{A'}(x) \in [0,1]$ .

Етап 3. Формування виведення:

$$y' \in B', \quad (3)$$

де  $y'$  – отримане значення змінної  $Y$ ;

$B'$  – нечітка множина, що відображає значення  $y'$ , визначене на  $Y$ , з функцією приналежності  $\mu_{B'}(y) \in [0,1]$ .

Зворотний спосіб нечіткого виведення, або зворотний нечіткий ланцюжок міркувань (fuzzy backward-chaining reasoning), ґрунтується на використанні правила виведення нечіткий модус толленс (fuzzy modus tollens).

Етап 1. Задання нечіткої імплікації

$$R: AB \quad (4)$$

є визначальним, як і в разі прямого способу виведення, нечітке причинно-наслідкове відношення між причиною і висновком, який представляється у вигляді нечіткої продукції.

Етап 2. Задання нечіткого умови

$$y' \in B'. \quad (5)$$

Етап 3. Формування виведення

$$x' \in A'. \quad (6)$$

Цілі способу зворотного нечіткого висновку є встановлення істинності передумови нечіткої продукції:

$$\mu R(x, y) = \min \{ \mu A(x), \mu B(y) \}. \quad (7)$$

Розглянувши характеристики схем нечіткого виводу для формування висновків

використовується прямий спосіб нечіткого виводу та зв'язка "AND" між функціями приналежності передумов правил.

2. Побудова бази нечітких продукційних правил.

Кожне правило БЗ записується у вигляді "IF ..., then ...": частина "IF" відповідає умові, а частина "then" - висновок. Таким чином, ОПР, розбиває об'єкт на продукційні групи. Подібне розбиття найбільш відповідає об'єкту та процесам, що в ньому протікають.

Так, кожному вхідному значенню представлено лінгвістичну змінну з характерними термами. Це означає, що можна сформулювати БЗ про вплив незалежних координат  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на значення залежної координати  $y$  в вигляді сукупності логічних висловлювань типу:

$$\begin{aligned} & \text{if } (x_1 = a_{1j1}) \text{ and } (x_2 = a_{2j1}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{nj1}) (F_1) \\ & \text{or } (x_1 = a_{1j2}) \text{ and } (x_2 = a_{2j2}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{nj2}) (F_2) \\ & \text{or } (x_1 = a_{1jk}) \text{ and } (x_2 = a_{2jk}) \text{ and } \dots \text{ and } (x_n = a_{nj k}) (F_3) \end{aligned}$$

then  $y = d_j, j \in [1, m]$

де  $F_i$  – вагові коефіцієнти відповідних правил.

Ці коефіцієнти можуть приймати значення з інтервалу  $[0, 1]$ . У разі, якщо ці вагові коефіцієнти відсутні, зручно прийняти, що їх значення дорівнює 1.

$a_{nj k}$  – терм, яким оцінюється змінна  $x_i$  в строчці з номером  $jk$ ;

$jk$  - кількість строк - кон'юнкцій, у котрих вихід оцінюється термом  $d_j$ ;

$m$  – кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки вихідного параметру  $y$ .

При виборі числа правил необхідно враховувати наступні рекомендації:

число правил збільшується при ущільненні сітки, використовуваної для розбиття простору  $X$  входів моделі;

Щільність використовуваної для розбиття сітки слід збільшувати в разі більш рельєфної поверхні відображення  $X$  у моделі;

При незмінній щільності сітки (незмінному числі правил) точність моделі може бути підвищена шляхом правильного розміщення опорних точок її поверхні, що задаються правилами. [4].

3. Процедура введення нечіткості (fuzzification).

Для побудови функції приналежності будемо використовувати трапецеподібну форму, рис. 2.

Де перший інтервал  $ad$  – описує допустимі значення і визначається шляхом обрання граничних значень показника, наприклад по даним стандартів, керівних документів або за допомогою експертів. За межами інтервалу допустимих значень, показник можемо вважати рівним нулю.

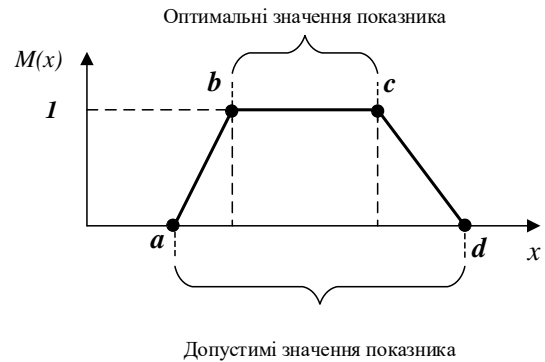


Рисунок 2. Інтервали показників трапецеподібної функції приналежності

Другий інтервал  $bc$  – інтервал оптимальних значень. В цьому інтервалі значення оцінки показника найвища. Другий інтервал обирається таким же способом як і перший, проте в цьому випадку значення, які в нього входять максимально описують область значення, є оптимальними або досягнуті за допомогою консенсусу при оцінці експертів. Аналітично можемо записати (8):

$$M(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x < a, x > d. \end{cases} \quad (8)$$

При побудові нечіткої ієрархічної продукційної моделі процедури фазифікації (fuzzification) та дефазифікації (defuzzification) для проміжних змінних не проводяться, оскільки результат логічного виводу в вигляді нечіткої множини напряму передається по ієрархії на наступний рівень нечіткого логічного виводу. Фазифікація вважається виконаною, якщо знайдено ступеня істинності  $\mu A(x)$  всіх елементарних логічних висловлювань виду  $\beta \in a'$ , що входять в антецеденти нечітких продукційних правил, де  $a'$  - деякий терм з відомою функцією приналежності  $\mu A(x)$ ,  $a$  - чітке чисельне значення, що належить універсуму лінгвістичної змінної  $\beta$ .

4. Процедура агрегування (agregation) ступеню істинності пре посилок по кожному з нечітких продукційних правил. Розглянуті етапи нечіткого виведення можуть бути реалізовані таким чином: для визначення результату нечіткої кон'юнкції або зв'язки "and"; для визначення результату нечіткої диз'юнкції або зв'язки "or". В нашому випадку використано драстичну суму (2)

$$\mu(A \cup B) = \begin{cases} \mu(B), & \text{if } \mu(A) = 0 \\ \mu(A), & \text{if } \mu(B) = 0 \\ 1, & \text{in other cases} \end{cases} \quad (9)$$

де  $\mu(A), \mu(B)$  – функції належності нечітких

висловлювань А та В відповідно. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінна від нуля, вважають активними й використовуємо для подальших розрахунків. Етап агрегування вважається закінченим, коли будуть знайдені всі значення для кожного з правил, що входять в базу правил системи нечіткого виведення.

5. Процедура активізації (activation) заключаєть кожного з нечітких продукційних правил.

В алгоритмі Сугено активізація під заключень правил нечіткої продукції проводиться в два етапи. На першому етапі, ступінь істинності з виведення нечітких продукційних правил, що ставлять у відповідність вихідної змінної дійсні числа, знаходяться, як алгебраїчний добуток вагового коефіцієнта і ступеня істинності антецедента даного нечіткого продукційного правила.

6. Процедура акумулювання (accumulation) активізованих заключень усіх нечітких продукційних правил для кожної вихідної змінної. Результат акумуляції для кожної вихідної лінгвістичної змінної визначається, як об'єднання нечітких множин всіх під заключень нечіткої бази правил щодо відповідної лінгвістичної змінної.

7. Процедура приведення до чіткості (defuzzification) для кожної акумульованої вихідної змінної.

Дефазифікація в алгоритмі Сугено виконана наступним чином. Для кожної лінгвістичної

змінної здійснюється перехід від дискретної множини чітких значень  $\{w_1...w_n\}$  до єдиного чіткого значення згідно дискретного аналогу методу центру тяжіння [5]:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (10)$$

де n – кількість правил нечіткої продукції, в заключеннях якої фігурує дана лінгвістична змінна. найкращим методом дефазифікації при побудові прикладних нечітких систем є метод центру тяжіння [6].

Для побудови ієрархічної нечіткої продукційної моделі необхідно виконати підбір та специфікацію вхідних та вихідних змінних, що відповідають відповідному способу (схеми) нечіткого виводу. У переважній більшості прикладних задач масмо справу з неточними вихідними даними прогнозування які характеризуються невизначеністю та неповнотою інформації [2, 7-9].

### Обговорення

У відповідності до вхідних факторів побудована модель, рис.3.

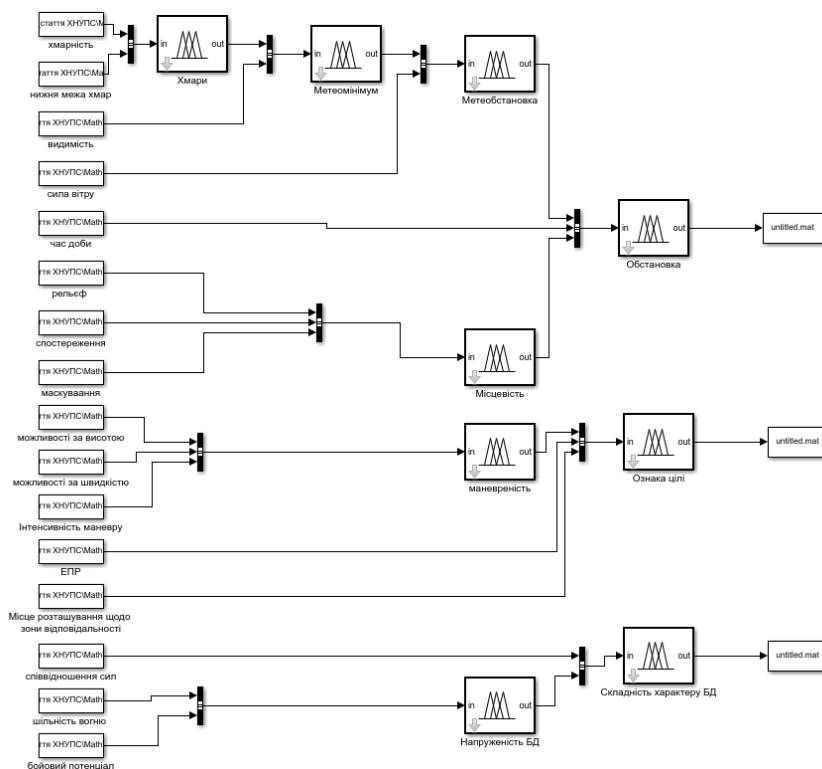


Рисунок 3. Структура ієрархічної нечіткої продукційної моделі (варіант)

Аналізуючи предметну область, фактори, структуру процесу прийняття рішень та

концептуальну модель, процесу оцінки обстановки при прийнятті рішення на розподіл активних

вогневих засобів ви-значено структуру ієрархічного нечіткого логічного виведення, щодо оцінки обстановки. Сформовано вхідні дані, що впливають на оцінку обстановки та вихідні змінні, які необхідні для подальшого процесу прийняття рішення. Специфікація наведена в табл.1.

**Таблиця 1**

Варіант елементів ієрархічної нечіткої  
продукційної моделі

Змінна	Фактори	Змінні	Фактори
x1	Хмарність	x10	Щільність вогню
x2	Нижня границя хмар	x11	Бойовий потенціал
x3	Видимість	x12	Можливості за висотою
x4	Сила вітру	x13	Можливості за швидкістю
x5	Час доби	x14	Інтенсивність маневру
x6	Рельєф	x15	ЕПР
x7	Спостереження	x16	Місце розташування відносно зони відповідальності
x8	Маскування	уп	Проміжні результати
x9	Співвідношення сил	fn	Нечітке логічне виведення

### Висновки

У результаті проведених досліджень було побудовано ієрархічну нечітку продукційну модель, яка дозволяє формалізувати процес оцінки повітряної обстановки в умовах невизначеності. Врахувати фактори нестохастичної природи, які виникають через нечіткість мети бойових дій та протидію з боку противника, реалізувати ієрархічний нечіткий логічний вивід при оцінці обстановки.

Запропонований підхід може використовуватись для розробки спеціального програмного забезпечення. Ефективність прийняття рішення за результатами оцінки обстановки можна характеризувати оперативністю та достовірністю.

В подальших дослідженнях пропонується провести дослідження в змінні алгоритму для уточнення розрахунків відносно зміни вхідних факторів та спільного використання різних алгоритмів логічного виведення для оцінки діапазонів значень які співпадають та навпаки відмінні.

### Список використаних джерел

1. Дмитрієв О. М. Методи підтримки прийняття рішень при ситуаційному аналізі повітряної обстановки: монографія / О. М. Дмитрієв, І. О. Борозенець, В. С. Мажа-ров, М. Г. Мельничук, М. А. Павленко, О. І. Тимочко, С. Г. Шило, Г. В. Щербак. Кропивницький: ПП "Ексклюзив-Систем", 2021. 271 с.
2. Полонський, Ю. І., Борозенець, І. О., Шило, С. Г., Литвиненко, М. І. (2016). Формалізований опис процесу відбору інформаційних ознак для формування моделі пові-тряної обстановки. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил, (2), 115-117.
3. Пегат А. Нечітке моделювання і управління/ Пегат А.; пер. с англ. А. Г. Подвесовского, Ю. В. Тюменцева. – М. : БІНОМ. Лабораторія знань, 2013. – 798 с.
4. Ротштейн А. П. Вплив методів дефазифікації на швидкість настройки нечіткої моделі / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Кібернетика і системний аналіз. – 2002. – №5. – С. 169 – 176.
5. Яхьяева Г. Є. Основи теорії нечітких множин / Г. Э. Яхьяева. – М.: ІНТУІТ, 2016. – 187 с.
6. Кононюк А. Е. Дискретно-неперервна математика. Кн.2. Множини. Ч.2. Нечіткі / Кононюк А. Е. – К.: "Освіта України", 2012. – 452 с.
7. Ткаченко В. І. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов та ін. // За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. - Х.: ХУПС, 2008. – 265-276 с.
8. Городнов В. П., Дробаха Г. А., Єрмошин М. О., Смірнов Є. Б., Ткаченко В.І. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне за-безпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку). Монографія. – Харків: ХВУ, 2004.
9. Осієвський С.В., Каліновський Д.О. Аналіз методів та моделей прийняття рішення з використанням категорій та способів врахування вхідної інформації. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. №2 (54). С. 74-77. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2> (дата звернення 12.12.2022).

## MODEL OF AIR SITUATION ASSESSMENT USING LOGICAL OUTPUT ON THE BASIS OF A DRASTIC SUM

**Dmitryi Kalinovskiy**

<https://orcid.org/0000-0003-3184-6458>

**Artem Samokish (Ph.D.)**

<https://orcid.org/0000-0003-1924-9351>

**Shapovalov Oleksandr** (candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-9744-9431>

*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

*The assessment of the air situation reflects the composition, condition and nature of actions of aircraft and infrastructure facilities in a given area. The results of the assessment of the situation in the area of responsibility depends on the automated control system and the operator who uses it to make a number of decisions: analysis of the air situation; determination of the type of situation that has developed and options for its development. Taking into account the need to make decisions based on the information model used, it is necessary to pay attention to a number of factors of a non-stochastic nature that arise due to the vagueness of the purpose of hostilities and the variety of options for the use of air attack means. In addition, different categories and methods of presenting the information used should be distinguished. Taking into account the above, a hierarchical fuzzy production model was formed using the Sugeno algorithm and a drastic sum at the aggregation stage. The proposed model makes it possible to formalize the process of assessing the air situation, which is characterized primarily by the incompleteness of information in conditions of uncertainty, taking into account the initial forecasting data, which are characterized by uncertainty and incomplete information.*

**Keywords:** model, production model, assessment of the situation, formalization, logical deduction.

### References

1. Dmitriev O. M. Decision support methods for situational analysis of the air situation: monograph / O. M. Dmitriev, I. O. Borozenets, V. S. Mazharov, M. G. Melnychuk, M. A. Pavlenko, O. I. Tymochko, S. G. Shilo, G. V. Shcherbak. Kropyvnytskyi: PP "Exclusive-System", 2021. 271 p.
2. Polonsky, Yu. I., Borozenets, I. O., Shilo, S. G., Lytvynenko, M. I. (2016). A formalized description of the process of selecting information features for the formation of an air environment model. Collection of scientific works of Kharkiv Air Force University, (2), 115-117.
3. Pegat A. Fuzzy modeling and management/ Pegat A.; trans. with English A. G. Podvesovskoro, Yu. V. Tyumentseva. – M.: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2013. – 798 p.
4. Rotshtein A.P., Influence of defuzzification methods on the speed of fuzzy model setup / A.P. Rotshtein, S.D. Shtovba // Cybernetics and system analysis. – 2002. – No. 5. – P. 169 – 176.
5. Yaheva G. E. Foundations of the theory of fuzzy sets / G. E. Yaheva. – M.: INTUIT, 2016. – 187 p
6. Kononyuk A. E. Discrete-continuous mathematics. Book 2. Plurals Part 2. Unclear / A. E. Kononyuk – K.: "Education of Ukraine", 2012. – 452 p.
7. Tkachenko V.I. The theory of decision-making by military administration bodies: a monograph / V.I. Tkachenko, E.B. Smirnov et al. // Edited by V.I. Tkachenko, E.B. Smirnova. – X.: HUPS, 2008. – 265-276 p
8. Gorodnov V.P., Drobakha G.A., Yermoshin M.O., Smirnov E.B., Tkachenko V.I. Modeling of combat actions of air defense troops (forces) and information support of their management processes (theory, practice, history of development). Monograph. – Kharkiv: KhVU, 2004.
9. Osievskiy S.V., Kalinovskiy D.O. Analysis of decision-making methods and models using categories and ways of taking into account input information. Information technology and computer engineering. 2022. No. 2 (54). P. 74-77. URL: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2> (accessed 12/12/2022).



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

**УДК 355.424.4**

**Глоба Олександр Володимирович**

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

**Левченко Михайло Антонович** (кандидат військових наук, доцент)

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

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

### **УТОЧНЕННЯ ПОНЯТІЙНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ І СПРОМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ПРИКРИТТЯ**

*При дослідженні системи зенітного ракетного прикриття необхідно однозначно тлумачити і розуміти взаємозв'язки і процеси, які відбуваються в системі. Тому, метою статті є уточнення понятійного апарату щодо ефективності і спроможностей системи зенітного ракетного прикриття. В статті враховані думки і погляди науковців різних галузей знань щодо систем взагалі і, зокрема, складних систем військового призначення. Проаналізовані та виділені найважливіші особливості, ознаки і характеристики, які їм притаманні. Проведено розмежування понятійного апарату щодо ефективності і спроможностей функціонування системи зенітного ракетного прикриття. За результатами узагальнення уточнюються поняття складної системи, складної системи військового призначення, системи зенітного ракетного прикриття, а також надається визначення обґрунтуванню спроможностей системи зенітного ракетного прикриття.*

**Ключові слова:** *складна система, система зенітного ракетного прикриття, спроможність системи, ефективність системи, обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття.*

#### **Вступ**

Досвід російсько-української війни свідчить про відхід від ведення бойових дій зенітними ракетними військами у складі з'єднань і військових частин під час виконання бойових завдань в операціях. Для виконання оперативних завдань з різних причин створюються тимчасові груп змішаного складу. При цьому, для таких груп залишаються неузгодженими питання їх спроможностей. З однієї сторони існує вимога щодо виконання бойового завдання, з іншого – створені групи повинні бути спроможними це здійснити. Процес визначення спроможностей ускладнюється тим, що система зенітного ракетного прикриття є складною системою. Це вимагає пошуку й використання додаткових прийомів і методів наукового пізнання при її дослідженні. Набуває актуальності необхідність уточнення існуючого понятійного апарату. Адже, обґрунтоване уточнення назв і понять розкриває

мету системи під час її функціонування і сприяє правильному формулюванню цілей системи на шляху досягнення мети.

Метою статті є необхідність розділити понятійний апарат, що стосується спроможностей системи зенітного ракетного прикриття і ефективності її функціонування, а також запропонувати напрям дослідження системи в розрізі її спроможностей.

#### **Матеріали та методи**

Військовим довідником [1] для подальшого використання визначено, що спроможність – це здатність органів військового управління, з'єднань, військових частин, військових навчальних закладів, установ та організацій Збройних Сил або сукупності сил і засобів сил оборони виконувати певні завдання (забезпечувати реалізацію визначених військових цілей) за певних умов, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених стандартів. Спроможність

поділяється на оперативну, бойову і спеціальну.

Дослідження складних систем військового призначення останніх років так і не привели до появи спільного розуміння цього поняття та однакового тлумачення науковим товариством. Існує думка [2], що це не є нагальною потребою науки. Але, незважаючи на це, дослідники намагаються й далі вивчати та формулювати поняття “складної системи”, зокрема, стосовно свого напрямку знань. Аналіз наукових публікацій [3-12] може бути основою обґрунтованому формуванню понятійного апарату, оскільки вказані джерела відображають результати дослідження цілого покоління науковців і шкіл зі вказаної проблематики. Проведений аналіз свідчить про наявність багато спільного та ряду відмінностей у властивостях і характеристиках, вимогах і параметрах, які притаманні складним системам.

Дослідження поняття “спроможність” за своїм тлумаченням [13, 14], стандартизованим визначенням [15] та спробами інтерпретації військовим науковим товариством [16, 17], дає нам набір понятійного інструменту для визначення спроможностей системи зенітного ракетного прикриття, як складної системи військового призначення. Ця потреба є нагальною, оскільки як в теорії [5, 11], так і в керівних документах, методичних рекомендаціях, що встановлюють основи бойової діяльності зенітних ракетних військ [18] вказане поняття відсутнє.

В роботі використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз і узагальнення.

### **Результати**

*Система зенітного ракетного прикриття, як складна система військового призначення.*

Дослідження складних систем набули великої значущості у природничих, соціальних науках, в економіці, а також у міждисциплінарних напрямках. Вважається, що складна система може існувати в усіх дисциплінах. Однак і до сьогодні не існує стислого й універсального визначення складної системи, не існує також визначення, з яким узгоджуються всі дисципліни. Загальна теорія систем Карла Людвіга фон Берталанфі за його замислом повинна була стати міждисциплінарною наукою, що досліджує матеріальні та абстрактні системи. Кібернетика за первинним замислом Норберта Вінера повинна була досліджувати складні технічні та біологічні системи. Такі погляди звужують уявлення про складні системи, оскільки вони зосереджують увагу на роботу або з великою кількістю простих систем, або з поодинокими надскладними системами, але без отримання узагальнених результатів їх діяльності.

Джеймс Лейдімен та Керолін Візнер [11] узагальнюють спроби вчених різних галузей охарактеризувати складну систему та розглядають

основний набір ознак, які широко пов'язані зі складними системами. Вони стверджують, що деякі особливості систем не є ні необхідними, ні достатніми для визначення складності, і що деякі з них занадто розмиті та заплутані, щоб мати будь-яку аналітичну користь. Для здійснення формалізації вказаної проблеми за різними варіантами наукових джерел пропонується перегляд стандартної міри складності. Такий підхід дає підстави стверджувати, що якісне поняття складності найкраще фіксується статистичною складністю. При цьому сама складність визначається такими чинниками, як величезною кількістю елементів і підсистем у її складі та непередбачуваність поведінки системи внаслідок випадковості окремих процесів, що відбуваються з нею.

У ході дослідження існуючого понятійного апарату вивчені погляди і тлумачення науковців з різних галузей знань. Узагальнені особливості, ознаки і характеристики, які притаманні складним системам. За окремими складовими проведено виокремлення теоретичних положень для подальшого аналізу та узагальнення. Це дає змогу сформулювати уточнені поняття “складної системи”, “складної системи військового призначення” для їх подальшого використання. Отже, складною системою будемо вважати сукупність елементів зі слабо передбачуваними властивостями, які знаходяться у зв'язку та взаємодіють, що призводить до збереження чи досягнення необхідних станів або організації. Елементами такої системи можуть бути системи мінімального рівня, підсистеми й інші складові.

Аналіз джерел [4-12] дає підстави для визначення загальних ознак складної системи: наявність зв'язків між елементами; велика кількість елементів у своєму складі; слабка передбачуваність або, взагалі, непередбачуваність поведінки та властивостей (у тому числі й під дією зовнішнього впливу).

Коли ми говоримо про складні системи військового призначення, то розуміємо, що такі системи є штучними, вони призначені для потреб війни, отже, їх функціонування зорієнтоване на виконання визначених завдань. Тому, в подальшому вважаємо, що складна система військового призначення – це сукупність ієрархічно пов'язаних елементів, які знаходяться у зв'язку та взаємодіють під негативним впливом зовнішніх факторів з метою виконання визначених завдань.

Окрім загальних ознак щодо складних систем військового призначення слід додати наступні:

- взаємодія елементів;
- ієрархічність, цілісність і ділімість;
- наявність єдиної цільової функції.

З урахуванням зазначеного, системою зенітного ракетного прикриття будемо вважати сукупність взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів і компонентів, які функціонують з метою відбиття ударів засобів повітряного нападу та прикриття визначених об'єктів (військ). Система зенітного ракетного прикриття відповідає всім ознакам складної системи військового призначення. У той же час, складним системам військового призначення залишаються притаманні й деякі властивості простих систем.

*Ефективність системи зенітного ракетного прикриття.*

Кожна система військового призначення призначена для виконання певних завдань. І чим краще ці завдання виконуються, тим більш ефективною вважається система. Звідси можна визначити поняття ефективності системи. Поняття ефективності в різних джерелах по-різному трактується. Сутність розбіжностей у трактуванні ефективності полягає, більш за все, у тому, що ще за радянських часів внаслідок перекладів іноземної

наукової літератури неоднозначно або неточно були переведені слова efficiency і effectiveness (“ефективність” і “результативність” відповідно). Це призвело до подальшого використання понять ефективності, як результативності і навпаки. Стосовно складних систем військового призначення еволюціонування понятійного апарату стосовно ефективності можна коротко відобразити у таблиці 1.

Окрім табличних значень військова наукова думка ще пропонує визначення ефективності як здатності системи виконати поставлені завдання. У ДСТУ ISO 2015 [15] є визначення такого поняття, як спроможність системи, яке дуже схоже із зазначеним вище формулюванням.

Таке переплетіння понятійного апарату може призвести до плутанини в ході досліджень складних систем військового призначення і процесу їх функціонування. Тому, проведенню дослідження повинні передувати уточнений перелік термінів і їх значень у дослідженні.

**Таблиця 1**

Визначення і показники оцінювання ефективності

Визначення	Показники
<i>Противітряний бій – [19]</i>	
Ефективність стрільби – міра відповідності результату, який досягається до поставленого завдання. Ефективність зенітної оборони об'єкта прикриття – <i>про неї говориться, проте визначення відсутнє.</i>	1. МОЧ кількості ЗПН противника.  1. Відвернений збиток об'єкту прикриття. 2. Відносна величина МОЧ кількості знищених ЗПН противника до РВЗ.
<i>Елементи дослідження складних систем військового призначення – [4]</i>	
Ефективність системи – це її результативність. Ефективність бойового застосування – це ступінь реалізації бойових можливостей.	1. МОЧ кількості цілей, що знищуються системою ЗРАП. 2. МОЧ кількості зенітних комплексів, що знищуються повітряним противником. 3. Кількість цільових каналів системи ЗРАП. 4. Коефіцієнт перекриття узагальнених зон ураження з'єднань, частин, підрозділів. 5. Продуктивність системи ЗРАП. 6. Винос узагальненої зони ураження за висотами, типами цілей.
<i>Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності – [5]</i>	
Ефективність системи прикриття характеризує ступінь її відповідності завданням, що вирішуються у ході ведення бойових дій, та визначається можливостями систем вогню, розвідки й управління, що реалізуються в конкретних умовах обстановки.	1. МОЧ кількості знищених цілей в конкретних умовах обстановки. 2. Співвідношення сил сторін за напрямками й рубежами. 3. Збиток, якого запобігли об'єкти, що прикриваються.
<i>ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів – [15]</i>	
Ефективність – це співвідношення між досягнутим результатом і використаними ресурсами.	1. Відношення результату до витраченого ресурсу.

*Спроможність системи зенітного ракетного прикриття.*

Тлумачення спроможності в академічних словниках [13, 14] визначає цей термін як здатність до здійснення чого-небудь, наявність сприятливих умов або можливостей. За стандартом з управління якістю [15] спроможність є здатністю об'єкта отримувати результат, який відповідатиме вимогам до цього результату. Автори проведеного аналізу [16,17] вважають, що слід чітко розрізняти поняття "спроможності", "можливості" та "здатності", але застосовувати їх треба у єдиному контексті питань, які досліджуються. Тому, будемо використовувати ці терміни у наступних значеннях:

спроможність – еталон, стандарт або вимога до здатності досягнення необхідного результату (виконувати визначені завдання за певних умов обстановки, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених стандартів, вимог), або головні, основні, додаткові встановлені вимоги/властивості; можливість – фактичне (наявне від потреби(вимоги)) досягнення необхідного результату, (відповідність головному, основним, додатковим визначенням спроможності);

здатність – критерій або оцінка (кінцевий стан) досягнення необхідного результату (рівень досягнення головного, основних, додаткових вимог/властивостей заданої спроможності для визначення необхідних заходів).

При цьому розуміється, що результатом порівняння спроможності і можливості будь-чого є його здатність. Це означає, що при оцінюванні об'єкту чи процесу на предмет його спроможності, слід оцінити його можливості, порівняти зі спроможностями, що вимагаються та отримати показник у значенні здатності задовольнити вимогам.

Систему зенітного ракетного прикриття можна розглядати як об'єкт дослідження, її функціонування – як процес (тобто, теж об'єкт), що досліджується. З урахування викладених положень, під спроможністю системи зенітного ракетного прикриття розуміємо вимогу до її здатності. Така вимога може мати вигляд певного стандарту, вона визначає стан, в якому система повинна перебувати. Зрозуміло, що цей стан і є еталонним. І оскільки стан системи визначається сукупністю її властивостей і характеристик, то спроможний стан системи у розрізі визначених тлумачень визначає вимоги, які пред'являються до визначених властивостей і характеристик. У загальному розумінні, для того, щоб система зенітного ракетного прикриття була спроможною виконати бойове завдання, вона повинна відповідати завданню, бути стійкою та всебічно забезпеченою для цього.

### **Обговорення**

Дослідження системи зенітного ракетного прикриття в розрізі її спроможностей передбачає застосування таких загальнонаукових методів, як

аналіз і синтез. В ході аналізу системи під час її декомпозиції окрім фізичного, функціонального, інформаційного, потенціального, часового та економічного [4] зрізів дозволяється також здійснювати морфологічний і процесуальний зрізи. Системи ділять як за функціональними ознаками, принципами підпорядкованості, так і за елементами та компонентами [5,11]. Такий перелік варіантів повинен передбачатися напрямом дослідження, що здійснюється.

З огляду на те, що спроможність є характеристикою якості системи, стає нагальним здійснення якісного зрізу (опису) системи зенітного ракетного прикриття. Такий зріз передбачає якісний аналіз системи зенітного ракетного прикриття, визначення її станів, властивостей, що притаманні системі з урахуванням цільового призначення (спрямованості). Під час аналізу складної системи слід визначити не тільки наявні властивості та характеристики, які лежать на поверхні, а й ті, що за логікою функціонування притаманні цій системі, від яких залежить результат виконання завдання та ступінь досягнення мети. Формалізація властивостей і характеристик, які ми отримуємо внаслідок такого "якісного зрізу" дає змогу здійснити математичний опис всіх процесів, що відбуваються та обґрунтувати побудову математичної моделі системи.

Під час синтезу перспективної системи зенітного ракетного прикриття отриманий раніше якісний зріз стає еталоном – вимогою до якості системи, до її властивостей і характеристик. Виконання або дотримання необхідних вимог забезпечують утримання системи зенітного ракетного прикриття у такому стані, який сприяє виконанню визначених завдань. Недотримання вимог, втрата властивостей або погіршення характеристик призводить до зміни стану системи (недосягненню спроможностей), і, як наслідок, невиконанню нею завдань.

Слід зазначити, що запропонований якісний зріз системи слід робити саме за властивостями і характеристиками, а не за її ознаками. Це пояснюється тим, що ознака може бути проявом властивостей, і тоді цей прояв сприймається як знак, що несе інформацію про об'єкт. Проте ознака, як носій деякої інформації про об'єкт для суб'єкта, може бути фальсифікацією, лише імітувати певні властивості [20].

В продовження міркувань щодо декомпозиції системи зенітного ракетного прикриття за якісним зрізом зазначимо, що спроможний стан за критерієм відповідності визначається придатністю компонентів і елементів до виконання завдань, доцільністю застосування саме таких складових, а не інших, а також вчасністю виконання всіх заходів для досягнення мети. За критерієм стійкості спроможність системи визначається захищеністю,

живучістю та маневреністю її компонентів і елементів. Критерій забезпеченості можна характеризувати наявною достатністю засобів, необхідною потребою, можливістю здійснити поповнення складовими системи зенітного ракетного прикриття. Такий розподіл значно полегшує процес пошуку і визначення некорельованих між собою властивостей і характеристик системи зенітного ракетного прикриття.

Дослідження потенційних можливостей, спроможностей складних систем, а також дослідження функціонування таких систем в ході операцій передбачають наявність процесів визначення та аналізу факторів, які впливають на об'єкт [21, 22]. Так, потенційні спроможності системи зенітного ракетного прикриття до початку її застосування у загальному вигляді можна формалізувати як

$$K_{\text{спр}} = K_{\text{в}} K_{\text{ст}} K_{\text{з}}, \quad (1)$$

а під час застосування ми повинні враховувати зміни, які відбуваються протягом часу, тобто

$$K_{\text{спр}}(t) = f(K_{\text{в}}(t) K_{\text{ст}}(t) K_{\text{з}}(t)), \quad (2)$$

де  $K_{\text{спр}}$ ,  $K_{\text{спр}}(t) \in [0; 1]$  – узагальнений показник спроможності, який відповідає заявленим вимогам щодо відповідності –  $K_{\text{в}}$ ,  $K_{\text{ст}}(t)$ , стійкості –  $K_{\text{ст}}$ ,  $K_{\text{ст}}(t)$  та забезпеченості –  $K_{\text{з}}$ ,  $K_{\text{з}}(t)$ . Мультиплікативний зв'язок залежностей (1) і (2) на початку проведення досліджень можна вважати припустимим. Він пояснюється проведенням якісного зрізу системи, який передбачає неповторюваність властивостей і характеристик, а також максимальну їх некорельованість між собою. Такий поділ об'єкта на пошук і виділення факторів, які можуть вплинути на функціонування системи зенітного ракетного прикриття, що, у свою чергу, створює сприятливі умови для застосування факторного аналізу в ході дослідження.

Проблемними питаннями під час дослідження спроможностей системи зенітного ракетного прикриття стають невідповідності визначення та вимірювання складових означеної трійки понятійного апарату, а саме, спроможність-можливість-здатність. Крім того, слід розуміти, що визначення та обґрунтування спроможностей, з одного боку, повинно забезпечити виконання головного завдання системи, а з іншого – враховувати її можливості. Результатом такого протистояння може стати отримання раціонального варіанту побудови системи зенітного ракетного прикриття з можливістю гнучкого реагування на зміни до її спроможностей.

З урахуванням проведеного аналізу наукових джерел щодо дослідження складних систем і вимог практики застосування військ пропонується наступний уточнений понятійний апарат:

*складна система* – це сукупність елементів зі слабо передбачуваними властивостями, які знаходяться у зв'язку та взаємодіють, що призводить до збереження чи досягнення необхідних станів або організації;

*якісний зріз системи* – якісний аналіз функціонування системи зенітного ракетного прикриття, визначення її станів, властивостей, що притаманні системі з урахуванням її цільового призначення;

*складна система військового призначення* – сукупність ієрархічно пов'язаних елементів, які знаходяться у зв'язку та взаємодіють під негативним впливом зовнішніх факторів з метою виконання визначених завдань;

*система зенітного ракетного прикриття* – сукупність взаємодіючих і взаємопов'язаних елементів і компонентів, які функціонують з метою відбиття ударів засобів повітряного нападу та прикриття визначених об'єктів (військ);

*ефективність* – це співвідношення між досягненим результатом і використаними ресурсами;

*спроможність* – це здатність отримувати результати, які відповідатимуть вимогам (очікуванням) до цього результату;

*спроможність системи зенітного ракетного прикриття* – це здатність системи отримувати результати, які відповідатимуть вимогам щодо знищення засобів повітряного нападу та прикриття визначених об'єктів (військ), це вимога до її здатності;

*обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття* – це комплекс заходів з аргументації кількісного і якісного складу системи, порядку розміщення і застосування її елементів.

## **Висновки**

У статті відображено результати аналізу сучасного стану досліджень в напрямі складних систем, у тому числі, системи зенітного ракетного прикриття. За проведеним узагальненням вимог, ознак і властивостей були виокремлені ті, що, на думку авторів, є необхідними та достатніми.

Якісний зріз системи пропонується як процедура, що є необхідною під час декомпозиції системи зенітного ракетного прикриття, як складної системи військового призначення. Такий зріз ідентифікує притаманні системі властивості та характеристики, дає змогу сформулювати повний перелік факторів впливу на неї, стає основою формування спроможностей, які слід враховувати під час синтезу перспективної системи зенітного ракетного прикриття.

В подальшому перспективним напрямом дослідження є пошук способів формалізації властивостей і характеристик, які можна отримати в результаті якісного зрізу, приведення їх до сумісності із загальноприйнятим математичним

апаратом опису бойових можливостей, а також визначення повного переліку факторів впливу на систему. Це дасть змогу привести запропоновані поняття у єдиний вимірний простір, сприятиме створенню обґрунтованих математичних моделей, які стануть інструментом для подальших досліджень.

### **Список використаних джерел**

1. Словник військових термінів та скорочень (аббревіатур). ВКП 1-00(01).01., затверджений Начальником Генерального штабу Збройних Сил України від 13.10.2020.
2. Л. А. Растрин, Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981.
3. Ю.Л. Барабаш, Основи теорії оцінювання ефективності складних систем: навчальний посібник. (Методологія військово-наукових досліджень). Київ, Україна, НАОУ, 1999.
4. О.М. Загорка, С.П. Мосов, А.І. Сбітнев, П.І. Стужук, Елементи дослідження складних систем військового призначення: навчальний посібник (для докторантів, ад'юнктів, здобувачів). Київ, Україна: НАОУ, 2005.
5. А.Я. Торопчин, І.О. Кириченко, М.О. Єрмошин, Г.А. Дробаха, М.П. Долина, Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності (теорія, практика, тенденції розвитку): монографія. Харків, Україна, ХУ ПС, 2006.
6. С.В. Лапицький, І.Б. Чепков та ін. Основи військово-технічних досліджень. Теорія та приклади: монографія в 4 томах. Т. 4. Методологія дослідження складних систем військового призначення. Київ, Україна, Видавничий дім Дмитра Бураго, 2013.
7. J. Ladyman, J. Lambert, and K. Wiesner, What is a complex system?, *European Journal for Philosophy of Science* 3, 33 (2013).
8. K. Wiesner, J. Ladyman, Measuring complexity, Preprint · September 2019.
9. J. Ladyman and K. Wiesner, What is a complex system? (Yale University Press, 2020).
10. Ю.Г. Даник, С. А. Микусь, В. Г. Солонніков, Т. П. Пашенко та ін. Застосування сучасних інформаційних технологій у науковій діяльності: Підручник. Київ, Україна, НУОУ ім. І. Черняхівського, 2019.
11. М.О. Єрмошин, С.П. Ярош, Є.І. Ряполов та ін. Збройна боротьба у повітрі та космосі: підручник. Харків, Україна, ХНУПС, 2019.
12. Ю.И. Стекольников, Живучесть систем, Спб Политехника, 2002. – 155 с.
13. Словник української мови: в 11 томах. Академія наук УРСР. Інститут мовознавства; за редакцією І. К. Білодіда. Київ, Наукова думка, 1970–1980.
14. Словник української мови у 20 томах. Київ, Наукова думка, 2010.
15. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary (Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів), ДСТУ ISO 9000:2015, ДП “УкрНДНЦ”, Київ, Україна, 2016.
16. О.О. Сурков, “Підхід до визначення сутності понять “спроможність”, “можливість”, “здатність” сил оборони для вдосконалення основ стратегічного планування”, Збірник наукових праць ЦВСД НУОУ, № 1 (59), с. 35-40, 2017.
17. І. Ю. Марко “Аналіз понять “спроможність”, “можливість” і “здатність” та пропозиції щодо їх застосування у документах сектору безпеки і оборони України”. *Social development & Security*. № 3 (5), с. 76-86, 2018.
18. ВП 7(5)-00(09)12.01. Методичні рекомендації з організації планування бойових дій військових частин (підрозділів) зенітних ракетних військ Повітряних сил Збройних Сил України за стандартами НАТО (штаб бригади (полку), дивізіону), затверджені Командувачем Повітряних Сил Збройних Сил України від 04.2022.
19. Ф. К. Неупокоев, Противовоздушный бой. М., Воениздат, 1989.
20. Філософський енциклопедичний словник. Національна академія наук України, Інститут філософії імені Г. С. Сковороди [редколегія: В. І. Шинкарук (голова) та ін.]. Київ, Абрис, 2002.
21. В.П. Сорокин, Моделирование систем вооружения и боевых действий войск противовоздушной обороны Сухопутных войск: Учебное пособие. Киев, Украина, издательство ВА ПВО СВ, 1991.
22. Б.С. Флейшман, Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М., Издательство “Советское радио”, 1971.

## SPECIFICATION OF THE CONCEPTUAL APPARATUS FOR CONDUCTING OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COVER SYSTEMS EFFICIENCY AND CAPABILITIES RESEARCHES

Oleksandr Hloba

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

Mykhailo Levchenko (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

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

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*It is necessary to clearly interpret and understand the relationships and processes that take place in the system when studying the anti-aircraft missile cover system. Therefore, the purpose of the article is to clarify the conceptual apparatus regarding the effectiveness and capabilities of the anti-aircraft missile cover system. The article takes into account the scientists opinions and views from various fields of knowledge regarding systems in general and, in particular, complex systems of military purpose. The most important features, signs and characteristics which relevant for systems are analyzed and highlighted. Demarcation of the conceptual apparatus regarding the anti-aircraft missile cover system effectiveness and capabilities was carried out. Based on the generalizations the concepts of a complex system, a complex military system, and an anti-aircraft missile cover system results are clarified. Also provides a definition for the reasoning of the anti-aircraft missile cover system capabilities.*

**Keywords:** complex system, anti-aircraft missile cover system, system capability, system efficiency, reasoning of anti-aircraft missile cover system capabilities.

### References

1. Slovnik viyskovih terminiv ta skorochen (abreviatur). VKP 1-00(01).01. : zatverdzeniy Nachalnikom Generalnogo shtabu Zbroynih Sil Ukrayini vid 13.10.2020.
2. Rastrigin L. A. Adaptatsiya slozhnyih sistem. – Riga : Zinatne, 1981. – 375 s.
3. Barabash Yu.L. Osnovi teorii otsinyuvannya effektivnosti skladnih sistem: navch. posibn. [dlya ad'yunktiv ta zdobuvachiv naukovogo stupenya] / Yu.L. Barabash. – K.: NAOU, 1999. – 39 s. – (Metodologiya viyskovo-naukovih doslidzhen).
4. Elementi doslidzhennya skladnih sistem viyskovogo pryznachennya: navch. posibn. [dlya doktorantiv, ad'yunktiv, zdobuvachiv] / [O.M. Zagorka, S.P. Mosov, A.I. Sbitnev, P.I. Stuzhuk]. – K.: NAOU, 2005 – 100 s. (Biblioteka NUOU).
5. Sintez adaptivnih struktur sistemi zenitnogo raketno-artileriyiskogo prikryt'ya ob'ektiv i viysk ta otsinka yiyi effektivnosti (teoriya, praktika, tendentsiyi rozvitku): monografiya / [Toropchin A.Ya., Kirichenko I.O., Ermoshin M.O., Drobaha G.A., Dolina M.P.] – H.: HUPS, 2006.
6. Osnovi voenno-tehnichnih doslidzhen. Teoriya ta prikladi : monografiya (rosiyskoyu movoyu) : v 4 t. T.4. Metodologiya doslidzhennya skladnih sistem viyskovogo pryznachennya. / [S.V. Lapitskiy, I.B. Chepkov ta in.] ; pid red. S.V. Lapitskogo. – K.: Vidavnichiy dim Dmitra Burago, 2013. – 480 s.
7. J. Ladyman, J. Lambert, and K. Wiesner, What is a complex system?, European Journal for Philosophy of Science 3, 33 (2013).
8. K. Wiesner, J. Ladyman, Measuring complexity, Preprint · September 2019.
9. J. Ladyman and K. Wiesner, What is a complex system? (Yale University Press, 2020).
10. Zastosuvannya suchasnih informatsiynih tehnologiy u naukoviy diyalnosti: Pidruchnik / [Yu.G. Danik, S. A. Mikus, V. G. Solonnikov, T. P. Paschenko ta in.]. – K.: NUOU Im. I. Chernyahovskogo, 2019.
11. Zbroyna borotba u povitri ta kosmosi : pidruchnik / M.O.Ermoshin, S.P.Yarosh, E.I.Ryapolov ta in.; za zag. Red. M.O.Ermoshina. – H. : HNUPS, 2019. – 492 s. : il.
12. Stekolnikov Yu.I. Zhivuchest sistem / Yu.I. Stekolnikov. – Spb.: Politehnika, 2002. – 155 s.
13. Slovnik ukrayinskoyi movi: v 11 tt. / AN URSS. Institut movoznavstva; za red. I. K. Bilodida. — K.: Naukova dumka, 1970—1980.
14. Slovnik ukrayinskoyi movi u 20 tomah. – Naukova dumka – 2010.
15. DSTU ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary (Sistemi upravlinnya yakistyu. Osnovni polozhennya ta slovnik terminiv).
16. Surkov O.O. Pidhid do viznachennya sutnosti ponyat “spromozhnist”, “mozhlivist”, “zdatnist” sil oboroni dlya vdoskonalennya osnov strategichnogo planuvannya // 9. O.O.Surkov // Zb. nauk. prats TsVSD NUOU. 2017. # 1(59). S. 35-40.
17. Marko I. Yu. Analiz ponyat “spromozhnist”, “mozhlivist” i “zdatnist” ta propozitsiyi schodo yih zastosuvannya u dokumentah sektoru bezpeki i oboroni Ukrayini. Social development & Security. 2018. # 3 (5). S. 76 – 86.
18. VP 7(5)-00(09)12.01. Metodichni rekomendatsiyi z organzatsiyi planuvannya boyovih diy viyskovih chastin (pidrozdiliv) zenitnih raketnih viysk Povitryanih sil Zbroynih Sil Ukrayini za standartami NATO (shtab brigadi (polku), divizionu), zatverdzeni Komanduvachem Povitryanih Sil Zbroynih Sil Ukrayini vid 04.2022.
19. Protivovozdushnyiy boy / F. K. Neupokoev. - M. : Voenizdat, 1989. - 261,[1] s. : il.; 22 sm.
20. Filosofskiy entsiklopedichniy slovnik / NAN Ukrayini, In-t filozofiyi imeni G. S. Skovorodi; [redkol.: V. I. Shinkaruk (golova) ta In.]. – Kyiv: Abris, 2002. – VI, 742 s.
21. Sorokin V.P. Modelirovanie sistem vooruzheniya i boevyih deystviy voysk protivovozdushnoy oborony Suhoputnyih voysk : Uchebnoe posobie. Kiev : izd. VA PVO SV. 1991.
22. Fleyshman B.S. Elementy teorii potentsialnoy effektivnosti slozhnyih sistem. M., izd-vo “Sovetskoe radio”, 1971, 224 str. t. 6600 ekz.

**УДК 355.58**

**Пуховий Олександр Володимирович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-2863-3374>

**Попов Сергій Едуардович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-7410-1267>

**Дворніченко Ігор Олександрович**

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## **МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ**

*В статті проведений аналіз науково-методичного апарату, що використовується для оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки та обраний узагальнений показник ефективності радіолокаційної розвідки. Наведені основні положення методики оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки. Методика може бути використана для оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки під час планування бойового застосування угруповання радіотехнічних військ з метою вибору раціонального варіанту для безпосереднього планування радіолокаційної розвідки повітряного противника.*

*Ключові слова:* радіолокаційна розвідка, ефективність, методика, радіотехнічні війська.

### **Вступ**

Аналіз локальних війн та збройних конфліктів, у тому числі російсько-української війни, свідчить про те, що досягнення мети бойових дій суттєво залежить від результатів прикриття військ та об'єктів від ударів з повітря. Актуальною є потреба у високій точності прогнозування результатів протиборства у повітряній сфері. Це дозволяє обрати оптимальний варіант дій сил та засобів протиповітряної оборони (ППО), у тому числі частин та підрозділів радіотехнічних військ (РТВ), які залучаються до ведення радіолокаційної розвідки. Під час вироблення замислу бойового застосування розробляється декілька варіантів бойового застосування, які відрізняються порядком застосування сил та засобів РТВ під час ведення радіолокаційної розвідки. Для порівняння та вибору оптимального варіанту бойового застосування проводиться оцінювання ефективності варіантів бойового застосування. Результати оцінювання ефективності на етапі вироблення замислу дозволяють забезпечити вироблення обґрунтованих рекомендацій щодо ведення радіолокаційної розвідки підрозділами РТВ. Тому пошук шляхів щодо розвитку науково-методичного апарату оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки визначає актуальність даної статті.

Аналіз публікацій [1-9], де авторами розглядається питання оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки свідчить, що для оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки найбільш широко застосовуються аналітичні та графоаналітичні методи, а також методи імітаційного моделювання.

Аналітичний метод дозволяє оцінити ймовірність своєчасного виявлення цілей як функцію ймовірностей виявлення на заданій дальності та безперервного їх супроводження в

радіолокаційному полі (РЛП) угруповання РТВ. Він базується на встановленні формульних, аналітичних залежностей між параметрами. Аналітичний метод досить простий в реалізації, але в ході реалізації допускається ряд припущень та обмежень, які чинять суттєвий вплив на достовірність результатів, які отримуються.

У основу графоаналітичного методу покладений принцип побудови сукупності перерізів РЛП на різних висотах відносно рельєфу місцевості та аналізу отриманих перерізів для визначення параметрів поля. Кількість виявлених цілей визначається шляхом послідовної оцінки можливостей виявлення кожної цілі в наявності з урахуванням параметрів польоту цілей. Метод базується на використанні номограм, графіків. Найбільш істотними недоліками графоаналітичного методу є неможливість урахування випадкового характеру процесу виявлення цілей та недостатня достовірність результатів, що отримуються через малу кількість факторів, що враховуються.

Метод імітаційного моделювання базується на використанні імітаційних моделей та передбачає імітацію на ПЕОМ радіолокаційної розвідки. Переваги методу полягають у найбільш точному врахуванні впливу зовнішніх та внутрішніх факторів досліджуваної системи, отримання результатів високої достовірності. Але складність та об'єм розробки моделей суттєво підвищується.

Взагалі сформувався декілька напрямків, які відрізняються між собою підходами до оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки.

Для кількісної оцінки ефективності радіолокаційної розвідки авторами пропонується використовувати такі показники ефективності: ймовірність своєчасного виявлення повітряних цілей та видачі радіолокаційної інформації по ним споживачам; межі суцільного радіолокаційного



поля (нижня, верхня); рубежі виявлення та видачі радіолокаційної інформації споживачам по повітряним цілям на різних висотах; площа суцільного РЛП на визначеній висоті; коефіцієнт перекриття РЛП [3]; у [2] застосовуються такі показники як ймовірність виявлення повітряних цілей; математичне сподівання кількості цілей, що виявлені з ймовірністю не нижче заданої; математичне сподівання кількості цілей щодо яких своєчасно видане оповіщення; математичне сподівання кількості цілей щодо яких своєчасно видана бойова інформація. У [1] викладено підхід, за яким оцінювання ефективності системи радіолокаційної розвідки пропонується здійснювати за показниками якості трасової інформації про цілі (просторові, часові, точності, показники достовірності та завантаженості системи). У своїй сукупності вони представляють інтегральну характеристику якості трасової інформації.

Крім того потребує розгляду можливість приведення часткових показників до одного узагальненого шляхом побудови вагової функції від часткових показників. Але використання такого показника потребує вирішення складної задачі вибору ваги показників. Також виникає проблема зіставлення двох або більше різномірних показників ефективності. Один з шляхів приведення різномірних показників ефективності до одного узагальненого з використанням методу таксономії наведений в [8].

В цілому існуючі методики оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки можуть бути взяті за основу для подальшого удосконалення.

Метою статті є удосконалення методики оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки.

### **Матеріали та методи**

Військовим довідником [1] для подальшого використання визначено, що спроможність – це здатність органів В статті застосовується теорія ймовірностей при визначенні часткових показників ефективності; метод двох функцій для розподілу радіотехнічних підрозділів по завданням під час формування варіанту радіолокаційної розвідки; метод імітаційного моделювання для моделювання радіолокаційної розвідки.

### **Результати**

Під ефективністю радіолокаційної розвідки в статті розуміється ступінь відповідності результатів радіолокаційної розвідки завданням, що покладаються на РТВ з ведення радіолокаційної розвідки.

Оцінка ефективності можлива, якщо визначений показник ефективності. Вихідним моментом формування методики оцінювання ефективності є вибір показників та критерію ефективності. Основний принцип вибору показника ефективності – його суворі відповідність

меті, яка повинна бути досягнута у результаті виконання завдання.

Так як мета радіолокаційної розвідки – своєчасне виявлення повітряних цілей, безперервне їх супроводження та видача радіолокаційної інформації (РЛП) необхідної якості, то показник ефективності повинен бути мірою досягнення цієї мети.

У статті за показник ефективності, який характеризує ступінь відповідності результатів радіолокаційної розвідки завданням, що покладаються, обраний відомий показник – математичне сподівання доли кількості цілей, що приймають участь в ударі, інформація по яким видана споживачам з необхідною якістю:

$$E = \frac{M_{\text{вуд}}}{N_{\text{ц}}}, \quad (1)$$

де  $M_{\text{вуд}}$  - математичне сподівання кількості цілей, інформація по яким видана споживачам з необхідною якістю;

$N_{\text{ц}}$  - прогнозована кількість цілей в ударі.

$$M_{\text{вуд}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{ц}}} P_{\text{в}} P_{\text{супр}} P_{\text{з.т.ц}}, \quad (2)$$

де  $P_{\text{в}}$  – ймовірність виявлення  $i$ -ої цілі до потрібного рубежу видачі інформації;

$P_{\text{супр}}$  – ймовірність стійкого супроводження  $i$ -ої цілі в РЛП;

$P_{\text{з.т.ц}}$  – ймовірність видачі інформації заданої точності по  $i$ -й цілі.

$$P_{\text{в}} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_{\text{в}j}), \quad (3)$$

де  $P_{\text{в}j}$  – ймовірність виявлення  $i$ -ої цілі  $j$ -ою РЛС;

$m$  – кількість РЛС.

$$P_{\text{в}j} = \exp\left\{-0,69\left(\frac{D_j}{D_{j(0,5)}}\right)^4\right\}, \quad (4)$$

де  $D_j$  – дальність до  $i$ -ої цілі;

$D_{j(0,5)}$  – дальність виявлення  $i$ -ої цілі  $j$ -ою РЛС з ймовірністю 0,5.

$$P_{\text{супр}} = \frac{\sum_{n=1}^K l_{n_i}}{S_i}, \quad (5)$$

де  $l_{n_i}$  – протяжність  $n$ -ої ділянки супроводження  $i$ -ої цілі в радіолокаційному полі;

$S_i$  – протяжність маршруту  $i$ -ої цілі в радіолокаційному полі;

$K$  – кількість ділянок безпровального супроводження  $i$ -ої цілі.

Ймовірність видачі інформації заданої точності по  $i$ -й цілі для частин зенітних ракетних військ (ЗРВ) визначається за формулою:

$$P_{з.м.,(ЗРВ)} = \Phi\left(\frac{0,5R_D}{\sigma_D}\right)\Phi\left(\frac{0,5R_\beta}{\sigma_\beta}\right)\Phi\left(\frac{0,5R_\epsilon}{\sigma_\epsilon}\right), \quad (6)$$

де  $\Phi(x)$  – інтеграл ймовірності;

$R_D, R_\beta, R_\epsilon$  – розміри простору по дальності, азимуту та куту місця відповідно, що переглядаються на екрані індикатору станції наведення ракет;

$\sigma_D, \sigma_\beta, \sigma_\epsilon$  – середні квадратичні похибки

інформації по дальності, азимуту та куту місця відповідно.

Ймовірність видачі інформації заданої точності по  $i$ -й цілі для частин винищувальної авіації (ВА) визначається за формулою:

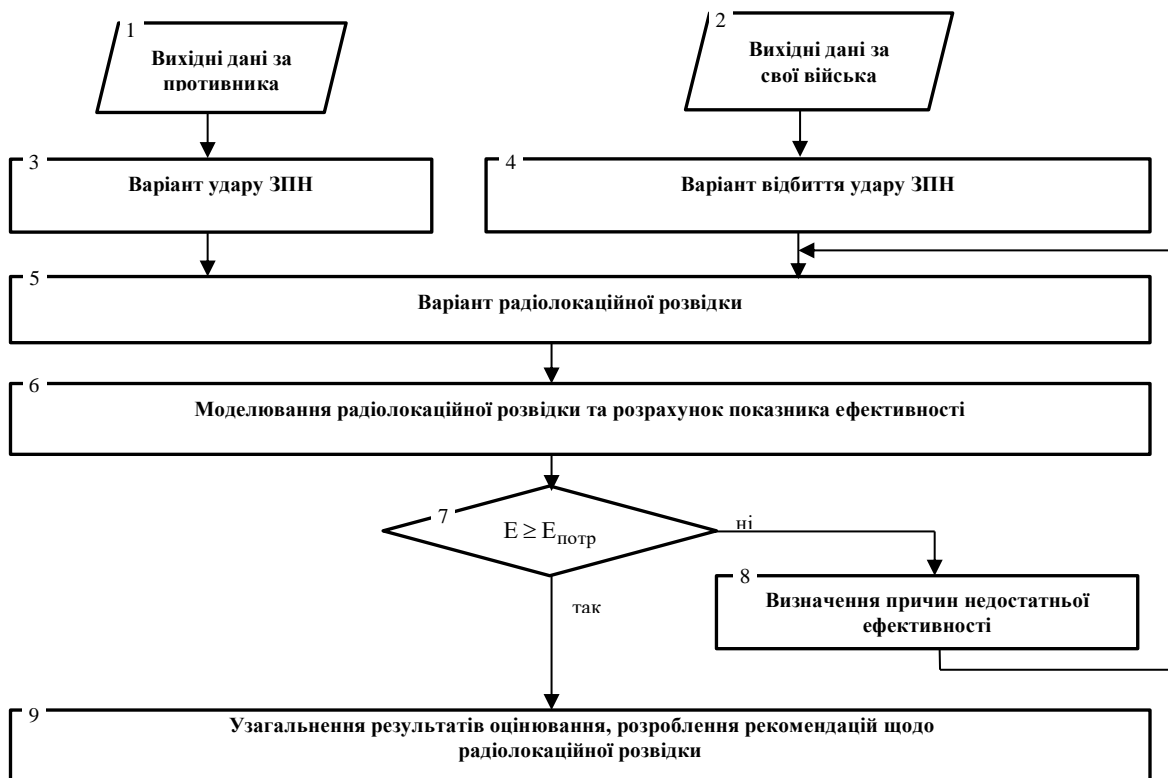
$$P_{з.м.,(ВА)} = \Phi\left(\frac{0,5R_D}{\sigma_D}\right)\Phi\left(\frac{0,5R_Q}{\sigma_Q}\right)\Phi\left(\frac{0,5R_H}{\sigma_H}\right), \quad (7)$$

де  $R_D, R_Q, R_H$  – розміри простору по дальності, курсу та висоті відповідно, що переглядаються на екрані бортової РЛС винищувача;

$\sigma_D, \sigma_Q, \sigma_H$  – середні квадратичні похибки інформації по дальності, курсу та висоті відповідно.

Обраний показник ефективності охоплює результати основних процесів радіолокаційної розвідки та видачі РЛІ та характеризує результат радіолокаційної розвідки повітряного противника.

Розглянемо блок-схему методу оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки (рис. 1).



**Рисуюнок 1.** Блок-схема методу оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки

У блоці 1 під час оцінювання обстановки визначаються вихідні дані за противника. Вихідними даними є: угруповання ЗПН на даному напрямку (розміщення аеродромів, з яких очікуються бойові дії ЗПН, типи та кількість літаків на них, організаційна структура, ступені бойової готовності ЗПН, льотно-тактичні характеристики ЗПН). Основними льотно-тактичними

характеристиками, які впливають на виконання бойових завдань угрупованням РТВ є: тип ЗПН та його бойове призначення; ЕПР ЗПН; дальність та тактичний радіус дії; максимальна та крейсерська швидкість, за якими можуть бути розраховані часові показники нальоту (час входу цілей в зони виявлення РЛС, підлітний час); мінімальна та максимальна висоти бойового застосування;

можливості ЗПН по маневру курсом, швидкістю та висотою, знання яких використовується при оцінці можливих тактичних прийомів, а в ході бойового застосування – при обробці РЛІ; можливості різних типів ЗПН по постановці завад, як основи для розробки моделі завадової обстановки, що очікується під час нальоту.

Наведені вихідні дані є основою для визначення ймовірного варіанту удару ЗПН (блок 3). Так як дії повітряного противника мають певну невизначеність, то вони можуть визначатися методами прогнозування. У відношенні до повітряного противника виділяють прогноз можливостей угруповання ЗПН, прогноз масштабу та характеру його дій. При прогнозуванні масштабу та характеру дій визначається кількість ЗПН, можливі наряди ЗПН на об'єкти удару, напрямки та висоти дій ЗПН, щільність нальоту, способи подавлення системи ППО та ін. На основі прогнозування масштабу та характеру дій розробляються моделі варіантів удару ЗПН.

У блоці 2 визначаються вихідні дані за свої війська. За ЗРВ визначається місцеположення зенітних ракетних дивізіонів ЗРВ, типи ЗРК, час приведення частин та підрозділів в готовність №1, час прийняття рішення на КП, робітний час ЗРК, середня швидкість польоту ракети до дальньої межі зони ураження на різних висотах, дальня та ближня межа зони ураження ЗРК для різних висот та швидкостей польоту цілей.

За ВА визначається дислокація аеродромів та КП (ПН) ВА, зони чергування у повітрі винищувачів, рубежі перехвату, типи літаків, час приведення в готовність №1, час прийняття рішення на КП ВА, час польоту винищувачів до рубежів введення в бій відносно аеродромів та зон чергування у повітрі, час маневру винищувачів для виходу в область можливої атаки.

У блоці 4 визначається варіант відбиття удару ЗПН. Варіант відбиття удару ЗПН залежить від кількості об'єктів прикриття, їх розподілу по фронту та в глибину, важливості об'єктів прикриття, можливостей наявних сил та засобів ППО. Під варіантом відбиття удару ЗПН противника розуміється встановлений порядок бойових дій визначених сил та засобів ППО з розподілом зусиль по зонах, по висотах, по цілях, по напрямках, по смугах, по рубежах, по секторах та за часом [7].

В блоці 5 визначається варіант радіолокаційної розвідки, який зводиться до знаходження такого складу (перелік та кількість елементів) та структури (взаємне розташування елементів і сукупність взаємозв'язків між ними), які своїми включеними засобами дозволять створити РЛП з визначеними параметрами, та яке задовольнить встановлені вимоги споживачів до РЛІ. Тобто під варіантом радіолокаційної розвідки розуміється таке кількісно-якісне співвідношення керованих параметрів (склад, кількість, тип засобу, розміщення на місцевості), яке дозволить створити РЛП з визначеними параметрами з урахуванням ресурсних обмежень. Вихідними даними для

варіанту радіолокаційної розвідки є вимоги споживачів РЛІ до рубежів видачі РЛІ, вимоги до кількості цілей, що одночасно видаються та вимоги до точності РЛІ, що видається, а також наявність ресурсів (РЛС, КЗА, засоби зв'язку) [7].

Для формування варіанту радіолокаційної розвідки можливо використати методику щодо розподілу радіотехнічних підрозділів по завданням, які вони вирішують при забезпеченні споживачів радіолокаційною інформацією, що наведена в [10]. Дана методика базується на використанні методу двох функцій, що дозволяє врахувати індивідуальні бойові можливості радіотехнічних підрозділів при виконанні спектру різних завдань (враховується індивідуальна сукупність показників ефективності підрозділів РТВ щодо виконання конкретного завдання по забезпеченню конкретного споживача) та сформуванню варіанту радіолокаційної розвідки.

В блоці 6 здійснюється моделювання радіолокаційної розвідки та розрахунок показника ефективності радіолокаційної розвідки.

У блоці 7 здійснюється порівняння значення отриманого показника ефективності з потрібним. При задоволенні критерійної оцінки здійснюється розроблення рекомендацій щодо радіолокаційної розвідки (блок 9). При незадоволенні умов критерійної оцінки визначаються причини недостатньої ефективності (блок 8) та новий варіант радіолокаційної розвідки. При відсутності ресурсів та незадоволенні умов критерійної оцінки обирається варіант, який забезпечує максимальну ефективність радіолокаційної розвідки.

### **Обговорення**

Основою методики оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки є узагальнений показник ефективності, який в повній мірі характеризує ступінь відповідності результатів радіолокаційної розвідки та відповідність її меті.

Запропонована методика оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки представляє собою логічну послідовність дій щодо формування варіанту радіолокаційної розвідки та його оцінювання за обраним показником ефективності.

### **Висновки**

Авторами запропоновано методику оцінювання ефективності радіолокаційної розвідки, яка може бути використана під час планування радіолокаційної розвідки угруповання РТВ.

Методика дозволяє оцінити прогностичну ефективність радіолокаційної розвідки та обрати раціональний варіант для безпосереднього планування радіолокаційної розвідки повітряного противника.

### **Список використаних джерел**

1. П.М. Сніцаренко. Методологічні основи створення і розвитку радіолокаційних систем ППО. Наука і оборона. Київ, 1998, №1. С. 39-42.
2. І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони): монографія. Житомир, 2011.

344 с.

3. В.П. Городнов. Методики прогноза ефективності родов військ ПВО. Харьков, 1999. 32 с.

4. В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О.Єрмошин. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): монографія. Харьків, 2004. 409 с.

5. Д.І. Гразіон. Удосконалена методика оцінювання ефективності ведення радіолокаційної розвідки повітряного противника з урахуванням боротьби з КР. Збірник наукових праць ЦНДІ ЗСУ. Київ, 2005. №1(31). С. 80-88.

6. С.П. Ярош. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія. Харьків, 2012. 512 с.

7. О.В. Пуховий. Удосконалена методика оцінювання

ефективності бойового застосування угруповання радіотехнічних військ. Збірник наукових праць ХУПС. Харьків, 2013. №1(34). С. 16-19.

8. О.В. Пуховий. Методика розрахунку показника ефективності бойового застосування радіотехнічних військ. Труды університету. Київ, 2016. №1(134). С. 151-155.

9. О.В. Пуховий, С.Е. Попов, В.П. Диптан. Підхід до оцінювання ефективності системи розвідки повітряного противника. Specialized and multidisciplinary scientific researches: Collection of scientific papers «ΛΟΓΟΣ» with Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Амстердам, 2020. №6. С. 138-139.

10. П.В. Щипанський, О.В. Пуховий. Обґрунтування підходу до раціонального розподілу радіотехнічних підрозділів угруповання радіотехнічних військ для виконання завдань радіолокаційного забезпечення. Труды університету. Київ, 2019. №1(151). С. 48-53.

## **METHODOLOGY OF EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF RADAR RECONNAISSANCE**

**Oleksandr Pukhovyi** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-2863-3374>

**Serhyi Popov** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-7410-1267>

**Igor Dvornichenko**

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*In article analyzes the scientific and methodological apparatus used to evaluate the effectiveness of radar reconnaissance and selected indicator of the effectiveness of radar reconnaissance. The main provisions of the methodology for evaluating the effectiveness of radar reconnaissance are given. The methodology can be used to evaluate the effectiveness of radar reconnaissance during the planning of the combat use of a group of radio troops with to choose a rational option for planning of radar reconnaissance of the air enemy.*

**Keywords:** radar reconnaissance, effectiveness, methodology, radio troops.

### **References**

1. P.M.Snitsarenko. Metodolohichni osnovy stvorennia i rozvytku radiolokatsiinykh system PPO. Nauka i oborona. Kyiv, 1998, №1. S. 39-42.

2. I.S.Romanchenko, O.M.Zahorka, S.H.Butenko, O.V.Deineha. Teoriia i praktyka borotby z malorozmirnymy nyzkolytnymy tsiliamy (otsinka mozhlyvosti, tendentsii rozvytku zasobiv protypovitrianoi oborony): monohrafiia. Zhytomyr, 2011. 344 s.

3. V.P.Gorodnov. Metodiki prognoza effektivnosti rodov voisk PVO. Kharkov, 1999. 32 s.

4. V.P.Horodnov, H.A.Drobakha, M.O.Yermoshyn. Modeliuvannia boiovykh dii viisk (syl) PPO ta informatsiine zabezpechennia protsesiv upravlinnia nymy (teoriia, praktyka, istoriia rozvytku): monohrafiia. Kharkiv, 2004. 409 s.

5. D.I.Hrazion Udoskonalena metodyka otsiniuvannia efektyvnosti vedennia radiolokatsiinoi rozvidky povitrianoho protyvnyka z urakhuvanniam borotby z KR. Zbirnyk naukovykh prats TsNDI ZSU. Kyiv, 2005. №1(31). S. 80-88.

6. S.P.Yarosh Teoretychni osnovy pobudovy ta zastosuvannia rozviduvalno-upravliaiuchykh informatsiinykh system protypovitrianoi oborony: monohrafiia. Kharkiv, 2012. 512 s.

7. O.V.Pukhovyi. Udoskonalena metodyka otsiniuvannia efektyvnosti boiovoho zastosuvannia uhrupovannia radiotekhnichnykh viisk. Zbirnyk naukovykh prats KHUPS. Kharkiv, 2013. №1(34). S. 16-19.

8. O.V.Pukhovyi. Metodyka rozrakhunku pokaznyka efektyvnosti boiovoho zastosuvannia radiotekhnichnykh viisk. Trudy universytetu. Kyiv, 2016. №1(134). S. 151-155.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛОВОАНОЇ ТА БЕЗПІЛОННОЇ АВІАЦІЇ

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 імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

### АЛГОРИТМ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ СПІЛЬНОЮ АВІАЦІЙНОЮ ГРУПОЮ ЗА ЕТАПАМИ БОЙОВОГО ПОЛЬОТУ

У статті формалізовано процес управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації за етапами бойового польоту та побудова його алгоритму. У роботі проведено аналіз вимог сучасних збройних конфліктів, аналіз існуючої системи управління авіацією Повітряних Сил Збройних Сил України, проведено класифікацію її підсистем управління. Розглянуто склад групи керівництва польотів бригад тактичної авіації та окремої бригади безпілотної авіаційних комплексів, переваги та недоліки існуючої системи управління, а також шляхи подальшого її удосконалення. Запропоновано варіант алгоритму процесу управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації за етапами бойового польоту, який створений на основі стандартної системи управління авіацією та дозволяє детально розглянути процеси управління, які проходять на різних етапах бойового польоту для різних складових спільної авіаційної групи.

**Ключові слова:** 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, група керівництва польотами, бойове застосування.

#### Вступ

Сучасні збройні конфлікти вимагають оперативності виявлення наземних (морських) цілей противника, передачі даних розвідки до органів управління з метою їх подальшої обробки та прийняття управлінських рішень щодо бойового застосування підпорядкованих підрозділів авіації. Тому, сьогодні жоден збройний конфлікт останніх десятирічч не обходиться без застосування безпілотної авіаційних комплексів, що дозволяє сторонам конфлікту, які озброєні сучасними засобами розвідки, в тому числі й безпілотної авіаційними комплексами утримувати інформаційну перевагу над противником [1-2]. Поява у повітрі безпілотної авіаційних комплексів (БпАК) з однієї сторони покращує оперативно-тактичну обізнаність командирів про хід бойових дій, положення військ та місцезнаходження об'єктів удару, проте з іншої сторони збільшується навантаження на осіб групи керівництва польотами (ГКрП) та пунктів наведення авіації (ПНА). Поява

безпілотної авіації призвела до планування спільних операцій пілотованої та безпілотної авіації у повітрі, такі групи прийнято називати спільні авіаційні групи пілотованої та безпілотної авіації (САГ) [3-5].

Отже, процес управління САГ у польоті (бойовому, навчально-тренувальному) передбачає створення відповідної системи управління повітряним рухом. Склад та завдання яких визначені у керівних документах Державної авіації України [6-7] та бойових розпорядженнях командирів в ході бойових дій. Порядок управління визначається відповідно до районів відповідальності пунктів управління, можливостей засобів радіолокації, зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів та етапів бойового польоту [8-10].

У статті [11] розглядається процес управління повітряним рухом за визначеними етапами, проте не враховані найбільш складні етапи бойового польоту, такі як: подолання ППО, вихід на ціль, виявлення цілі та її ураження. Також не враховані

особливості управління повітряними суднами різних родів авіації, в тому числі й безпілотної.

Метою статті є впорядкування процесу управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації за етапами бойового польоту та побудова його алгоритму.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

### Результати

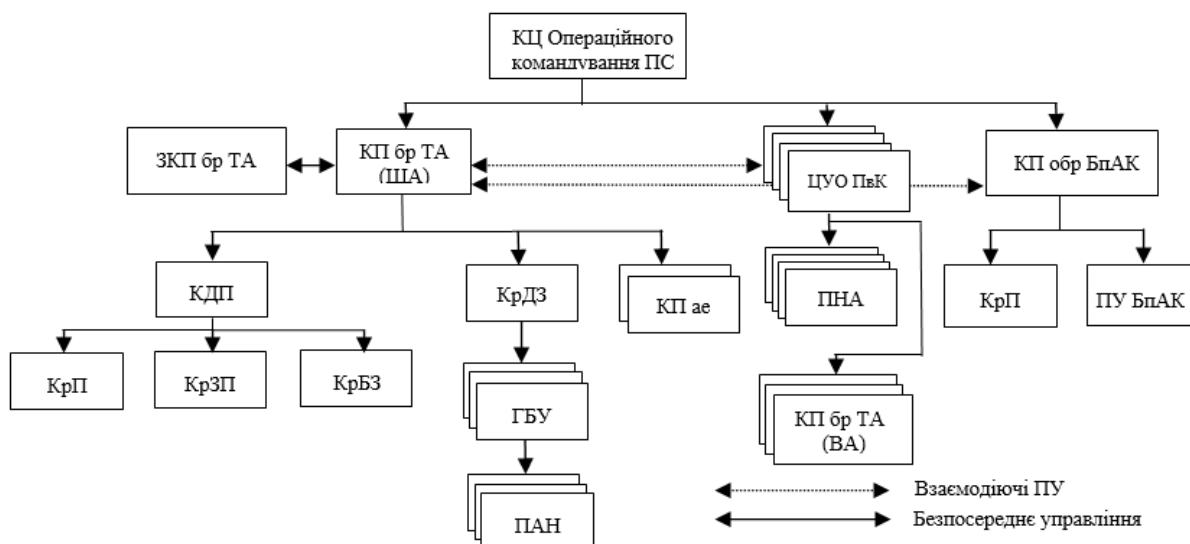
Розвиток безпілотних авіаційних комплексів призвів до еволюції бойових дій, як у повітрі, так і на землі. З появою БпЛА сухопутним і морським підрозділам стало складніше діяти скритно та залишатися довгий час не виявленими. А противники отримали змогу мати інформацію про поле бою (район бойових дій) в режимі онлайн (близькому до реального часу), тобто оперативно отримувати інформацію високої якості для прийняття управлінських рішень. Наприклад, США

почали інтенсивно застосовувати розвідувальні БпЛА ще на початку 90-х років під час війни у Іраку, а в подальшому на початку 2000-х років удосконалили їх додавши безпілотною ударні функції. На даний час ведуться випробування щодо управління безпілотною авіацією безпосередньо з борту бойового літака або вертольоту [12].

Наразі, Збройні Сили України ведуть бойові дії проти російсько-окупаційних військ на значній території України від Харківської до Херсонської областей та перебувають у готовності до відбиття збройної агресії вздовж усього державного кордону з російською федерацією, республікою білорусь та окупованою частиною Республіки Молдова.

Авіація Повітряних Сил Збройних Сил України виконує як розвідувальні та ударні функції, так і функції винищувально-авіаційного прикриття важливих державних об'єктів, угруповань військ (сил) і забезпечення інших родів авіації.

Для забезпечення виконання завдань авіацією створена система управління (рис. 1)

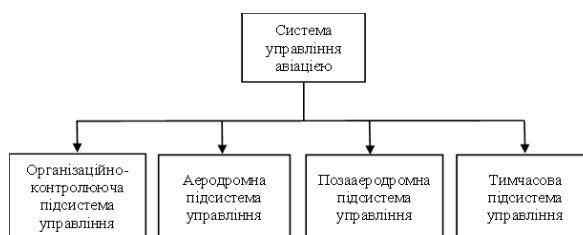


**Рисунок 1.** Існуюча система управління спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України

(КЦ – командний центр, КП (ЗКП) – командний (запасний командний) пункт, КДП – командно-диспетчерський пункт, КрП – керівник польотів, КрЗП – керівник зони посадки, КрБЗ – керівник ближньої зони, КрДЗ – керівник дальньої зони, ГБУ – група бойового управління, ПАН – передовий авіаційний навідник, ЦУО – центр управління та оповіщення, ПНА – пункт наведення авіації, ПУ БпАК – пункт управління безпілотною авіаційною системою)

В класичному вигляді вона складається з органів управління (Операційне командування Повітряних Сил Збройних Сил України, повітряних командувань Повітряних Сил Збройних Сил України, штабів бригад тактичної (транспортної) авіації, та окремих бригад безпілотних авіаційних комплексів), пунктів управління (Командний центр Операційного командування Повітряних Сил, центри управління та оповіщення повітряних командувань, командні та командно-диспетчерські пункти бригад тактичної авіації, пункти наведення авіації, групи бойового управління, пункти управління БпАК), системи зв'язку та автоматизованої системи управління.

Систему управління авіацією також можна поділити на підсистеми: організаційно-контролюючу, аеродромну, позааеродромну, та тимчасову (рис. 2).



**Рисунок 2.** Класифікація системи управління авіацією за її складовими підсистемами

Організаційно-контролююча включає в себе органи управління оперативного рівня, які здійснюють планування, організацію, забезпечення та контроль виконання польотів САГ.

До аеродромної відноситься штатна група керівництва польотів на аеродромі у складі: керівник польотів, помічник керівника польотів, керівник зони посадки, керівник ближньої зони, керівник дальньої зони та інші посадкові особи визначені у [6], а також зовнішні пілоти безпілотної авіаційних комплексів визначені у [7].

До позааеродромної відносяться штатні пункти наведення авіації повітряних командувань.

До тимчасової відносяться органи управління створені або розгорнуті на тимчасовій основі для виконання визначених завдань або нарощення поля управління та наведення, такі як допоміжні пункти наведення авіації, групи бойового управління та передові авіаційні навідники. Крім того на оперативних аеродромах де немає штатної групи керівництва польотів можуть призначатися чергові по прийому випуску літаків.

Для забезпечення управління САГ в процесі виконання завдання, тобто в процесі бойового польоту створюється система управління варіант якої зображений на рисунку 3.

Як видно з рисунку 3 визначені особи групи керівництва польотами здійснюють управління за етапами бойового польоту та передають управління САГ послідовно від одного пункту управління до іншого. Виключеннями можуть бути особливі випадки у польоті або необхідність скритного виконання завдання, тобто управління здійснюється скороченою групою керівництва польотів, а в окремих випадках лише всередині бойового порядку.

Весь алгоритм управління поділяється на 9 блоків, які можуть включати в себе від одного до кількох етапів бойового польоту САГ.

Алгоритм починається з Блоку 1, в якому САГ надходить бойове розпорядження щодо проведення розвідки, орган управління САГ проводить планування польоту БпЛА та підготовку екіпажу та БпЛА до польоту.

Блок 2 починається із запуску БпЛА, вирулювання на злітно-посадкову смугу та закінчується зльотом БпЛА. У разі технічної несправності комплексу або літального апарату завдання виконує або інший БпЛА або той самий після усунення несправності. Управління на даному етапі здійснює керівник польотів на аеродромі.

У Блоці 3 проходять найскладніші та найвідповідальніші етапи польоту для БпЛА вже під управлінням зовнішнього пілота. У субблоці 3а за необхідності польоту за лінією бойового зіткнення у зоні ураження ППО виконується етап подолання ППО (при умові, що засоби ППО на напрямку польоту придушені на певний період часу). У разі втрати БпЛА від засобів ППО алгоритм повертається до початкового етапу

планування операції та організуються заходи повторного придушення засобів ППО противника на визначеному напрямку. За умови успішного подолання ППО здійснюється пошук та виявлення цілей для ударної групи пілотованих літаків та видача їх на орган управління, який планує бойовий політ ударної групи.

У Блоці 4 після надходження координат цілі від БпЛА здійснюється планування та підготовка до польоту ударної групи та групи винищувально-авіаційного прикриття (ВАП).

Блок 5 починається із запуску, вирулювання та зльоту спочатку групи ВАП, а потім ударної групи. Як і у Блоці 2 у разі відмови або несправності літаків або засобів забезпечення польотів по можливості забезпечується заміна літаків чи засобів забезпечення польотів.

У Блоці 6 під керівництвом керівника дальньої зони або пункту наведення авіації здійснюється побудова бойових порядків ударної групи та групи ВАП та політ по маршруту до району виконання завдань САГ. Далі здійснюється подолання ППО (за необхідності) та розчистка повітряного простору групою ВАП (за необхідності).

Далі у Блоці 7 під управлінням ГБУ у разі можливості або самостійно по завчасно виявленим БпЛА координатам об'єкту удару літаки ударної групи здійснюють виявлення, розпізнавання та ураження цілі. Після нанесення удару, у субблоці 3б БпЛА (який знаходиться в районі очікування) ставиться завдання на оцінку результатів удару. Ударна група та група ВАП в цей час виконують політ в район аеродрому базування.

У Блоці 8 під управлінням групи керівництва на аеродромі здійснюється розпуск бойових порядків, захід на посадку та посадка літаків (БпЛА), зарулювання на визначені стоянки.

У Блоці 9 орган управління САГ використовуючи матеріали об'єктивного контролю та доповіді старших груп (за напрямками) САГ проводить аналіз виконання завдання САГ щодо нанесення удару.

### **Обговорення**

Аналіз алгоритму управління САГ показує, що існуючий процес управління САГ може призводити до затримок або взагалі невиконання завдання САГ. Відсутність прямого каналу передачі інформації від БпЛА до ударного літака та можливість противника здійснювати маневрування знижує імовірність його ураження, крім того збільшується ймовірність ураження свого БпЛА через значний час перебування у зоні ураження ППО противника. Сучасні операції вимагають застосування пілотованих та безпілотної літальних апаратів у спільних бойових порядках, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в обстановці та знищувати цілі противника у короткі терміни. Розвиток технологій продовжує впроваджувати у війська роботизовані системи, і в майбутньому вони будуть автономні та приймати рішення з використанням технологій штучного інтелекту.

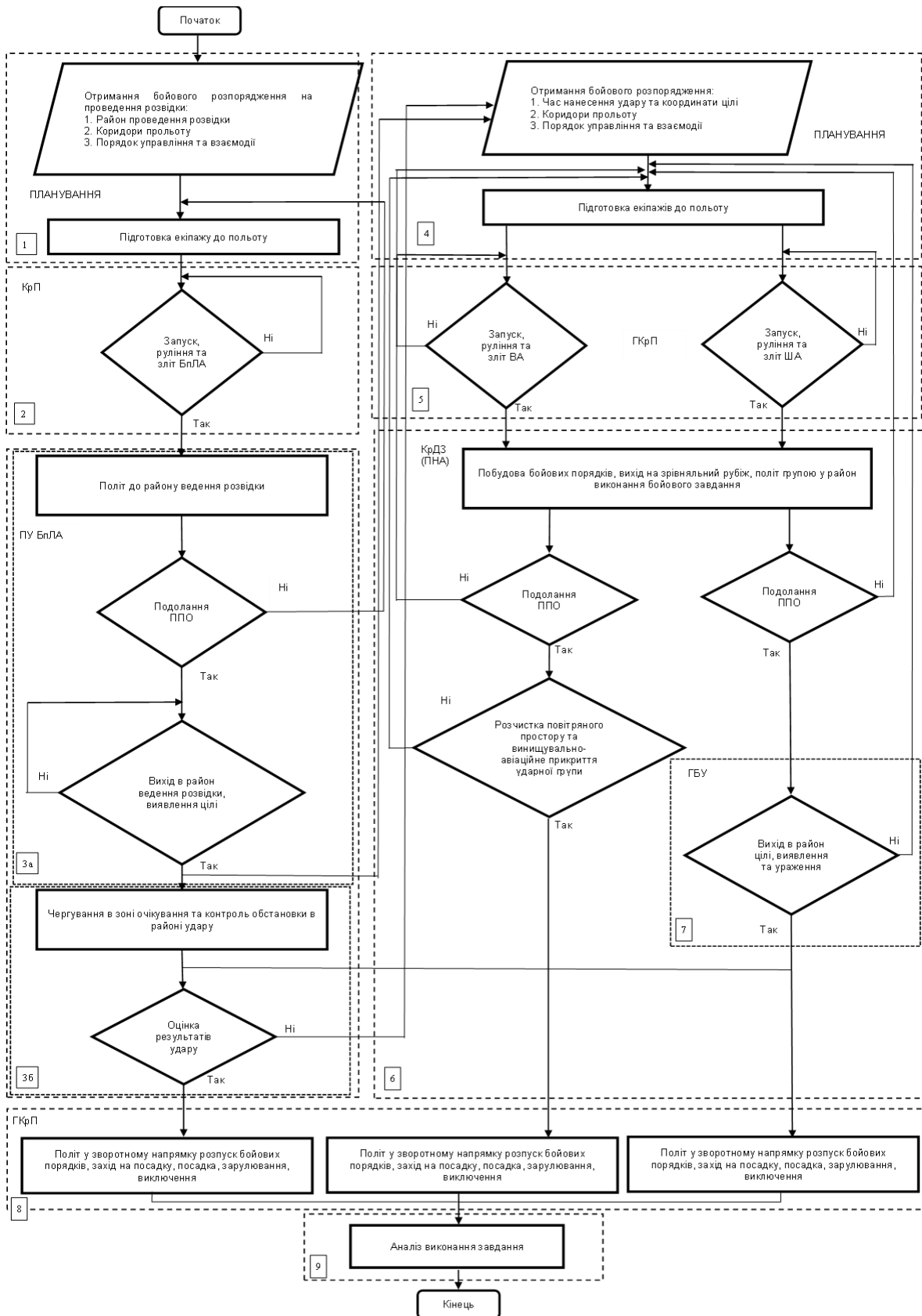


Рисунок 3. Варіант алгоритму управління спільною авіаційною групою у ході виконання бойового завдання за етапами бойового польоту



Проте існуюча система управління є організаційно складною та технічно застарілою, оскільки використовує засоби зв'язку та радіотехнічного польотів радянського виробництва, частково модернізовані українськими підприємствами зразки військової техніки та потребує удосконалення для відповідності вимогам сучасних операцій. Зокрема існує необхідність у забезпеченні закритих каналів зв'язку, в тому числі і супутникового. Крім того парк пілотованої авіації потребує модернізації до вимог сьогодення, що забезпечить їх взаємодію та взаємосумісність з БпАК. Це питання потребує окремого дослідження насамперед з технічної точки зору.

### Висновки

У даному дослідженні проведено аналіз існуючої системи управління авіацією та її можливості щодо управління спільними авіаційними групами. Проведено класифікацію системи управління за її підсистемами. Впорядковано процес управління у вигляді алгоритму, від моменту отримання бойового розпорядження на виконання завдання САГ до моменту проведення аналізу виконання завдання.

Як видно з (рис.3) відсутність прямого інформаційного каналу між пілотованою авіацією та БпАК не дозволяє оперативно реагувати на зміни обстановки на полі бою через довгий цикл управління та змушує БпЛА знаходитись тривалий час у зоні ураження противника, що може призводити до їх втрат. Перевагою застосування САГ є те, що на відміну від війн минулих десятиріч повітряну розвідку здійснює безпілотний авіаційний комплекс, що дозволяє зберегти життя льотного складу, витрати на експлуатацію літаків та скоротити час на отримання інформації про противника.

В подальших дослідженнях пропонується провести моделювання циклу управління САГ за розглянутим вище алгоритмом та дослідити шляхи його удосконалення.

### Список використаних джерел

1. Ярошенко Я.В. та інші. Досвід застосування безпілотної авіації у вірмено-азербайджанському конфлікті восени 2020 року. Уроки для України. / Я.В. Ярошенко, В.В. Герасименко, О.Є. Блискун, С.М. Базіло, Д.Р. Ікаєв // Воєнно-історичний вісник № 2(40). – К.: НУОУ, 2021. – с.53-71. DOI: 10.33099/2707-1383-2021-40-2-53-71.
2. Радецький В. Г., Руснак І. С., Даник Ю. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі:

Монографія. – К.: НАОУ, 2008. 224 с.

3. Герасименко В.В., Артюшин Л.М., Коваль В.В. Метод формування спільної авіаційної групи. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: НУОУ, 2021. – №1(40). – С. 63-68.

4. Герасименко В.В., Артюшин Л.М., Коваль В.В. Синтез раціональних структур бойових порядків спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security", Vol. 11, No. 3, (2021). – С. 209–220. DOI:https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.3.20.

5. Герасименко В.В., Артюшин Л.М., Лобанов А.А. Математична модель бойового порядку спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.: НУОУ, 2021. – №3(42). – С. 63-68.

6. Наказ Міністерства оборони України "Про затвердження Правил виконання польотів державної авіації України" від 05.01.2015 № 2, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 26 січня 2015 року за № 82/26527(зі змінами). – К.: МОУ, 2015. – 205 с. Режим доступу: [https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/zminu\\_2\\_05012015.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/zminu_2_05012015.pdf).

7. Наказ Міністерства оборони України "Про затвердження Правил виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України" від 08.12.2016 № 661, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 12.01.2017 за №31/29899 (зі змінами). – К.: МОУ, 2017. – 205 с. Режим доступу: [https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/661\\_08122016.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/yrdday/661_08122016.pdf).

8. Могилко Д.О., Каркач А.В., Мажара І.П. Етапи управління підрозділами штурмової авіації при нанесенні удару по наземних цілях. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2016. № 2(23). С. 65.

9. Тимочко О.І., Аросланкін О.О., Самокіш А.В. Підхід щодо наведення ударної авіації на наземні (морські) цілі з урахуванням інформативності ознак орієнтирів. Системи озброєння і військова техніка. 2019. № 4(60). С. 102-107. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.60.14>.

10. Мильграм Ю.Г. Исследование операций и алгоритмизация боевых действий. Москва: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 1967. 462 с.

11. Mazhara I. Нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом / I. Mazhara, O. Tymochko // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2021. – Т. 2 (64). – С. 17-20. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ. 2021.2.017.

12. Перспективи застосування спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. Частина I. Теорія застосування спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації : навч. посіб. / [В. В. Герасименко, А. Г. Салій, В. К. Медведєв та ін.]. – К.: НУОУ імені Івана Черняхівського, 2022. – 96 с.

## THE JOINT AVIATION GROUP MANAGEMENT PROCESS ALGORITHM BY STAGES OF COMBAT FLIGHT

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 named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

*In the article to formalize the process of managing a joint aviation group of manned and unmanned aviation by a combat flight stages and to build its algorithm. The paper analyzes the requirements of modern armed conflicts, analyzes the existing Ukrainian Air Force aviation control system, and classifies its control subsystems. Considered the composition tactical aviation brigades and a separate brigade of unmanned aviation complexes flight management group. The advantages and disadvantages of the existing management system, as well as ways of its further improvement. Proposed a version of the algorithm for the joint aviation group of manned and unmanned aviation management by a combat flight stages, which is created on the basis of a standard aviation management system and allows for a detailed consideration of the management processes that take place at various combat flight stages for different joint aviation group components.*

**Keywords:** *manned and unmanned aviation; joint combat order; joint aviation group of manned and unmanned aircraft, fighter aviation, assault aviation, strike group, air reconnaissance, unmanned aerial vehicle, unmanned aerial system, flight management group, combat application.*

### References

1. Yaroshenko Ya.V. ta inshi. Dosvid zastosuvannya bezpilотної авіації у вирмено-азербайджанському конфлікті восени 2020 року. Uroky dlja Ukraїny. // Voєno-istorичnyj visnyk # 2(40). – K.: NUOU, 2021. – c.53-71.
2. Radeckyj V. Gh., Rusnak I. S., Danyk Ju. Gh. Bezpilотna авіація в сучасній збройній боротьбі: Monografija. – K.: NAOU, 2008. – 224 c.
3. Gherasymenko V.V., Artjushyn L.M., Kovalj V.V. Metod formuvannya spiljnoї авіаційної групи. Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. – K.: NUOU, 2021. – №1(40). – C. 63-68.
4. Gherasymenko V.V., Artjushyn L.M., Kovalj V.V. Syntez racionalnykh struktur bojovykh porjadkiv spilnykh авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”, Vol. 11, No. 3, (2021). – C. 209–220.
5. Gherasymenko V.V., Artjushyn L.M., Lobanov A.A. Matematychna modelj bojovogho porjadku spiljnoї авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації. Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. – K.: NUOU, 2021. – №3(42). – C. 63-68.
6. Nakaz Ministerstva oborony Ukraїny “Pro zatverdzhennja Pravyl vykonannya poljotiv bezpilотної авіації Ukraїny” vid 05.01.2015 # 2 – K.: MOU, 2015. – 205 s.
7. Nakaz Ministerstva oborony Ukraїny “Pro zatverdzhennja Pravyl vykonannya poljotiv bezpilотної авіаційного комплексного державної авіації Ukraїny” vid 08.12.2016 # 661 – K.: MOU, 2017. – 205 s.
8. Moghylo D.O., Karkach A.V., Mazhara I.P. Etapy upravlinnja pidrozdilamy shturmovoї авіації pry nanesenni udaru po nazemnykh ciljakh. Nauka i tekhnika Povitryanjkh Syl Zbrojnykh Syl Ukraїny. 2016. № 2(23). C. 65.
9. Tymochko O.I., Aroslinkin O.O., Samokish A.V. Pidkhid shhodo navedennja udarної авіації na nazemni (morsjki) cili z urakhuvannjam informatyvnosti oznak orijentyriv. Systemy ozbrojennja i vijsjkova tekhnika. 2019. # 4(60). S.102-107.
10. Milgram Yu.G. Issledovanie operatsiy i algoritimizatsiya boevyih deystvij. Moskva: VVIA imeni professora N.E. Zhukovskogo, 1967. 462 s.
11. Mazhara I. Nechitka nejronna merezhna modelj informacijnoї systemy upravlinnja povitryanjnym rukhom / I. Mazhara, O. Tymochko // Systemy upravlinnja, navigacijni ta zv'jazku. Zbirnyk naukovykh pracj. – Poltava: PNTU, 2021. – T. 2 (64). – S. 17-20.
12. Perspektyvy zastosuvannya spilnykh авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. Chastyna I. Teorija zastosuvannya spilnykh авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації : navch. posib. / [V. V. Gherasymenko, A. Gh. Salij, V. K. Medvedjev ta in.]. – K. :NUOU imeni Ivana Chernjakhovskogho, 2022. – 96 s.

## **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ, СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК, ВІЙСЬКОВО-МОРСЬКИХ СИЛ, ДЕСАНТНО-ШТУРМОВИХ ВІЙСЬК ТА ІНШИХ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ**

**УДК 355.424.4**

**Резнік Дмитро Вікторович** (кандидат військових наук)

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

**Шкурат Богдан Жоржович**

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

**Мельниченко Василь Семенович** (кандидат військових наук, доцент)

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

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

### **ЗАСТОСУВАННЯ РОЗШИРЕННЯ ДІАГРАМИ ГАНТА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПІДРОЗДІЛІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ**

*Одним з проблемних питань управління силами та засобами протиповітряної оборони в ході бойових дій є організація взаємодії між різнорідними силами та засобами, які залучені до виконання спільних завдань, зокрема між наземними та повітряними вогневими засобами протиповітряної оборони. У статті запропоновано основні положення планування взаємодії підрозділів протиповітряної оборони з використанням розширення діаграми Ганта у тривимірному просторі. Показано, що перехід до об'ємної моделі є розвитком існуючої системи планування згідно із законами розвитку систем. Запропоноване розширення діаграми Ганта є першим наближенням, і в подальшому, вимагає уточнення, доповнення та удосконалення математичного апарату. Модель, яка ґрунтується на основних положеннях розширеної у тривимірному просторі діаграми Ганта може бути застосована в спеціальному програмному забезпеченні або системах прийняття рішення при плануванні та веденні бойових дій.*

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, система ППО, таблиця взаємодії, діаграма Ганта, теорія розкладів, спеціальне програмне забезпечення.

#### **Вступ**

Аналіз процесів управління силами та засобами протиповітряної оборони (ППО) в ході широкомасштабної агресії російської федерації не тільки довів високу ефективність самої системи ППО в ході боротьби із широкого спектру засобів повітряного нападу противника, але підкреслив ряд проблемних питань, які потребують вирішення. Одним з таких питань є організація чіткої взаємодії між різнорідними силами та засобами протиповітряної оборони, зокрема між наземними засобами ППО (зенітні ракетні війська, підрозділи ППО Сухопутних військ та інших підрозділів і складових Сил оборони) та повітряними засобами, як залученими до ППО (винищувальна авіація), так і іншими (інші роди авіації, безпілотні літальні апарати тощо). Такий стан справ обумовлений рядом факторів, які потребують врахування під час організації управління.

По-перше, в ході бойових дій застосовується велика номенклатура типів авіації, до якої також можна віднести безпілотні літальні апарати. Всі ці

дружні об'єкти хоч і не залучені безпосередньо до виконання завдань ППО, але можуть знаходитись в повітряному просторі під час ведення силами ППО бойових дій.

По-друге, вхід до складу Сил оборони підрозділів різного підпорядкування, здатних виконувати завдання ППО та знищувати повітряні об'єкти, їх оснащення різнотипними засобами зв'язку та програмного забезпечення може призвести до неузгодженості їх дій та випадків знищення своїх літальних апаратів.

По-третє, розширення номенклатури озброєння та засобів ураження, зокрема за рахунок введення в експлуатацію техніки власного виробництва, допомоги партнерів, трофейного озброєння, ускладнює роботу командира під час управління підлеглими засобами.

Існуючі спеціальні програмні продукти та автоматизовані системи управління (АСУ) не в повній мірі враховують вказані вище фактори, а також сучасні тенденції управління військами (силами), під час планування та ведення бойових

дій.

Таким чином, актуальним питанням залишається потреба в удосконаленні процесів управління підлеглими силами та засобами ППО, зокрема організації взаємодії під час планування бойових дій

Отже, метою статті є опис можливостей застосування існуючих та перспективних підходів, а саме розширення діаграми Ганта, для автоматизованого визначення сил, засобів та строків здійснення заходів із взаємодії під час спільного виконання завдань зенітними ракетними військами та винищувальною авіацією.

### Матеріали та методи

Одним з процесів організації взаємодії підрозділів є створення планової таблиці взаємодії, яка комплексно враховує наявні сили та засоби, райони бойових дій, час (етап) ведення бойових дій.

На даний час проблемним питанням є складний процес формування таблиці взаємодії, який здійснюється в оперативних підрозділах штабів майже “вручну” і потребує достатньо тривалого часу на оформлення. Крім того, існує певна проблема і в застосуванні вказаної таблиці під час ведення бойових дій, яка полягає в постійній потребі корегувати її зміст у зв’язку з невідповідністю поточної обстановки тій, що була прогнозована під час планування бойових дій.

Для вирішення цих проблем пропонується впровадження методики формування планової таблиці взаємодії військ (сил) під час ведення операції (бойових дій) в програмне забезпечення системи підтримки прийняття рішень командувачем (командиром), яке засновано на застосуванні теорії розкладів[1], зокрема діаграми Ганта та її розширення для тривимірного простору.

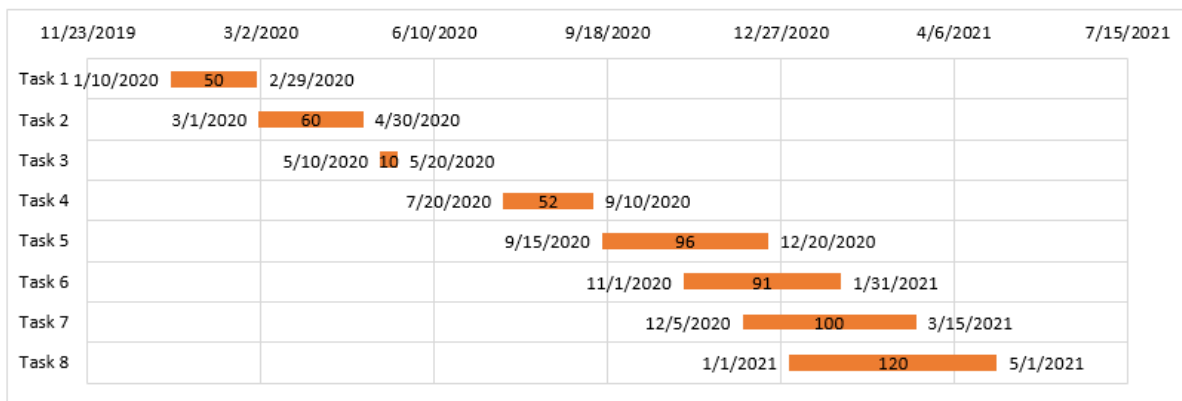
### Результати

В сучасному світі, для планування заходів і проектів використовується двовимірна система планування, яка називається діаграмою Ганта (рис.1). Перший формат діаграми був розроблений Генрі Л. Гантом в 1910 році. По суті, діаграма Ганта складається зі смуг, орієнтованих уздовж осі часу.

Кожна смуга на діаграмі представляє окреме завдання в проекті (вид роботи), її кінці є моменти початку і завершення роботи, її протяжність – тривалість роботи. Вертикальною віссю діаграми служить перелік завдань. Крім того, на діаграмі можуть бути відзначені сукупні завдання, відсотки завершення, показники послідовності і залежності робіт, мітки ключових моментів (“віхи”) та мітка поточного моменту часу. Як видно з рисунку, подібний підхід часто застосовується при плануванні як службової діяльності, так і бойових дій у військах.

Ключовим поняттям діаграми Ганта є “віха” – мітка значимого моменту в ході виконання робіт, спільний кордон двох або більше завдань[2]. Віхи дозволяють наочно відобразити необхідність синхронізації, послідовності у виконанні різних робіт, тобто є ключовими моментами взаємодії[3]. Зрушення віхи призводить до зрушення всього проекту. Однак віхи, як і інші кордону на діаграмі Ганта, не є календарними датами. Тому діаграма Ганта не є, строго кажучи, графіком взаємодії суб’єктів, і це один з основних її недоліків. Крім того, діаграма Ганта не враховує значущості або ресурсомності завдань, що виконуються а також їх сутності (області дії). Як показала практика, для великих проектів, діаграма Ганта стає надмірно великою і втрачає будь-яку наочність. Крім того, використовуючи діаграму Ганта, важко показати розподіл завдань по суб’єктам проекту (по співробітниках або відділам), форма діаграми не дає інформації про проект в цілому, що ускладнює прийняття управлінських рішень керівництвом. Також, за формою діаграми Ганта неможливо класифікувати проекти і робити експрес-оцінку проходження проекту в цілому, діаграма дозволяє проводити вибірку лише по обмеженому числу критеріїв.

Зазначені вище недоліки істотно обмежують сферу застосування діаграми Ганта. Однак, у даний час діаграма Ганта є стандартом де-факто в теорії і практиці управління проектами, зокрема для відображення структури переліку завдань, що виконуються згідно з проектом.



**Рисунок 1.** Діаграма Ганта (приклад)

Також варто відзначити, що в епоху розвитку інформаційних технологій діаграма Ганта, що не

заснала істотних змін за свою більш ніж сторічну історію, продовжує залишатися досить архаїчною структурою яка слабо піддається автоматизації. Так, найбільш відома в світі версія програми створення діаграми Ганта – Microsoft Project (або MSP) яка розроблена і продається корпорацією Microsoft, створює розклад критичного шляху, що може відповідати процесу бойових дій. В основі алгоритмів програми лежить визначення найбільш тривалої послідовності завдань від початку проекту до його закінчення з урахуванням їх взаємозв'язку. Завдання, що лежать на критичному шляху (критичні завдання), мають нульовий резерв часу виконання, і, в разі зміни їх тривалості, змінюють терміни всього проекту. У зв'язку з цим, при виконанні проекту критичні завдання вимагають більш ретельного контролю, зокрема, своєчасного виявлення проблем та ризиків, що впливають на терміни їх виконання і, отже, на терміни виконання проекту в цілому. Тривалість бойових дій на практиці рідко відповідає запланованій і може значно змінюватися, а при зміні тривалості виконання окремих завдань деякі з них можуть виявитися на критичному шляху. Також до діаграми важко застосувати підходи математичного моделювання та скористатися наявними можливостями сучасної комп'ютерної графіки для візуалізації побудованої моделі, що могло б дати додаткові можливості під час прийняття управлінських рішень.

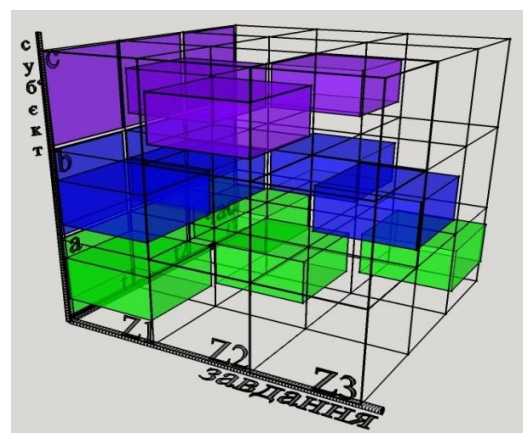
Отже, постає питання – чи можливо змінити модель планування процесів, якщо діаграма Ганта виявилася настільки вдалою, що не заснала істотних змін за вікову історію? Відповідно до теорії еволюції технічних систем [4] можливо здійснити перехід від ліній (послідовність виконання завдань у часі) до плоскої системи координат (діаграма Ганта), а від плоскої моделі логічно перейти до об'ємної. Отже об'ємна модель планування процесів – цілком закономірний логічний перехід, і є відображенням законів розвитку систем [5]. Тобто, для здійснення наступного кроку розвитку потрібно не удосконалювати двомірну модель, а переходити до тривимірного моделювання. Застосування такого моделювання було складно реалізовано до появи комп'ютерної техніки, проте сьогодні, з використанням сучасних засобів візуалізації, подібна система може надати істотну перевагу при розробці проектів, про що вже згадувалося вище. Крім того, подібна являє собою полісистему, що складається з безлічі площин (бісистем). Тому, при створенні комп'ютерної програми на основі даної моделі, безсумнівно буде потрібно передбачити можливість відокремлювати різні бісистеми (площини) і моносистеми (лінії), що несуть різне функціональне навантаження. Для випадку планування бойових дій, зокрема ППО, на площині можна відобразити послідовність виконання бойових завдань окремим вогневим засобом або підрозділом (наземним або повітряним).

В цьому випадку, з'являється можливість експрес-аналізу полісистеми (об'ємної моделі) в

цілому і детального аналізу ходу виконання завдань на площинах (по підрозділах) і навіть відрізках (за окремими завданнями). Теж можна говорити про введення вихідних даних: дані можуть вводитися в таблиці, що представляють собою не що інше, як площини (бісистеми) і відрізки (моносистеми), а потім комп'ютерна програма будує полісистему – об'ємну модель.

В основу об'ємної моделі планування взаємодії покладаються типові бойові завдання, які виконуються вогнеvim засобами ППО. Виконання вказаних завдань за планом мають початкову точку і кінцеву точку, стадії розгортання, безпосередньо виконання та закінчення, тобто розвитку, при цьому може поступово залучатись все більше вогневих одиниць (підрозділів), а у міру наближення до поставлених цілей, кількість виконавців, які брали участь в ньому, знижується. Якщо ж розглядати зміну завдань, то картина повториться - на початку завдань виконавців буде мало, потім, у міру розвитку проекту, їх кількість зросте і, в міру наближення до завершення виконання завдання, знову зменшиться. Таким чином, розвиток проекту підпорядковується закону розгортання-згорання систем, причому, як по виконавцям, так і по обсягу виконуваних завдань. Слід зауважити, що в діаграмі Ганта, які представляють собою бісистему з координатами завдання-час, наочно представлений лише процес розгортання-згорання бойових дій по виконуваних завданнях, а аналіз проекту щодо взаємодії підрозділів сильно ускладнений.

Якщо уявити процес розгортання і згорання проекту у вигляді об'ємної моделі, ми отримаємо не що інше, як об'ємне розширення діаграми Ганта, в основі якого буде площина "завдання-час", а шарами, які будуть утворювати висоту – вогневі одиниці (підрозділи) наземних та повітряних засобів ППО.



**Рисунок 2.** Модель виконання завдань ППО в ході бойових дій у вигляді об'ємного розширення діаграми Ганта

Однак в такому вигляді модель, хоч і наочна, але представляє складності щодо її опису та подальшого аналізу, тому доцільно її перетворити в дещо інший вигляд.



За своїм призначенням об'ємне розширення діаграми Ганта доцільно використовувати для планування в органах управління вищого рівня, що підтверджує відповідність обраної моделі законам розвитку систем, а саме закону переходу в надсистему (модель не скасовує існуючий інструмент планування, а включає його до свого складу в якості підсистеми).

Аналізуючи об'ємне розширення діаграми Ганта, можна виділити три функціональних площини (таблиці) (рис. 3).

По підрозділам											
ВА			зрдн СД			озрдн МД					
t3	2,3		t3		1,2	2,3	t3		1	2	
t2		1	t2			1,2	t2	1			
t1	2,1	3	t1	3,2			t1		1		
Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3

По завданням											
Z1			Z2			Z3					
МД		1	МД	1		1	МД			2	
СД	3,2		СД			1,2	СД		1,2	2,3	
ВА	2,1		ВА	3	1		ВА				
t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3	t1	t2	t3

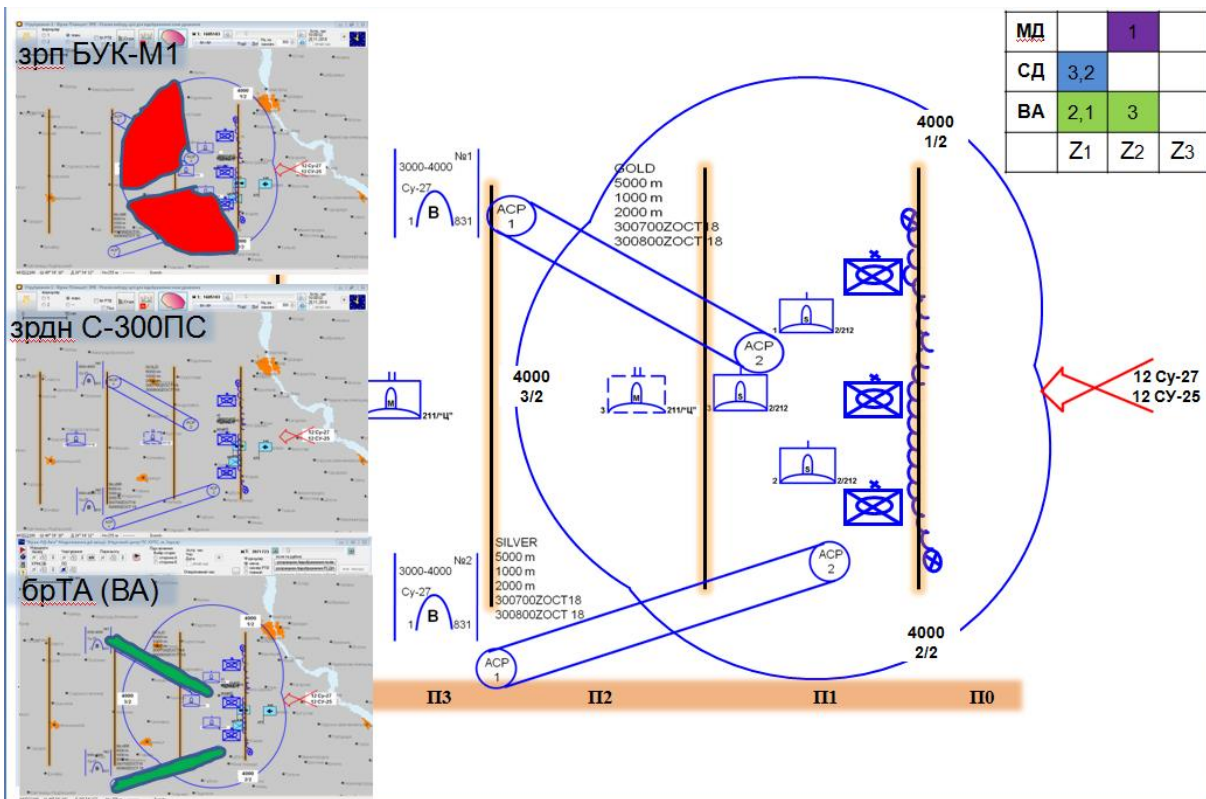
По часу виконання											
t1			t2			t3					
МД		1	МД	1		МД		1	2		
СД	3,2		СД			1,2	СД		1	2,3	
ВА	2,1	3	ВА		1		ВА	2,3			
Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3

**Рисунок 3.** Перетворення об'ємного розширення діаграми Ганта у двовимірну площину (традиційну діаграму Ганта)

Перша площина, по суті, являє собою традиційну діаграму Ганта. Аналізуючи цю площину, можна отримати картину розгортання - згортання завдань за часом, обчислювати параметри виконання критичних завдань, розглядати варіанти розпаралелювання їх виконання у часі, тобто в цій площині доступні стандартні операції, прийняті в програмі Microsoft Project.

Друга площина являє собою площину виконання бойових завдань ППО по вогневим засобам (підрозділам), задіяним у їх виконанні. Аналіз цієї площини дозволяє отримати картину зміни в часі необхідної придатності або завантаженості підрозділів ППО, що беруть участь в бойових діях. Таким чином, якщо районів виконання завдань ППО (районів бойових дій) декілька, то можна побудувати не одне об'ємне розширення діаграми Ганта, а їх систему і шляхом взаємного розташування моделей домогтися того, щоб бойове навантаження кожного підрозділу було збалансоване.

Третя площина показує залежність виконуваних завдань від спроможностей вогневого засобу (підрозділу) ППО. Аналізуючи цю площину, можна встановити максимальну складність завдань і необхідні для їх виконання спроможності підрозділу. Фактично, площина являє собою таблицю, що дозволяє встановити, який підрозділ використовується для вирішення яких завдань і чи можна гарантувати, що спроможності підрозділу достатні для виконання.



**Рисунок 4.** Визначення способу взаємодії підрозділів ППО з аналізу площини об'ємного розширення діаграми Ганта (варіант)

Аналізуючи зріз по цій площині, можна накопичити достатню статистику як для виконання типових бойових завдань, так і для коригування статутів та керівництва з бойової роботи. Крім того, оскільки даний зріз можна проводити в певні проміжки часу, тобто, призначити на шкалі часу контрольні точки, то можна отримати інформацію про зміну в часі компетенції та кваліфікації особового складу та складності завдань, який він здатний виконати, а також виключити неефективне застосування підрозділів в рішеннях наступних завдань. Додатково, можна визначити перелік заходів, необхідних підрозділу (посадовим особам) для набуття відповідних спроможностей (компетенцій). Приклад визначення способу взаємодії підрозділів протиповітряної оборони на основі аналізу однієї з площин об'ємного розширення діаграми Ганта наведено на рисунку 4.

У даній моделі, крім площин (бісисем), найважливішими поняттями є моносистеми – вектори (осі, або напрямки виміру об'ємного розширення діаграми Ганта), головні з яких - це вектор вогневих засобів (підрозділів) та вектор завдань. Обидва ці вектори проходять паралельно осі часу, належать відповідним площинам і показують початок і кінець виконання завдання, а також початок і кінець зайнятості підрозділу у виконанні тих чи інших завдань. Поняття "вектор завдань" відповідає лінії завдань в діаграмі Ганта.

По довжині вектору підрозділів легко судити про їх завантаження та необхідну кількість (і типи) в певні періоди часу. При необхідності можна зробити зрізи по підрозділах в певні моменти часу і розглянути площину, на якій векторі підрозділів будуть представлені у вигляді точкової або лінійної діаграми, зручної для аналізу в даний момент часу.

При необхідності за допомогою програмних засобів можна побудувати та візуалізувати площини, що показують кореляцію підрозділів та виконуваних ними завдань, яка буде прив'язана до часу. Таким чином, можна отримати картину як миттєвої кореляції бойових завдань і підрозділів, так і подивитися змінюваності бойових дій в часі. З точки зору законів розвитку систем, подібна кореляція - не що інше, як відображення закону синхронізації складових системи, яка показує, в якому місці системи або в який час потрібне втручання з метою коригування ходу виконання завдань.

Представляється можливим також будувати системи, що складаються з декількох об'ємних розширень діаграми Ганта. У подібну полісистему об'ємне розширення діаграми Ганта входить в якості однієї з підсистем. У цьому випадку кожне об'ємне розширення діаграми Ганта описує один район бойових дій (або виконання бойового завдання вищого рівня), при цьому для ведення бойових дій з протиповітряної оборони вектори підрозділів і вектори завдань можуть належати кільком об'ємним розширенням діаграми Ганта.

## **Обговорення**

Аналізу можуть піддаватися не тільки вектори, площини і поверхні, але і зовнішній вигляд об'ємного розширення діаграми Ганта. В статті представлено ідеалізовану модель, яка зображена у вигляді "правильного паралелепіпеда" без викривлень форми. На практиці, об'ємне розширення діаграми Ганта може приймати найрізноманітніші форми (найпоширеніші паралелограм, піраміда), мати "опуклості", "увігнутості" та інші викривлення. За зовнішнім виглядом отриманого тривимірного тіла також можна прогнозувати окремі процеси в ході виконання завдань, але для того, щоб робити подібні висновки, потрібно накопичити статистику в побудові подібних моделей, а потім, класифікувати найбільш типові випадки. Така робота може бути проведена в майбутньому.

Для подальшого застосування вказаної моделі необхідна подальша формалізація процесу формування тривимірної таблиці взаємодії.

Подібні моделі можна застосовувати не тільки під час планування взаємодії підрозділів ППО, але також інших підрозділів, які виконують спільні завдання. Крім того, аналогічний підхід можна застосувати для окремого вогневого засобу (підрозділу), аналізуючи при цьому різні складові спроможностей цього засобу (підрозділу).

## **Висновки**

Таким чином, в статті викладений один з можливих підходів до планування взаємодії підрозділів наземних та вогневих засобів ППО, заснований на використанні об'ємних моделей діаграми Ганта. Показано, що перехід до об'ємної моделі планової таблиці взаємодії підрозділів згідно із законами розвитку систем є одним зі шляхів подальшого розвитку існуючого порядку планування бойових дій. Запропоноване об'ємне розширення діаграми Ганта є першим наближенням, і в подальшому, вимагає уточнення, доповнення та удосконалення математичного апарату. Подібна модель може бути затребувана у вигляді якісного програмного забезпечення.

## **Список використаних джерел**

1. R.W. Conway, W.L. Maxwell, L.W. Miller, "Theory of scheduling", Addison-Wesley, 1967, 294 p.
2. Інформаційні системи і технології в управлінні проектами. Частина 1. Планування проектів в MS Project: навчальний посібник. – К.: Університет економіки та права "КРОК", 2011. – 167 с.
3. Посібник для початківців про діаграму віх// TechUkraine.net. Веб-сайт. URL: <https://techukraine.net/posibnik-dlya-pochatkivciv-pro-diagram/> (Дата звернення 05.12.2022).
4. Huges Thomas P. The Evolution of Large Technological Systems, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987, 55 p.
5. De Carvalho, Marco & Back, Nelson. Triz Methodology and its Use in Systematic Engineering Design. URL: [https://www.researchgate.net/publication/304167241\\_triz\\_methodology\\_and\\_its\\_use\\_in\\_systematic\\_engienginee\\_design/](https://www.researchgate.net/publication/304167241_triz_methodology_and_its_use_in_systematic_engienginee_design/) (Дата звернення 05.12.2022).

## **USING OF GANTT CHART EXTENSION FOR MODELING THE INTERACTION OF AIR DEFENSE UNITS**

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

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

**Bohdan Shkurat**

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

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

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

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*One of the problematic issues of managing air defense units during hostilities is the interaction organization between the different subordination units that are involved in the performance of joint tasks, particularly between ground and air fire units. The article proposes the main provisions for planning the interaction of air defense units using the extension of the Gantt chart in three-dimensional space. It is shown that the transition to a three-dimensional model is a development of the existing planning approach according to the laws of system development. The proposed extension of the Gantt chart is a first approximation of issue solving, and in the future, it requires clarification, addition and improvement of the mathematical apparatus. The model, which is based on the main provisions of the extended Gantt chart in three-dimensional space, can be used in special software or decision-making systems for combat missions planning and conducting.*

**Keywords:** *air defense, air defense system, synchronization table, Gantt chart, scheduling theory, special software.*

### **References**

1. R.W. Conway, W.L. Maxwell, L.W. Miller, "Theory of scheduling", Addison-Wesley, 1967, 294 p.
2. Informatsiini systemy i tekhnolohii v upravlinni proektamy. Chastyna 1. Planuvannia proektiv v MS Project: navchalnyi posibnyk. – K.: Universytet ekonomiky ta prava "KROK", 2011. – 167 p.
3. Posibnyk dlia pochatkivtsiv pro diahramu vikh// TechUkraine.net.Veb-sait. URL: <https://techukraine.net/posibnyk-dlia-pochatkivtsiv-pro-diahram/>.
4. Huges Thomas P. The Evolution of Large Technological Systems, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1987, 55 p.
5. De Carvalho, Marco & Back, Nelson. Triz Methodology and its Use in Systematic Engineering Design. URL: [https://www.researchgate.net/publication/304167241\\_triz\\_methodology\\_and\\_its\\_use\\_in\\_systematic\\_engienginee\\_design](https://www.researchgate.net/publication/304167241_triz_methodology_and_its_use_in_systematic_engienginee_design).



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

**УДК 351.814.12**

<sup>1</sup>Дуленко Дмитро Іванович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-3900-1612>

<sup>1</sup>Мильников Геннадій Васильович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-5245-2955>

<sup>1</sup>Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-00034707-9898>

<sup>2</sup>Голик Максим Віталійович

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

<sup>2</sup>Військова частина А 1356, Миргород, Україна

### МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНОГО АНАЛІЗУ

*Відомо, що аеродроми Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗС України) експлуатуються понад встановлені нормативними документами терміни. Зміни експлуатаційного стану жорстких покриттів аеродромів (ЖПА) є дуже гострою проблемою. Встановлено, що в результаті експлуатації аеродромів ПС ЗС України понад встановлених строків їх жорсткі покриття досягли граничних експлуатаційних станів та мають пошкодження, які впливають на безпеку польотів авіації. Основним фактором, який сприяє виникненню пошкоджень ЖПА вважається інтенсивний вплив літаків на покриття в результаті багатоциклічних динамічних навантажень.*

*В статті розкрито підхід щодо математичного моделювання зміни експлуатаційного стану жорстких аеродромних покриттів на основі кінцево-елементного аналізу.*

**Ключові слова:** аеродроми, жорсткі покриття аеродромів, напружено-деформований стан, кінцево-елементний аналіз.

#### Вступ

Одним із пріоритетних напрямків розвитку авіації Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗС України) є забезпечення безпеки експлуатації бойової авіаційної системи.

Бойову авіаційну систему (БАС), яка є об'єктом теорії безпеки польотів, складає сукупність структурно та функціонально зв'язаних елементів в інтересах вирішення бойових завдань авіацією ПС ЗС України шляхом виконання польотів без авіаційних подій. Всі ці елементи об'єднуються в рамках польотного завдання в три підсистеми - "людина", "бойова авіаційна техніка" та "зовнішнє середовище", які тісно взаємодіють між собою.

Аналіз вказує, що кількість інцидентів з бойовою авіаційною технікою (БАТ) ПС ЗС України значно зросла та у відсотковому відношенні за підсистемами БАС складає: "людина" - 12% від усіх інцидентів; "бойова авіаційна техніка" - 65% від усіх інцидентів; "зовнішнє середовище" - 23% від усіх інцидентів [1].

Встановлено, що кількість інцидентів з БАТ за підсистемами БАС "людина" та "бойова авіаційна техніка" зменшується. Це пов'язано із збільшенням

кількості годин нальоту льотного складу, модернізацією БАТ та підвищенням рівня професійної підготовки особового складу, який приймає участь у комплексі завдань щодо забезпечення польотів.

В той же час інциденти за підсистемою "зовнішнє середовище" мають негативну тенденцію щодо постійного зростання. Тобто збільшується кількість інцидентів з причини впливу факторів зовнішнього середовища. Особливо це стосується факторів зовнішнього середовища штучного походження, зокрема, стану аеродромної мережі ПС ЗС України.

Встановлено, що однією з найважливіших проблем є попадання у двигуни БАТ елементів конструкцій жорстких аеродромних покриттів (ЖАП) з аеродромів військового призначення. При зіткненні таких предметів із лопатками компресорів авіаційних двигунів утворюються забоїни, які погіршують їх тактико-технічні характеристики, а також характеристики міцності елементів конструкцій. Це призводить до виходу двигуна з ладу, подальшого його ремонту, або дострокового зняття з експлуатації та у цілому знижує безпеку експлуатації бойової авіаційної

техніки і взагалі бойової авіаційної системи. Тільки в період 2019...2022 років з причин попадання в авіаційні двигуни БАТ елементів ЖАП аеродромів військового призначення достроково знято 70 двигунів, вартість ремонту яких склала 289 млн грн.

Зараз аеродромна мережа ПС ЗС України налічує 26 аеродромів військового призначення, 21 з них з жорстким покриттям. При цьому 90% аеродромів з жорстким покриттям були побудовані більше 60 років тому та експлуатуються понад граничні терміни експлуатації без проведення капітальних ремонтів.

Брак фінансування призвів до того, що ремонт елементів аеродромів військового призначення, в тому числі і ЖАП штучних злітно-посадкових смуг (ШЗПС) зводиться тільки до проведення поточних ремонтів. Разом з тим в теперішніх умовах це єдина можливість, яка дозволяє підтримувати ЖАП аеродромів військового призначення в експлуатаційному стані та забезпечувати безпеку експлуатації БАС.

Відомі у практиці методики забезпечення безпеки експлуатації БАС, які базуються на основі оцінки експлуатаційного стану ЖАП, дають можливість провести оцінку стану покриття тільки в момент моніторингу та не дозволяють спрогнозувати зміну його експлуатаційного стану в часі. При цьому не враховується напружено-деформований стан ЖАП при впливі експлуатаційних навантажень та умов зовнішнього середовища, в якому воно експлуатується.

Таким чином актуальність полягає в необхідності розробки методики, яка дозволить спрогнозувати зміну експлуатаційного стану ЖАП в процесі його експлуатації, надасть можливість передбачати момент його руйнування та ризик виникнення інцидентів з БАТ в залежності від експлуатаційного стану ЖАП та в цілому забезпечити безпеку експлуатації БАС.

### Матеріали та методи

Для прогнозування зміни експлуатаційного стану ЖАП в процесі його експлуатації проведено математичне моделювання – обґрунтовано процес формування моделі ЖАП, отримання інформації про процес, який протікає в об'єкті, та отримання інформації, яку можна використовувати для дослідження об'єкту, що моделюється [2, 3]. Використано методику математичного моделювання прогнозування експлуатаційного стану ЖАП, яка базується на багатофакторному плануванні експериментальних досліджень і математичній обробці статистичних даних.

Удосконалено методики оцінки властивостей ЖАП за міцністю та тріщиностійкістю, які характеризуються напруженням  $\sigma_{pt}$  (МПа) та шириною розкриття тріщини  $a_{arc}$  (мм), що виникають в покритті в результаті спільного впливу на покриття експлуатаційних параметрів БАТ та умов зовнішнього середовища.

Аналіз експлуатації БАТ показує, що при здійсненні багатоциклових посадкових операцій, в момент дотику пневматика ЖАП перевантаження

літака  $n_p$  сягає від 1,1 до 2,5 g. Це сприяє зміні в покритті аеродрому напружень  $\sigma_{pt}$  (МПа), які різко збільшуються та зменшуються, що веде до розвитку тріщин в покритті  $a_{arc}$  (мм) та його подальшого руйнування. Тому удосконалені методики визначення напруження в ЖАП  $\sigma_{pt}$  (МПа) та ширини розкриття тріщини  $a_{arc}$  (мм), на відміну від існуючих, додатково враховують: багатоцикловий динамічний вплив БАТ з урахуванням її перевантаження при посадці, зміну температури зовнішнього середовища. Таким чином, удосконалені методики визначення напруження в ЖАП  $\sigma_{pt}$  (МПа) та ширини розкриття тріщини  $a_{arc}$  (мм) представлені формулами (1, 2):

$$\sigma_{pt} = \frac{Q_p k_u k_d k_f \gamma_f 60 k_{умв} k_{умт} (0,0592 - 0,09284 \cdot \ln(\frac{R}{l_{np}}))}{h^2 k_t} \quad (1)$$

де  $Q_p$  – розрахункове навантаження від літака (Н) з урахуванням перевантаження бойової авіаційної техніки при посадці  $n_p$ ;  $k_u$  – коефіцієнт, що враховує число прикладених навантажень (кількість посадок);  $k$  – перехідний коефіцієнт від згинального моменту при центральному навантаженні до моменту при крайовому навантаженні;  $k_d$  – коефіцієнт динамічності;  $\gamma_f$  – коефіцієнт розвантаження;  $k_{умв}$  – коефіцієнт, що враховує умови роботи;  $k_{умт}$  – коефіцієнт, що враховує вплив штирових з'єднань на умови контакту плит з основою;  $R$  – радіус кола рівновеликого площі відбитка колеса (м);  $l_{np}$  – пружна характеристика плити (м);  $h$  – товщина плити (м);  $k_t$  – коефіцієнт, що враховує вплив температурної деформації аеродромних плит.

$$a_{arc} = 1000 \frac{m_d}{E_s} \frac{A_s (h_0 \frac{x}{3})}{E_s} \cdot k_c \frac{d E_s}{4 E_b} \eta_1, \quad (2)$$

де  $m_d$  – розрахункове значення згинального моменту на одиницю перерізу жорсткого покриття;  $A_s$  – площа перерізу розтягнутої арматури на одиницю ширини перерізу плити;

$h_0$  – робоча висота перерізу (відстань від стиснутої грані перерізу до центру тяжіння розтягнутої арматури);

$x$  – висота стиснутої зони бетону в перерізі;

$E_s$  – модуль пружності арматури;

$E_b$  – модуль пружності бетону;

$\eta_1$  – коефіцієнт для стержневої арматури.

Для оцінки напружено-деформованого стану ЖАП використовувався метод кінцево-елементного аналізу, який є потужним чисельним методом вирішення різноманітних інженерних задач та має вирішальне місце в прогнозуванні експлуатаційного стану покриття при дії експлуатаційних факторів та факторів зовнішнього середовища [4-9]. Для розрахунку

використовувався програмний продукт MSC VISUAL NASTRAN for WINDOWS 2003, який має спільну розрахункову базу на основі методу

кінцевих елементів і є однією з програм кінцево-елементного аналізу.

При оцінці ризику виникнення інциденту з БАТ в залежності від експлуатаційного стану жорсткого аеродромного покриття, крім терміну експлуатації ЖАП  $t$  (кількість років експлуатації ЖАП), важливим є число впливів експлуатаційних навантажень  $n_{\text{бам}}$  (кількість посадкових операцій БАТ), що в майбутньому викликають руйнування ЖАП за даний період часу.

При інтенсивній експлуатації ЖАП може настати такий момент, при якому експлуатаційний стан ЖАП  $P_e$  досягає значення, яке менше мінімально допустимого значення  $P_e^{\text{min}}$  ( $P_e < P_e^{\text{min}}$ ), тобто є дефектні ділянки покриття, що мають пошкодження із значеннями, які неприпустимі з умов забезпечення безпеки експлуатації БАТ. Експлуатаційний стан визначає інтервал часу роботи ЖАП  $t_{\text{експл}}$  при наявності окремих пошкоджень допустимого ризику, сумарна кількість яких може бути на покритті з умов забезпечення безпеки експлуатації БАТ, та встановлюється допустимим рівнем  $P_e^{\text{min}}$ :

$$t_{\text{експл}} = \frac{n_{\text{бам}}^{\text{дон}} P_e^{\text{min}}}{g}, \quad (3)$$

де  $t_{\text{експл}}$  – термін експлуатаційного стану ЖАП;

$n_{\text{бам}}^{\text{дон}}$  – допустима кількість впливів БАТ при ( $P_e^{\text{min}}$ );

$g$  – інтенсивність впливів БАТ.

Таким чином, якщо відома інтенсивність впливів БАТ  $g$  на ЖАП та при визначенні допустимої кількості впливів  $n_{\text{бам}}^{\text{дон}}$  за період експлуатації ЖАП, виходячи із заданого рівня ( $P_e^{\text{min}}$ ), можна визначити експлуатаційний стан покриття при відомій величині  $r_{\text{дон}}$  та спрогнозувати ризик виникнення інциденту з БАТ в залежності від експлуатаційного стану ЖАП при відомій величині  $g$ .

### Результати

В якості критеріїв оцінки процесу зміни експлуатаційного стану ЖАП вибрано: міцність ЖАП, що характеризується інтенсивністю зміни напружень  $\sigma_{\text{рт}}$  (МПа) та тріщиностійкість, яка характеризується шириною розкриття тріщини  $\alpha_{\text{арс}}$  (мм) в ЖАП під впливом багаточислових навантажень БАТ та зміною умов зовнішнього середовища. Встановлено, що серед великої кількості факторів, що впливають на експлуатаційний стан ЖАП, можна виділити: посадкову масу БАТ, перевантаження БАТ при посадці, кількість посадок, температуру зовнішнього середовища, глибину промерзання ґрунту, ширину колії шасі БАТ, посадкову швидкість БАТ, тип ЖАП, довжину та довжину ШЗПС аеродрому. Найбільший вплив на експлуатаційний стан ЖАП здійснюють такі фактори, як: посадкова маса БАТ, перевантаження БАТ при посадці, кількість посадок БАТ, температура зовнішнього середовища (табл. 1).

Таблиця 1

Фактори та рівні їх варіювання

№ з/п	Фактори	Позначення	Рівні варіювання
1.	Посадкова маса БАТ (кг)	$X_1$	12900...28000
2.	Перевантаження БАТ при посадці	$X_2$	1,1...2,2
3.	Кількість посадок БАТ	$X_3$	432...5184
4.	Температура зовнішнього середовища (°C)	$X_4$	-20...50

План експерименту для 16 варіантів дослідження зміни властивостей ЖАП було згенеровано на основі ЛПГ – чисел. Розрахунок значень критеріїв оцінки процесу зміни експлуатаційного стану ЖАП  $\sigma_{\text{рт}}$  (МПа) та  $\alpha_{\text{арс}}$  (мм) проводився за виразами (1, 2). В результаті проведених досліджень відповідно до плану експерименту отримано значення критеріїв оцінки процесу зміни експлуатаційного стану жорсткого аеродромного покриття, а саме міцності  $\sigma_{\text{рт}}$  ( $Y_1$ ) та тріщиностійкості  $\alpha_{\text{арс}}$  ( $Y_2$ ).

Показано, що у залежності від зміни експлуатаційних параметрів бойової авіаційної техніки та умов зовнішнього середовища значення критеріїв оцінки експлуатаційного стану жорсткого аеродромного покриття змінюються в залежності від впливу комплексу факторів ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) за кожним експериментом (табл. 4). Причому, характерною рисою є те, що при збільшенні одного з факторів впливу на експлуатаційний стан ЖАП не обов'язково збільшуються критерії оцінки стану ЖАП  $\sigma_{\text{рт}}$  (МПа) або  $\alpha_{\text{арс}}$  (мм). Це говорить про те, що тільки комплексний вплив обраних факторів на експлуатаційний стан жорсткого аеродромного покриття призводить до зміни його властивостей. Регресійний аналіз результатів експерименту й розрахунок моделей проводився із використанням ППП "ПРІАМ". За результатами регресійно-статистичного аналізу отримані математичні моделі (4, 5), що описують залежність міцності  $\sigma_{\text{рт}}$  ( $Y_1$ ) та тріщиностійкості  $\alpha_{\text{арс}}$  ( $Y_2$ ) ЖАП від керованих факторів. Проведено аналіз якості отриманих моделей.

$$Y_1 = 3,84 - 1,054x_4^2 - 0,642x_1x_2 - 0,672x_1^2x_3^2, \quad (4)$$

$$Y_2 = 0,452 + 0,07x_2^2x_3^2 + 0,075x_4^2 - 0,054x_1^2 + 0,023x_3 - 0,035x_1^2x_2^2 - 0,047x_3x_4^2 + 0,035x_2x_4. \quad (5)$$

де  $Y_1$  – математична модель для зміни величини напруження  $\sigma_{\text{рт}}$  (МПа) в ЖАП в кодованих значеннях;

$Y_2$  – математична модель для ширини розкриття тріщини  $\alpha_{\text{арс}}$  (мм) в ЖАП в кодованих значеннях.

Формули переходу від кодованих значень до натуральних:

$$x_1 = 0,00107117(X_1 - 19941,4);$$

$$x_1^2 = 1,645(X_1^2 - 0,0193286X_1 - 0,372767);$$

$$x_2 = 2,22222(X_2 - 1,65);$$

$$x_2^2 = 1,45292(X_2^2 + 0,0833334X_2 - 0,395062);$$

$$x_3 = 0,000474651(X_3 - 2780,19);$$

$$x_3^2 = 1,57622(X_3^2 - 0,0379294X_3 - 0,35039);$$

$$x_4 = 0,0310078(X_4 - 13,75);$$

$$x_4^2 = 1,73014(X_4^2 - 0,0736548X_4 - 0,348356).$$

де  $X_1, X_2, X_3, X_4$  – керовані фактори.

Для визначених факторів проведено графічне дослідження їх впливу на критерії оцінки, які характеризують міцність та тріщиностійкість ЖАП. Воно виконувалося шляхом побудови сімейства графіків частинних рівнянь регресії. Графіки функції відгуку  $Y_1$  та  $Y_2$ , які побудовані на основі частинних рівнянь регресії в ППП “ПРІАМ”, наведено на рисунку 1.

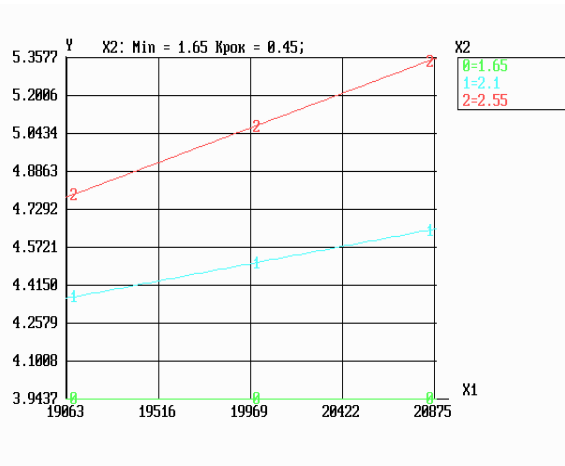


Рисунок 1. Графік частинних рівнянь регресії  $Y_1 = f(X_1, X_2)$ .

За допомогою побудови відповідних геометричних поверхонь одержано наочне уявлення про графічний образ функції відгуку (рис. 2). Візуальний аналіз графіків дозволив провести детальний аналіз впливу факторів на значення функції відгуку та визначити ті значення факторів, які протягом всього часу впливу мають найбільший ефект.

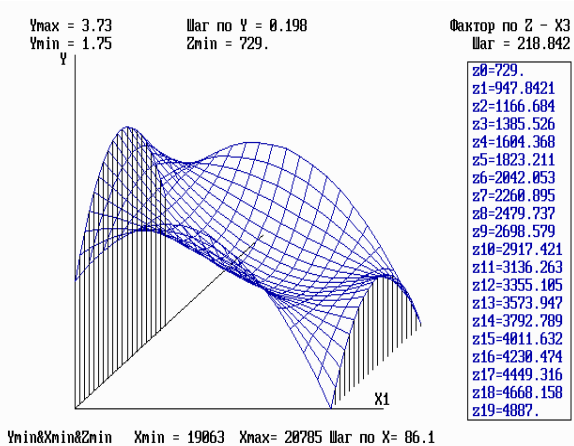


Рисунок 2. Графік дослідження поверхні відгуку  $Y_1 = f(X_1, X_3)$

Аналіз напружено-деформованого стану (НДС) ЖАП проводився з використанням ліцензійного скінченно-елементного комплексу MSC VISUAL NASTRAN for WINDOWS 2003. Оскільки ЖАП аеродрому працює в важких температурно-силових умовах навантаження, то розглядалися задачі з визначення НДС покриття від дії нерівномірного силового навантаження, а також комбінована задача по визначенню НДС покриття з урахуванням температурної та силової складових навантаження. В якості початкових даних вносилися фізико-механічні властивості жорсткого (залізобетонного) збірного покриття аеродрому з плит типу ПАГ-18. Для розрахунку та аналізу НДС ЖАП з плит типу ПАГ-18 аеродрому військового призначення Краматорськ приймалася максимальна посадкова маса літака Су – 24 М, яка дорівнює 28000 кг (280000 Н).

Аналіз проведених експериментальних досліджень показує, що розбіжність результатів не перевищує 10%. Це дає змогу стверджувати про достовірність проведених розрахунків. Проведені розрахунки дозволяють побудувати графік зміни величини напруження  $\sigma_{pt}$  (МПа) в ЖАП на ділянці точного приземлення літака довжиною 400 м в залежності від розрахункової посадкової маси БАТ (Су – 24 М) в момент дотику шасі літака ШЗПС (рис. 3).



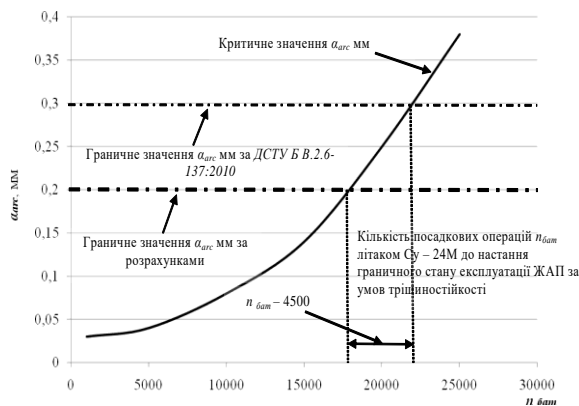
Рисунок 3. Значення напруження у ЖАП в момент дотику Су – 24 М

На рисунку 3 наведено: допустиме напруження  $\sigma_{pt}$  (МПа) в плиті ПАГ - 18, яке складає 0,15 МПа в момент стискання при проектуванні навантаженням 150 кН (ДСТУ Б В.2.6-137:2010); граничне значення величини напруження  $\sigma_{pt}$  (МПа) в плиті у процесі експлуатації ЖАП з ПАГ-18 (ДСТУ Б В.2.6-137:2010); критичне значення величини напруження  $\sigma_{pt}$  (МПа) у ЖАП в момент дотику шасі літака Су – 24 М ШЗПС.

### Обговорення

Моделювання посадки літака Су – 24 М з розрахунковою максимальною посадковою масою 28000 кг та максимальним перевантаженням 2,2 g на ділянці точного приземлення літака довжиною 400 м показує, що момент дотику шасі БАТ відбувається на ділянці 170 м. Дотик шасі БАТ викликає напруження в плиті ПАГ-18 ЖАП  $\sigma_{pt}$ , яке

різко зростає від 4,5 до 8 МПа та зменшується під час подальшого пробігу. В процесі експлуатації ЖАП різка зміна напружень  $\sigma_{pt}$  до критичних значень буде створювати передумови до розвитку тріщини в покритті  $a_{arc}$  (мм), яка в свою чергу, призведе до руйнування покриття аеродрому (рис. 4).



**Рисунок 4.** Значення ширини розкриття тріщини  $a_{arc}$ (мм) в залежності від кількості посадкових операцій Су – 24 М

На рисунку 4 видно, що при інтенсивній експлуатації ЖАП аеродрому м. Краматорськ тільки одним типом БАТ – Су – 24 М, свого граничного експлуатаційного стану покриття досягне за 18000 посадкових операцій, або 4,5 роки експлуатації аеродрому. Ширина розкриття тріщини  $a_{arc}$  (мм) складе 0,2. Вже за 4500 посадкових операцій, або ще 1 рік експлуатації ЖАП досягне свого граничного стану, яке буде дорівнювати за умови тріщиноустійкості  $a_{arc}$  (мм) 0,3. Загальний термін експлуатації ЖАП за умов тріщиноустійкості складає 10...15 років (ДСТУ Б В.2.6-137:2010). Тобто, ЖАП свого граничного стану за розрахунками досягає за 5...6 років. Подальша експлуатація аеродрому військового призначення з умов забезпечення безпеки експлуатації БАТ неможлива.

Таким чином, саме в цей період необхідно проводити відповідний вид ремонту жорсткого аеродромного покриття.

### Висновки

Розроблено методику оцінки напружено-деформованого стану жорстких аеродромних

покриттів на основі кінцево-елементного аналізу, яка на відміну від існуючих, враховує вплив експлуатаційних параметрів бойової авіаційної техніки та умов зовнішнього середовища на експлуатаційний стан покриття. Це дає можливість: визначити час початку руйнування жорсткого аеродромного покриття в процесі інтенсивної експлуатації аеродрому; визначити кількість здійснення посадкових операцій бойової авіаційної техніки до початку руйнування покриття; зменшити ризик виникнення інциденту з бойовою авіаційною технікою на 10%.

Напрямок подальших досліджень може бути розробка системи управління безпекою експлуатації бойової авіаційної системи на основі ризику виникнення інцидентів з бойовою авіаційною технікою.

### Список використаних джерел

1. Дуленко Д.І. Аналіз стану безпеки польотів бойової авіаційної техніки повітряних сил збройних сил України / Дуленко Д.І., Мірненко В.І., Гончаренко Є.В. // Збірник наукових праць “Труди університету” – №6(145) – К.: НУОУ, 2017. - С. 171-176. Тасмно. Інв. №. 48028 у НУОУ.
2. Радченко С.Г., Лапач С.Н. Методология создания новой техники и технологий // Технологические системы. – 2003. – №1. – С. 41–44.
3. Ляшенко Б.А., Мирненко В.И., Соловых Е.К., Рутковский А.В., Черновол М.И. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости. // Под ред. В.В. Харченко/ Киев: Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины, 2010. – 193 с.
4. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Металлургия, 1969. – 158 с.
5. Радченко С.Г. Математичне моделювання та оптимізація технологічних систем: Навчальний посібник. – К.: ІВЦ “Політехніка”, 2001. – 88 с.
6. Бабак В. П., Щепетов В.В., Мірненко В.І., Недайборц С. Д. Математичне моделювання формування детонаційних покриттів // Технологические системы. – 2016. – №2(75). – С. 82-88.
7. Каталог. Программные продукты Украины. Планирование, регрессия и анализ модели ПРИАМ / НТУ КПИ; Под ред. С.Н. Лапач, С.Г. Радченко, П.Н. Бабич. – К.: СП «Текпор», 1993. – С. 24–27.
8. Иванов Г.А., Турбан А.Ф. Статистические методы восстановления истинной зависимости по экспериментальным данным. – К.: Знание, 1986. – 22 с.
9. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 111 с.

## MATHEMATICAL SIMULATION OF CHANGES IN THE OPERATIONAL CONDITION OF HARD AIRFIELD SURFACES BASED ON FINITE ELEMENT ANALYSIS

<sup>1</sup>**Dmytro Dulenko** (Candidate of Technical Sciences, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3900-1612>

<sup>1</sup>**Gennadiy Mylnikov** (Candidate of Technical Sciences, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0001-5245-2955>

<sup>1</sup>**Yuriy Koskov**

<https://orcid.org/0000-00034707-9898>

<sup>2</sup>**Maksym Golyk**

<sup>1</sup>*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Military unit A 1356, Myrhorod, Ukraine*

*It is known that the airfields of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine (AF of the Armed Forces of Ukraine) are currently being operated beyond the time limits established by regulatory documents. Changes in the operating condition of hard surfaces and airfields (RPA) are a very acute problem. It was established that as a result of the operation of the airfields of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine beyond the periods established by the regulatory documents, their hard surfaces have reached the limit of operational conditions and have damage that affects the safety of aviation flights. The article describes an approach to mathematical modeling of changes in the operational state of rigid airfield coatings based on finite element analysis.*

**Keywords:** *airfields, hard coverings of airfields, stress-strain state, method of finite element analysis.*

### References

1. Dulenko D.I. Analysis of the state of flight safety of combat aviation equipment of the air forces of the armed forces of Ukraine / D.I. Dulenko, V.I. Mirnenko, E.V. Honcharenko. // Collection of scientific works "Works of the University" - No. 6(145) - K.: NUOU, 2017. - P. 171-176. Secretly. Inv. No. 48028 in NUOU.
2. Radchenko S.G., Lapach S.N. Methodology of creation of new technology and technologies // Technological systems. – 2003. – No. 1. – pp. 41–44.
3. Lyashenko B.A., Myrnenko V.I., Solovych E.K., Rutkovsky A.V., Chernovol M.I. Optimization of coating application technology according to durability and wear resistance criteria. // Ed. V.V. Kharchenko/ Kyiv: Institute of Strength Problems named after H.S. Pisarenko of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2010. – 193 p.
4. Adler Y.P. Introduction to experiment planning. - M.: Metallurgy, 1969. - 158 p.
5. Radchenko S.G. Mathematical modeling and optimization of technological systems: Study guide. - K.: Polytechnic Polytechnic Institute, 2001. - 88 p.
6. Babak V.P., Shchepetov V.V., Mirnenko V.I., Nedaiborshch S.D. Mathematical modeling of the formation of detonation coatings // Technological systems. – 2016. – No. 2(75). - P. 82-88.
7. Catalogue. Software products of Ukraine. Planning, regression and analysis of the PRIAM / NTU KPI model; Ed. S.N. Lapach, S.G. Radchenko, P.N. Babich - K.: SP "Tekpor", 1993. - P. 24–27.
8. Ivanov G.A., Turban A.F. Statistical methods of restoring the true dependence from experimental data. - K.: Znanie, 1986. - 22 p.
9. Sobol I.M., Statnikov R.B. Selection of optimal parameters in problems with many criteria. - M.: Nauka, 1981. - 111 p.

<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>Іванов Василь Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Кобзєв Владислав Володимирович (кандидат технічних наук, старший дослідник)

<https://orcid.org/0000-0002-0954-8887>

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

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

## ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИЧНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК

*Метою статті є удосконалення інформаційного забезпечення перспективної автоматизованої системи управління логістичним забезпеченням шляхом математичного моделювання прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ від впливу ударної, осколкової та фугасної дії засобів прицільного та площинного ураження на зразок озброєння та військової техніки під час ведення бойових дій. Запропонована математична модель прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ враховує розподіл на групи всієї сукупності засобів ураження за наслідками, які виникають при влученні одного засобу прицільного ураження конкретного типу та призначена для проведення розрахунків очікуваних пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ внаслідок застосування противником усього спектру засобів ураження.*

**Ключові слова:** автоматизована система управління, логістичне забезпечення, засоби ураження, ступені пошкоджень, ударна, фугасна, осколкова дія засобів ураження, зенітний ракетний комплекс.

### Вступ

Досвід сучасних локальних війн і збройних конфліктів свідчить про значне зростання обсягів застосування автоматизованих систем управління (АСУ) військами та зброєю для досягнення кінцевої мети, а інформаційне забезпечення військових конфліктів стало найбільш динамічним і значущим чинником, який змінює форми, способи і принципи бойового застосування військ (сил), підходи до оцінювання ситуацій і ухвалення рішень, що дозволяє скоротити цикл управління військами і підвищити ефективність їх застосування при використанні перспективних методів обробки даних під час планування та організації логістичного забезпечення (ЛЗ) військ (сил) [1].

Під час ведення бойових дій озброєння та військова техніка (ОВТ) зенітних ракетних військ (ЗРВ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил (ЗС) України може одержувати пошкодження різного ступеню внаслідок застосування противником широкого спектру засобів ураження різного типу (протирадіолокаційних ракет, керованих і некерованих реактивних снарядів та авіабомб,

безпілотних літальних апаратів, крилатих ракет тощо) як по позиціях зенітних ракетних комплексів, так і по об'єктах, що прикриваються.

Вплив засобу ураження на зразок ОВТ ЗРВ буде визначатись способом його бойового застосування, конструкцією засобу ураження, характеристиками, які визначають руйнівну дію, та, в залежності від можливостей і термінів відновлення ОВТ силами і засобами ремонтно-відновлювальних органів, призводить до різних ступенів пошкоджень ОВТ. За характером руйнівної дії на ОВТ ЗРВ вплив існуючих і перспективних засобів ураження можна розподілити на ударну, фугасну та осколкову дії, інші види впливу за характером руйнівної дії (наприклад кумулятивна) можуть бути зведені до трьох зазначених [2].

При цьому виникає необхідність вирішення задач планування ЛЗ на підставі отриманих результатів оцінки та прогнозування технічних показників експлуатаційних властивостей виробів зенітних ракетних комплексів власного виробництва та отриманих у якості військово-технічної допомоги, яка вимагає використання інтелектуальних методів обробки даних та

вирішення задач прогнозування [3]. Крім того, для реалізації заходів ЛЗ в сучасних умовах ведення збройної боротьби особливого значення набуває своєчасне отримання коректних прогнозів щодо технічного стану зразків ОВТ.

Для вирішення даного завдання, на думку авторів, необхідно більш детальну увагу звернути на математичне моделювання прогнозування пошкоджень ОВТ ЗРВ під час ведення бойових дій (БД).

### **Матеріали та методи**

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питань відновлення ОВТ присвячена значна кількість робіт, які в тому числі розглядають складові впливу на загальну ефективність відновлення ОВТ родів військ ЗС України. Так, в роботі [4] запропоновано проведення оцінювання можливостей виконання заходів з відновлення ОВТ за участю виїзних груп з їх ремонту за допомогою одноканалної системи масового обслуговування з очікуванням шляхом врахування випадкового характеру виникнення відмов ОВТ, часу знаходження у відповідному ремонтно-відновлювальному органі (РВО) та часу відновлення пошкоджених зразків ОВТ.

Авторами [5] запропонована методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення, яка полягає у отриманні відомості про надійність відновлення ОВТ за номенклатурою у кожній ланці структури системи відновлення, кількості відновлених зразків ОВТ на кожному рівні ієрархії, кількості неохоплених ремонтно-відновлювальними роботами зразків ОВТ у кожній ланці, кількості працездатних зразків ОВТ на кожну добу ведення БД та дозволяє варіювати кількістю ремонтних бригад та їх розподілом за ланками структури.

У роботі [6] запропоновано метод моделювання, який базується на побудові і дослідженні математичної моделі системи забезпечення боєздатності парку ОВТ угруповання військ. Математична модель розроблена з урахуванням усієї можливої сукупності зовнішніх чинників, які впливають на систему, що характерні для умов воєнного часу, а саме чинників, що обумовлюють завдання пошкоджень зразкам ОВТ і різке зростання потреб у елементах комплектів запасних частин, інструментів та приладдя (ЗІП).

У роботі [7] наведена удосконалена методика оцінювання системи відновлення ОВТ окремої механізованої бригади, яка, на відміну від існуючої, враховує миттєву ймовірність та інтенсивність виявлення пошкоджених зразків ОВТ під час виконання завдань з технічної розвідки ОВТ. Зазначена методика також дозволяє визначити виробничі можливості ремонтно-відновлювальних підрозділів з проведення ремонтних робіт на зразках ОВТ з урахуванням середньодобових безповоротних та санітарних втрат особового складу, які можуть виникнути під час ведення БД окремою механізованою бригадою.

У роботі [8] визначені основні положення

методики оцінювання можливостей відновлення ОВТ ПС ЗС України, пошкоджених під час ведення БД, яка призначена для використання органами ЛЗ ПС ЗС України при проведенні оперативно-тактичних та логістичних розрахунків на етапах завчасного, безпосереднього планування та ведення бойових дій.

Окремо питанням впливу засобів ураження на зразок ОВТ ЗРВ присвячені праці [9 - 13]. В роботі [9] наведена методика визначення ймовірностей бойових пошкоджень зразків ОВТ ЗРВ в умовах використання противником ядерної та звичайної зброї. В даній методиці наведена аналітична модель процесу пошкодження зразків ОВТ ЗРВ боєприпасами повітряного противника, яка побудована з використанням координатного закону ураження зразка ОВТ, коли випадкові точки падіння боєприпасів задаються у відносних координатах і після підриву кожного з боєприпасів визначаються ймовірності можливих станів об'єктів. В даному випадку процес ураження вважається таким, що розвивається стрибкоподібно в послідовні моменти часу влучення боєприпасів в ціль, тобто так, як він природно і спостерігається.

Авторами роботи [10] запропонована методика визначення очікуваного складу пошкоджених комплектуючих деталей апаратури та обладнання радіолокаційних засобів від дії авіаційних бомб та керованих ракет осколково-фугасного типу. В основі методики покладено імітаційну модель процесу нанесення бойових пошкоджень апаратурі зразка ОВТ ЗРВ. При цьому оцінка ймовірності бойового пошкодження складових частин зразка ОВТ в [10] не проводиться.

Проведений аналіз показує, що пошкодження прогноуються окремо від задач їх подальшого усунення, зразок ОВТ ЗРВ розглядається як цілісний об'єкт з деякою опосередкованою вразливістю, в якості засобів ураження, як правило, розглядаються авіаційні засоби ураження.

У роботах [14-16] проведено обґрунтування підходу щодо прогнозування очікуваних пошкоджень ОВТ від впливу ударної дії засобів ураження, розглянуті питання удосконалення інформаційного забезпечення перспективної автоматизованої системи управління (АСУ) ЛЗ шляхом формування процедури прогнозування очікуваних пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ безпосередньо від впливу осколкової та фугасної дії засобу ураження.

У [17] наведені основні положення методики обґрунтування складу та кількості бригад поточного ремонту радіоелектронних засобів парку зенітних ракетних комплексів угруповання ЗРВ, при яких забезпечуються необхідні показники якості поточного ремонту та мінімум витрат на формування та функціонування системи поточного ремонту при освоєнні та подальшій їх експлуатації за технічним станом.

Отже, для впровадження процедури прогнозування пошкоджень ОВТ в перспективну АСУ ЛЗ необхідно врахувати весь спектр дії засобів ураження на зразок ОВТ, а також



трудовитрати на відновлення зразка ОВТ, пошкодженого під час ведення бойових дій. Таким чином, виникає актуальне питання прогнозування пошкоджень ОВТ від впливу засобів ураження та формалізація опису цієї процедури у перспективній АСУ ЛЗ.

Тому метою статті є формування шляхів удосконалення інформаційного забезпечення перспективної автоматизованої системи управління логістичним забезпеченням шляхом математичного моделювання прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ від впливу ударної, осколкової та фугасної дії засобів прицільного та площинного ураження на зразок озброєння та військової техніки під час ведення бойових дій.

### Результати

Забезпечення визначеного рівня бойової готовності ЗРВ ПС ЗС України в умовах сьогодення в значній мірі залежить від виконання заходів та процедур прогнозування, якісного та повного оцінювання стану ОВТ ЗРВ, що отримали пошкодження під час ведення бойових дій.

Для удосконалення перспективної АСУ ЛЗ в ході рішення задачі прогнозування стану пошкодженого ОВТ ЗРВ при проведенні оперативних та тактичних розрахунків на етапах завчасного, безпосереднього планування та ведення бойових дій органами логістичного забезпечення ПС ЗС України доцільно мати відповідне математичне та програмне забезпечення, які дозволять проводити розрахунки очікуваних пошкоджень зразків ОВТ внаслідок застосування противником засобів ураження, а також уточнювати (порівнювати) результати прогнозування втрат (ступенів пошкоджень) зразків ОВТ ЗРВ, отриманих за допомогою спеціального програмного забезпечення моделювання бойових дій (наприклад “Віраж-РД”, “Аргумент”).

В якості основних показників, які характеризують рівень пошкоджень ОВТ ЗРВ під час ведення бойових дій, з урахуванням підходів, наведених в [14-16], в математичній моделі прогнозування пошкоджень ОВТ ЗРВ запропоновано використовувати якісний показник, який визначає ступінь пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ та кількісний показник, який визначає середні очікувані трудовитрати на відновлення зразка ОВТ ЗРВ.

В математичній моделі прогнозування пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ доцільно представити в якості сукупності декількох структурних елементів, які мають суттєві розбіжності в способах отримання пошкоджень та відповідно відновлення, а саме: антенні пристрої; високочастотна апаратура; низькочастотна апаратура; базове шасі (засіб рухомості); зенітні керовані ракети.

Якісним показником оцінювання рівня пошкоджень структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ є ознака ступеню пошкоджень, яка приймає наступні значення: слабкі пошкодження; середні пошкодження; сильні пошкодження; повне

руйнування.

Блок-схема математичної моделі прогнозування пошкоджень ОВТ ЗРВ під час ведення бойових дій наведена на рисунку 1.

В блоці 1 математичної моделі прогнозування пошкоджень ОВТ ЗРВ здійснюється формування вихідних даних, необхідних для здійснення розрахунків: кількісного складу угруповання ЗРВ ( $N^{ОВТ}$ ); характеристики засобів ураження противника; кількість зразків ОВТ ЗРВ, по яким можуть бути застосовані засоби ураження ( $N_{ОВТ}^{УР}$ ).

В блоці 2 проводиться визначення кількості та типів засобів ураження, які будуть застосовані противником по кожному зразку ОВТ ЗРВ ( $k = (\overline{1}; \overline{K})$ ). Визначення проводиться експертним методом з урахуванням наявних засобів ураження противника та практики їх застосування у бойових діях.

В блоці 3 визначається склад структурних елементів зразка ОВТ ЗРВ, по якому застосовуються засоби ураження та величини приведенного радіусу кожного з цих структурних елементів з урахуванням виразів, наведених в [14-16].

При проведенні розрахунків для спрощення урахування взаємного орієнтування між структурними елементами засобів ОВТ ЗРВ та засобами ураження в момент їх підриву, а також точки підриву в просторі використовується приведений радіус площі ураження структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ. При цьому структурний елемент засобу ОВТ ЗРВ апроксимується як півсфера. Тому величина приведенного радіусу площі ураження структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ визначається за формулою:

$$R_n = \sqrt{\frac{S_{нов}}{2\pi}}, \quad (1)$$

де – площа поверхні структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ, яка розраховується, як сума площин зовнішніх поверхонь відповідного структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ.

В блоці 4 здійснюється розрахунок ймовірностей отримання пошкоджень кожним структурним елементом зразка ОВТ ЗРВ внаслідок ударної дії конкретного типу засобу ураження [16].

Ймовірність отримання пошкоджень структурним елементом засобу ОВТ ЗРВ від ударної дії засобів ураження визначається за формулами [16]:

$$P_{y\delta np}(K, R_n) = 1 - \sum_{i=0}^{k_{np}-1} \left[ C_{K,n,y\delta}^i P_{n,y\delta}(R_n, E)^i (1 - P_{n,y\delta}(R_n, E))^{K-i} \right], \quad (2)$$

$$P_{y\delta cn}(K, R_n) = 1 - \sum_{i=0}^{k_{cn}-1} \left[ C_{K,n,y\delta}^i P_{n,y\delta}(R_n, E)^i (1 - P_{n,y\delta}(R_n, E))^{K-i} \right], \quad (3)$$

$$P_{y\delta cepn}(K, R_n) = 1 - \sum_{i=0}^{k_{cepn}-1} \left[ C_{K,n,y\delta}^i P_{n,y\delta}(R_n, E)^i (1 - P_{n,y\delta}(R_n, E))^{K-i} \right], \quad (4)$$

$$P_{уд.сл}(K, R_n) = 1 - \sum_{i=0}^{k_{сл} - 1} C_K^i P_{n,уд}(R_n, E)^i (1 - P_{n,уд}(R_n, E))^{K-i}, \quad (5)$$

руйнування, сильних, середніх та слабких пошкоджень відповідно) від ударної дії засобів прицільного ураження конкретного типу;

де  $P_{уд.сл}(K, R_n)$ ,  $P_{уд.сн}(K, R_n)$ ,

$k_{нр}$ ,  $k_{сн}$ ,  $k_{сепн}$ ,  $k_{слн}$  – кількість засобів ураження, влучання яких призводить до отримання пошкоджень різних ступенів (повного руйнування, сильних, середніх та слабких пошкоджень відповідно);

$P_{уд.сепн}(K, R_n)$ ,  $P_{уд.слн}(K, R_n)$  – ймовірність отримання структурним елементом засобу ОВТ ЗРВ пошкоджень різних ступенів (повного

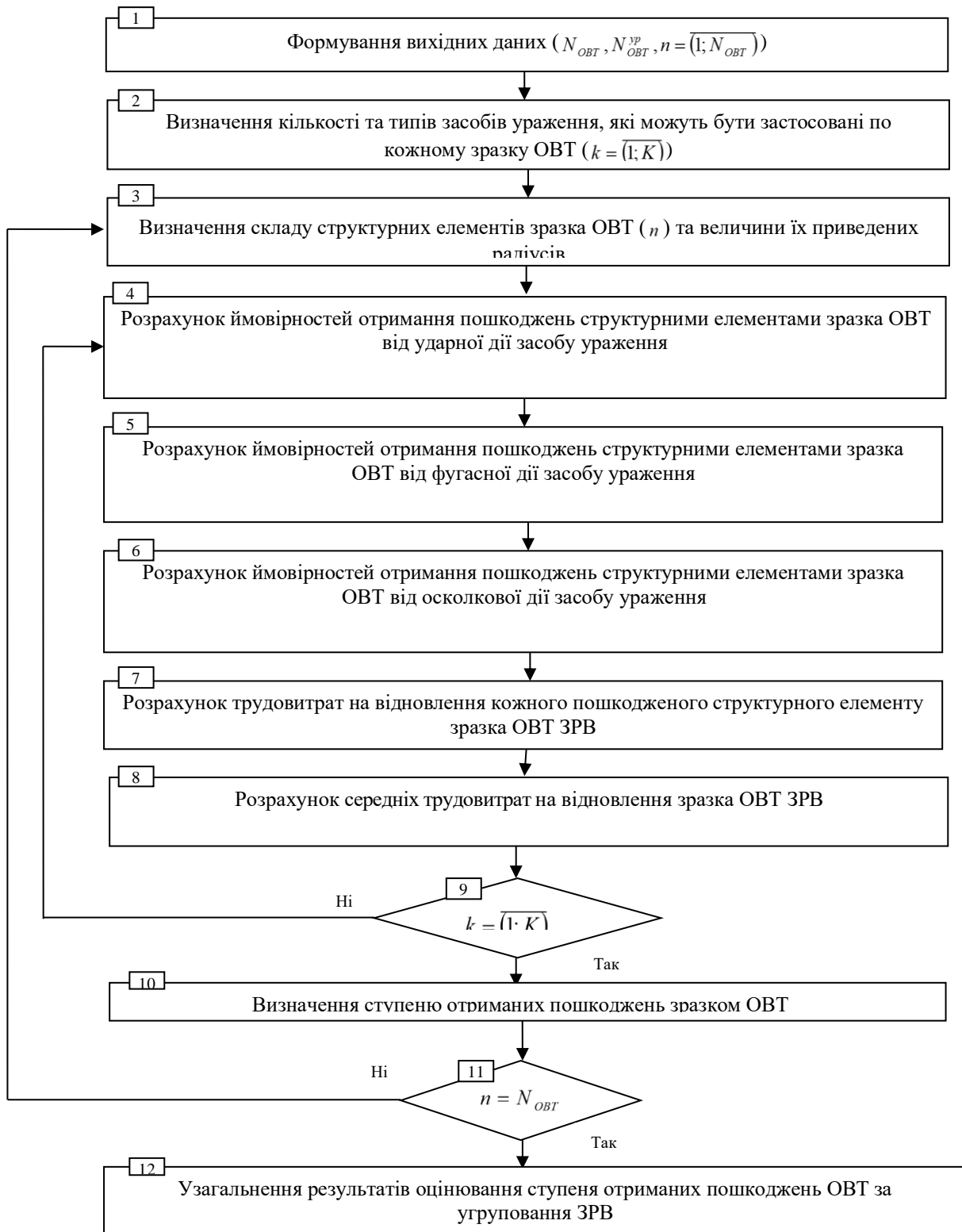


Рисунок 1. Блок-схема математичної моделі прогнозування пошкоджень ОВТ

$C_K^i$  – біноміальний коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$C_K^i = \frac{i!(K-i)!}{K!}. \quad (6)$$

В блоці 5 здійснюється розрахунок ймовірностей отримання пошкоджень кожним структурним елементом зразка ОВТ ЗРВ внаслідок фугасної дії конкретного типу засобів ураження [14].

Ймовірність отримання сильних пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від фугасної дії  $P_{\phi d.cn}(K, R_{\phi.cn})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [14]:

$$P_{\phi d.cn}(K, R_{\phi.cn}) = \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.np}}{E}\right)^2 K\right] - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.cn}}{E}\right)^2 K\right], \quad (7)$$

де  $R_{\phi.cn}$  – радіус зони сильних пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ ударною хвилею.

Ймовірність отримання середніх пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від фугасної дії  $P_{\phi d.cerp}(K, R_{\phi.cerp})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [14]:

$$P_{\phi d.cerp}(K, R_{\phi.cerp}) = \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.cn}}{E}\right)^2 K\right] - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.cerp}}{E}\right)^2 K\right], \quad (8)$$

де  $R_{\phi.cerp}$  – радіус зони середніх пошкоджень структурного елемента засобу ЗРК ударною хвилею.

Ймовірність отримання слабких пошкоджень структурного елемента засобу ЗРК від фугасної дії  $P_{\phi d.clm}(K, R_{\phi.clm})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [14]:

$$P_{\phi d.clm}(K, R_{\phi.clm}) = \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.cerp}}{E}\right)^2 K\right] - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{\phi.clm}}{E}\right)^2 K\right], \quad (9)$$

де  $R_{\phi.clm}$  – радіус зони слабких пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ ударною хвилею.

В блоці 6 здійснюється розрахунок ймовірностей отримання пошкоджень кожним структурним елементом зразка ОВТ ЗРВ внаслідок осколкової дії конкретного типу засобів ураження [15].

Ймовірність повного руйнування структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від осколкової дії  $P_{od.np}(K, R_{od.np})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [15]:

$$P_{od.np}(K, R_{od.np}) = \left[1 - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{od.np}}{E}\right)^2 K\right]\right] \cdot P_n(m_{np}), \quad (10)$$

де  $R_{od.np}$  – радіус зони повного руйнування структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ осколковою дією засобу ураження.

Ймовірність отримання сильних пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від осколкової дії  $P_{od.cn}(K, R_{od.cn})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [15]:

$$P_{od.cn}(K, R_{od.cn}) = \left[ \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{od.np}}{E}\right)^2 K\right] - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{od.cn}}{E}\right)^2 K\right] \right] \times [P_n(m_{np}) - P_n(m_{cn})], \quad (11)$$

де  $R_{od.cn}$  – радіус зони сильних пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ осколковою дією.

Ймовірність отримання середніх пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від осколкової дії  $P_{od.cerp}(K, R_{od.cerp})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою [15]:

$$P_{od.cerp}(K, R_{od.cerp}) = \left[ \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{od.cn}}{E}\right)^2 K\right] - \exp\left[-\rho^2\left(\frac{R_{od.cerp}}{E}\right)^2 K\right] \right] \times [P_n(m_{cn}) - P_n(m_{cerp})], \quad (12)$$

де  $R_{od.cerp}$  – радіус зони середніх пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ осколковою дією.

Ймовірність отримання слабких пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від осколкової дії  $P_{од.слл}(K, R_{од.слл})$  засобів ураження даного типу в кількості  $K$  визначається за формулою:

$$P_{од.слл}(K, R_{од.слл}) = \left[ \exp \left[ -\rho^2 \left( \frac{R_{од.слл}}{E} \right)^2 K \right] - \exp \left[ -\rho^2 \left( \frac{R_{од.слл}}{E} \right)^2 K \right] \right] \times [P_n(m_{слл}) - P_n(m_{слл})], \quad (13)$$

де  $R_{од.слл}$  – радіус зони слабких пошкоджень структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ осколковою дією [15].

В блоці 7 розраховуються трудовитрати на відновлення кожного пошкодженого структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ.

Трудовитрати на відновлення зразка ОВТ ЗРВ, пошкодженого під час ведення бойових дій, розраховується як сума очікуваних трудовитрат на відновлення його структурних елементів.

Очікувані трудовитрати на відновлення структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ розраховується як математичне сподівання з урахуванням середніх трудовитрат на усунення пошкоджень та ймовірностей отримання цих пошкоджень внаслідок ударної, фугасної та осколкової дій засобів ураження [14-16]. Величини середніх трудовитрат на усунення пошкоджень наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1**  
Середні трудовитрати на усунення пошкоджень (люд/год)

Умовне позначення	Ступінь пошкодження ОВТ ЗРВ	Тип структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ				
		Система 1	Система 2	Система 3	Система 4	Система 5
$Tr_{слл}$	слабкі пошкодження	600	90	100	60	80
$Tr_{серп}$	середні пошкодження	2100	330	350	200	300
$Tr_{слп}$	сильні пошкодження	3900	600	600	360	540

В блоці 8 розраховуються середні очікувані трудовитрати на відновлення  $Tr_{ij}$   $i$ -го структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ від впливу засобів ураження  $j$ -го типу за формулою:

$$Tr_{ij} = 2m_{р.і} P_{р.і} + m_{р.і} P_{р.і} + m_{р.і} P_{р.і} + m_{р.і} P_{р.і} + m_{р.і} P_{р.і}, \quad (14)$$

де  $P_{р.і}$ ,  $P_{р.і}$ ,  $P_{р.і}$ ,  $P_{р.і}$  – ймовірності отримання пошкоджень різного ступеню та для

$P_{...і}^{р.і}$  – ймовірності для засобів площинного ураження (повні руйнування, сильні, середні та слабкі пошкодження відповідно)  $i$ -го структурного елемента засобу ОВТ ЗРВ в результаті застосування  $j$ -го типу засобів ураження розраховуються за формулами:

$$P_{р.і} = \begin{cases} P_{уд.р.і} + P_{фд.р.і} + P_{од.р.і}, \\ P_{уд.р.і}^{р.і} + P_{фд.р.і}^{р.і} + P_{од.р.і}^{р.і}, \end{cases} \quad (15)$$

$$P_{р.і} = \begin{cases} P_{уд.р.і} + P_{фд.р.і} + P_{од.р.і}, \\ P_{уд.р.і}^{р.і} + P_{фд.р.і}^{р.і} + P_{од.р.і}^{р.і}, \end{cases} \quad (16)$$

$$P_{р.і} = \begin{cases} P_{уд.р.і} + P_{фд.р.і} + P_{од.р.і}, \\ P_{уд.р.і}^{р.і} + P_{фд.р.і}^{р.і} + P_{од.р.і}^{р.і}, \end{cases} \quad (17)$$

$$P_{р.і} = \begin{cases} P_{уд.р.і} + P_{фд.р.і} + P_{од.р.і}, \\ P_{уд.р.і}^{р.і} + P_{фд.р.і}^{р.і} + P_{од.р.і}^{р.і}, \end{cases} \quad (18)$$

Середні очікувані трудовитрати на відновлення зразка ОВТ ЗРВ розраховуються за формулою:

$$Tr = \sum_i \sum_j Tr_{ij}. \quad (19)$$

В блоці 9 здійснюється перевірка, чи дія усіх типів засобів ураження розглянута. У випадку негативного результату здійснюється перехід до блоку 4. У випадку позитивного результату здійснюється перехід до блоку 10.

В блоці 10 визначається ступінь отриманих пошкоджень зразком ОВТ ЗРВ, по якому застосовуються засоби ураження, шляхом порівняння розрахованої середніх очікуваних трудовитрат ( $Tr$ ) на відновлення зразка ОВТ ЗРВ з відповідними граничними значеннями.

За результатами порівняння середніх очікуваних трудовитрат на відновлення зразка ОВТ ЗРВ з граничними значеннями трудовитрат на відновлення приймається рішення про очікуваний рівень пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ, тобто ознака ступеню пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ приймає значення:

- а) слабкі пошкодження, якщо  $Tr \leq Tr_{слл.гп}$ ;
- б) середні пошкодження, якщо  $Tr_{слл.гп} < Tr \leq Tr_{серп.гп}$ ;
- в) сильні пошкодження, якщо  $Tr_{серп.гп} < Tr \leq Tr_{слп.гп}$ ;
- г) повне руйнування, якщо  $Tr > Tr_{слп.гп}$ .

Граничні значення трудовитрат на відновлення зразка ОВТ ЗРВ для кожного значення ознаки ступеню пошкоджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Граничні значення трудовитрат на відновлення (люд/год)

Умовне позначення	Ступінь пошкоджень ОВТ ЗРВ	Тип засобів ОВТ ЗРВ		
		Засіб 1	Засіб 2	Засіб 3
<i>Tr<sub>ст.гр</sub></i>	слабкі пошкодження	1800	500	1000
<i>Tr<sub>серп.гр</sub></i>	середні пошкодження	6500	2000	3000
<i>Tr<sub>сн.гр</sub></i>	сильні пошкодження	12000	4000	6000

В блоці 11 здійснюється перевірка чи всі зразки ОВТ ЗРВ розглянуті. У випадку негативного результату здійснюється перехід до блоку 3. У випадку позитивного результату здійснюється перехід до блоку 12.

В блоці 12 проводиться узагальнення ступенів отриманих пошкоджень зразками ОВТ за визначений комплект ЗРВ, по якому противником можуть бути застосовані засоби ураження.

### Обговорення

Основними особливостями наведеної математичної моделі є:

а) зразки ОВТ ЗРВ представляються як сукупність декількох структурних елементів, які мають суттєві розбіжності в способах отримання пошкоджень та відповідно відновлення. Ймовірності отримання пошкоджень різного ступеню та величини очікуваних середніх трудовитрат на відновлення розраховуються для кожного структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ окремо;

б) врахування впливу засобів як засобами прицільного, та площинного ураження (ударної, фугасної та осколкової дії) на зразки ОВТ ЗРВ;

в) врахування типу та характеристик захисних інженерних споруд для кожного структурного елемента зразка ОВТ ЗРВ окремо;

г) можливість врахування накопичення пошкоджень структурними елементами зразка ОВТ ЗРВ від різних типів засобів ураження, які по них застосовуються противником.

Математична модель використовує сукупність логічних правил, які визначають критерії прийняття рішення про очікувану ступінь пошкоджень зразка ОВТ ЗРВ.

Математична модель призначена для використання органами логістичного забезпечення при проведенні оперативних та тактичних розрахунків на етапах завчасного, безпосереднього планування та в ході ведення бойових дій, під час оцінювання ситуацій і ухвалення рішень для скорочення циклу управління і та підвищення ефективності прийнятих рішень.

### Висновки

Таким чином, у роботі описано процес математичного моделювання прогнозування пошкоджень ОВТ ЗРВ від впливу дії засобів ураження. Запропонована модель враховує розподіл на групи всієї сукупності засобів

ураження за наслідками, які виникають при влученні одного засобу прицільного ураження конкретного типу та призначена для проведення розрахунків очікуваних пошкоджень ОВТ ЗРВ внаслідок застосування противником усього спектру засобів ураження. Крім того, представлена модель може бути використана як основа для розробки аналогічних методик для оцінювання стану ОВТ інших родів військ видів ЗС України та оцінювання можливих ушкоджень об'єктів критичної інфраструктури.

Наукова новизна даної роботи полягає у тому, що запропонований підхід до прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ, реалізація якого у вигляді програмного продукту в автоматизованій системі управління логістичним забезпеченням дозволить в органах управління ЛЗ ПС ЗС України отримувати коректні результати розрахунків щодо очікуваних втрат ОВТ ЗРВ внаслідок застосування противником усього спектру засобів ураження.

Подальше удосконалення інформаційного забезпечення шляхом розробки програмного продукту (набору інформаційно-розрахункових задач) для АСУ ЛЗ дозволить керівному складу отримувати коректні результати розрахунків щодо очікуваних втрат ОВТ ЗРВ внаслідок застосування противником засобів ураження ударної дії з отриманням характеристик ступеню пошкоджень складових зразків ОВТ під час ведення бойових дій.

### Список використаних джерел

1. Ярош С.П. Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С. П. Ярош; за ред. І. О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.
2. Петухов С.И. Эффективность ракетных средств ПВО. / С.И. Петухов, А.Н. Степанов. – М.: Воениздат, 1976. – 73 с.
3. 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.
4. Дачковський В. Методика оцінювання можливості виконання заходів з ремонту озброєння та військової техніки. / В. Дачковський, М. Цуркан // Збірник наукових праць ЛОГОС. – DOI: 10.36074/logos-19.03.2021.v1.49.
5. Дачковський В.О. Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. / В.О. Дачковський, В.І. Коцюруба // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – Київ: НУОУ, 2020. – Вип. 1(37). – С. 5–14. – DOI: 10.33099/2311-7249/2020-37-1-5-14.
6. Шишанов М. О. Обґрунтування методу моделювання процесу функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ / М.О. Шишанов, А.В. Гуляев, М.М. Шевцов // Озброєння та військова техніка. – Київ: ЦНДІ

ОВТ ЗС України, 2017. – Вип. 1(13). – С. 75–77.

7. Сампир О. (2021). Удосконалена методика оцінювання системи відновлення озброєння та військової техніки окремої механізованої бригади. // Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”. – Vol. 11, No. 5.

8. Старцев В.В. Основні положення методики оцінювання можливостей відновлення озброєння та військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України, пошкоджених під час ведення бойових дій / В.В. Старцев, В.Ф. Третяк, Л.В. Міхальова, О.В. Коломійцев, В.В. Борщ, Р.М. Олійник // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернігів: ДНДІ ВС ОВТ, 2022. – Вип. 3(13). – С. 110–120.

9. Гребенников Н.Д. Восстановление вооружения и боевой техники ЗРВ ПВО страны. / Н. Д. Гребенников. – Минск: МВИЗРУ, 1972. – 240 с.

10. Ковтуненко А.П. Восстановление эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем / Ковтуненко А.П., Козлов В.Н., Россинский Ю.М. – М.: МО, 1980. – 257 с.

11. Ковтуненко А.П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем : монография / А.П. Ковтуненко, М.А. Шишанов, В.В. Зубарев. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2007. – 301 с.

12. Кириченко В.Д. Совершенствования системы восстановления вооружения и военной техники войскового ПВО с учетом особенностей боевых действий / В. Д. Кириченко, А. Г. Лузан, А. Г. Малахов // Военная радиоэлектроника. – 1986. – №. 5(440). – С. 160-167.

13. Бубнов Н.А., Лазарев С.В., Трифонов Г.И., Янин А.Н. Имитационное моделирование процессов восстановления вооружения и военной техники // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – №. 12-1. – С. 20-24.

14. Запара Д.М. Удосконалення підходів щодо прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ від впливу ударної дії засобу ураження / Д. М. Запара, М. Б. Бровко, В. В. Старцев, С. А. Бортновський // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – Вид. 1(53). – С. 20-23.

15. Запара Д.М. Формалізація процедури прогнозування пошкоджень озброєння та військової техніки зенітних ракетних військ в перспективній автоматизованій системі управління матеріально-технічним забезпеченням / Д. М. Запара, М. Б. Бровко, С. А. Бортновський, П. В. Опенько // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2018. – Вид. 1(31). – С. 31-36.

16. Запара Д.М. Впровадження процедури прогнозування пошкоджень ОВТ від впливу дії засобів ураження в перспективну АСУ МТЗ. Д. М. Запара, М. Б. Бровко, В. В. Старцев, Р.Ю. Кушпета, М.В. Дудко // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2018. – Вид. 4(58). – С. 50-56.

17. Ланецкий Б.Н. Методика обоснования состава и количества бригад текущего ремонта РЭС парка ЗРК группировки ЗРВ / Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, И.Н. Терехуха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків: ХУПС, 2014. – Вид. 3(40). – С. 23–27.

## IMPROVEMENT OF INFORMATION SUPPORT OF PERSPECTIVE AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF SURFACE-TO-AIR MISSILE TROOP'S LOGISTICS SUPPORT

<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>Vasyl Ivanov

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

<sup>2</sup>Vladyslav Kobzev (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0002-0954-8887>

<sup>1</sup>The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ivan Kozhedub National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

*The purpose of the article is to improve information support of a prospective automated logistical control system. This is done by the mathematical modeling of the forecasting of damage to weapons and military equipment of surface-to-air missile troops from the impact of shock, fragmentation and high-explosive action of sighting and plane means of destruction such as weapons and military equipment during combat operations. In this article, a mathematical model of the protection of personnel from the action of poisonous substances of various origins due to air injection and air flow movement in a local volume is developed, which is a system of equations, where the first dependence describes the potential of a simple layer of air flow formed in the process of air injection in the local volume, the second - shows that the performance of the filter ventilation installation should be equal to the potential value or exceed it, the third - describes the number of personnel that can be placed in the temporary reference point.*

**Keywords:** automated control system, logistic support, means of aiming damage, degree of damage, impact of means of aiming damage, surface-to-air missile system.

## References

1. Yarosh S.P. Theoretical foundations of construction and application of reconnaissance and control information systems of air defense: monograph / S. P. Yarosh; under the editorship I. O. Kirichenka. - Kh.: HUPS, 2012. - 512 p.
2. Petukhov S.I. Effectiveness of anti-aircraft missiles. / S.I. Petukhov, A.N. Stepanov. - M.: Voennizdat, 1976. - 73 p.
3. 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.
4. Dachkovskiy V. Methodology for assessing the possibility of carrying out measures for the repair of weapons and military equipment. / V. Dachkovskiy, M. Tsurkan // Collection of scientific papers ΛΟΓΟΣ.
5. Dachkovskiy V.O. Methodology for evaluating the effectiveness of the system of restoring weapons and military equipment. / V.O. Dachkovskiy, V.I. Kotsyruba // Modern information technologies in the sphere of security and defense. – Kyiv: NUOU, 2020. – Issue 1(37).– P. 5–14.
6. Shishanov M.O. Justification of the method of modeling the process of functioning of the armament recovery system and military equipment of troop grouping / M.O. Shishanov, A.V. Gulyaev, M.M. Shevtsov // Armament and military equipment. – Kyiv: Central Research and Development Institute of the Armed Forces of Ukraine, 2017. – Iss. 1(13). – P. 75–77.
7. Sampir O. (2021). An improved methodology for evaluating the system of restoring weapons and military equipment of a separate mechanized brigade. // Journal of Scientific Papers "Social Development and Security". – Vol. 11, No. 5.
8. Startsev V.V. The main provisions of the methodology for assessing the possibility of restoring weapons and military equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, damaged during hostilities / V.V. Startsev, V.F. Tretyak, L.V. Mikhalova, O.V. Kolomyitsev, V.V. Borshch, R.M. Oliinyk // Collection of scientific works of the State Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment. – Chernihiv: DNDI VS OVT, 2022. – Issue 3(13). – pp. 110–120.
9. Grebennikov N.D. Restoration of weapons and combat equipment of the country's anti-aircraft missile defense system. / N. D. Grebennikov. - Minsk: MVIZRU, 1972. - 240 c.
10. Kovtunenکو A.P. Recovery of operational properties of radioelectronic systems / Kovtunenکو A.P., Kozlov V.N., Rossinsky Yu.M. - M.: MO, 1980. - 257 p.
11. Kovtunenکو A.P. Fundamentals of the theory of restoration of operational properties of technical systems: monograph / A.P. Kovtunenکو, M.A. Shishanov, V.V. Zubarev. - K.: NAU Book Publishing House, 2007. - 301 p.
12. Kirichenko V.D. Improvements of the weapon recovery system and military air defense equipment taking into account the specifics of combat operations / V. D. Kyrychenko, A. G. Luzan, A. G. Malakhov // Military radio electronics. - 1986. - no. 5(440). - P. 160-167.
13. Bubnov N.A., Lazarev S.V., Trifonov G.I., Yanin A.N. Simulation modeling of the processes of restoration of weapons and military equipment // Modern science-intensive technologies. – 2018. – no. 12-1. - pp. 20-24.
14. Zapara D.M. Improvement of approaches to predicting damage to weapons and military equipment of anti-aircraft missile forces from the impact of the impact of the weapon / D. M. Zapara, M. B. Brovko, V. V. Startsev, S. A. Bortnovsky // Weapon systems and military equipment. – 2018. – Issue 1(53). - pp. 20-23.
15. Zapara D.M. Formalization of the procedure for forecasting damage to weapons and military equipment of anti-aircraft missile forces in a prospective automated system of managing material and technical support / D. M. Zapara, M. B. Brovko, S. A. Bortnovsky, P. V. Openko // Modern information technologies in in the field of security and defense. – 2018. – Issue 1(31). - P. 31-36.
16. Zapara D.M. Implementation of the procedure for forecasting damage to OVT due to the impact of damage agents in the perspective ACS of MTZ. D. M. Zapara, M. B. Brovko, V. V. Startsev, R. Yu. Kushpeta, M.V. Dudko // Collection of Scientific Papers of KhNUPS. – 2018. – Issue 4(58). - pp. 50-56.
17. Lanetsky B.N. The method of substantiation of the composition and number of crews of the current repair of the RES park of the air defense system of the ZRV group / B.N. Lanetskyi, V.V. Lukyanchuk, I.N. Terebukha // Collection of Scientific Papers of the Kharkiv National University of the Air Force. - Kharkiv: HUPS, 2014. - Vol. 3(40). – pp. 23–27.

## ДОСВІД ЩОДО ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЙ (АНТИТЕРОРИСТИЧНИХ, МИРОТВОРЧИХ, СИЛ ОБОРОНИ)

Yevhen Honcharenko (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0001-7654-6083>

Anatolii Tkachenko

<https://orcid.org/0000-0001-7316-5437>

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

### LESSONS LEARNED PROCEDURE IN THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*The Armed Forces of Ukraine for the last time gained the experience of conducting combat operations. This experience is invaluable for Ukraine. Authors describe term, idea, capability and process of Lessons Learned, who needs to learn lessons in the Armed Forces of Ukraine. The lessons learned process comprises of two phases: Analysis and Implementation, and corresponding stages: Plan, Observe, Analyse, Decide, Implement & Validate, and Share. The article deals with the study of combat experience in the Armed Forces of Ukraine. The purpose of the article is to determine directions for improving the procedures for lessons learning, taking into account the requirements of regulatory documents of Ukraine and NATO partner countries.*

**Keywords:** lessons learned, NATO, Armed Forces of Ukraine.

#### Introduction

The defense forces of Ukraine have been holding back the armed aggression of the Russian Federation for 8 years, and in the last 300 days they have given an incredibly impressive repulse to the enemy's offensive on a front more than a thousand kilometers wide. In such conditions, the Armed Forces of Ukraine (AFU) gained the experience of conducting combat operations, which no army in Europe has had since the Second World War. Ukraine paid for this experience with the lives and health of thousands of its best citizens and the well-being of millions of its residents. This experience is invaluable for Ukraine and extremely interesting for every country in the world that is interested in quality training of its armed forces to repel aggression.

The Armed Forces of Ukraine are conducting combat operations in conditions where the enemy is outnumbered and equipped dozens of times. In order to win in such conditions, the armed forces need to act trained and efficient. In turn, the guarantee of efficiency is the preservation of resources by preventing the repetition of mistakes (inefficient decisions). Thus, the study Lessons Learned (LL) of using the Armed Forces and Defense Forces as a whole will help to improve the quality of training of the command staff and bring Ukraine closer to victory.

The issue of LL in NATO countries occupies a worthy place in military collective training and exercise process [1]. Created The Joint Analysis & Lessons Learned Centre (JALLC), and a number of doctrinal documents are defined [2-4].

Since 2020, the process of creating a regulatory framework for the study and implementation of experience has begun in the Armed Forces of Ukraine,

however, in practice, according to the authors, these processes currently require improvement.

The purpose of the article is to determine directions for improvement of lesson learning procedures taking into account the requirements of regulatory documents of Ukraine and NATO partner countries.

#### The results

*What do we mean by lessons learned?*

The term Lessons Learned is broadly [2-4] used to describe people, things, and activities related to the act of learning from experience to achieve improvements. The idea of Lessons Learned in an organization is that, through a formal approach to learning (i.e. a Lessons Learned procedure), individuals and the organization can reduce the risk of encountering the same problems and increase the chance that successes are repeated. Within NATO, Lessons Learned is an essential part of being credible, capable, and adaptive in warfighting and warfare development through reducing operational risk, increasing cost efficiency, and improving operational effectiveness. Lessons Learned is achieved through the set-up and sustainment of a Lessons Learned Capability.

Lessons Learned describes more than just learning from experience. Learning must be used to justify changes that will lead to improved performance.

- Common elements of a formal approach to learning (Lessons Learned procedure)
- **Lessons Learned Process:** To identify, act, institutionalize, and share lessons to ensure learning from experience is converted into actual improvement via a formal process.
  - **Lessons Learned Information Sharing:** To make use of a portal, databases, websites, reports, or other media to store and communicate lessons.
  - **Lessons Learned Community:** To bring together Subject Matter Experts (SME) at working groups, training courses, conferences, and other events to share experience and learning.

**Figure 1.** Common elements of a formal approach to learning



What lessons learned doctrinal documents used in The AFU?

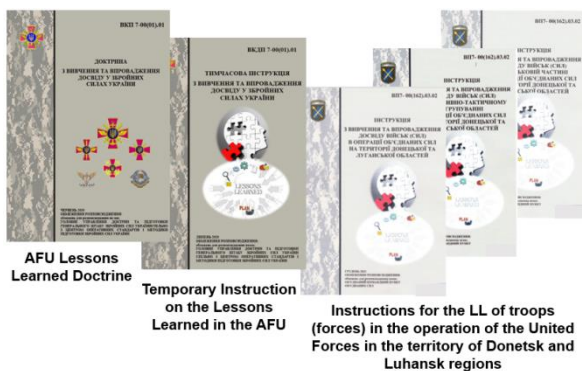


Figure 2. Normative documents used in The Armed Forces of Ukraine

AFU Lessons Learned Doctrine [5]

This Doctrine defines the procedure for organizing the LL (study and implementation of experience), as well as the role of military management bodies, commanders (supervisors) of all levels regarding the organization of the study and implementation of experience in the Armed Forces of Ukraine.

Temporary Instruction on the Lessons Learned in the AFU [6]

This instruction defines the general provisions on the LL, the procedure for working in the System of LL. The order of work regarding the LL in the military unit, in operational level management bodies, in the Commands and in the General Staff is determined. In addition, there are forms of Information Bulletins and Reports are specified.

Instructions for the LL of troops (forces) in the operation of the United Forces in the territory of Donetsk and Luhansk regions [7-9] these Instructions have three levels: Joint Forces, Components and Units.

Who needs to learn lessons?

Lessons Learned doctrinal documents used in the AFU are made according to NATO approaches.

And we have a reason question: Who needs to learn lessons? – Everyone!

General James N. Mattis US Marine Corps, former Supreme Allied Commander Transformation said: “There is no reason to send troops into the fight and get them killed when a Lesson Learned the month before could be sent to a commander who could have used it for training...”

And we know that this saying is very relevant currently for the AFU.

Everyone within an organization needs to be involved in learning lessons approach to be successful. Yet, often it seems that many personnel within NATO are under the impression that the presence of dedicated LL staff frees them of their own responsibility for organizational improvement and learning.

A lesson is not learned until something changes in the way we operate, and the ones who need to change are the ones affected by an issue: the stakeholders.

Stakeholders are likely the first – and often only – personnel who will be aware of potential lessons within their area of responsibility. The right organizational

mindset is required to encourage these stakeholders to share potential lessons via a LL Process in order to learn lessons and enable others to exploit them.

True organizational learning only takes place when driven by leaders, who must also hold stakeholders accountable. Commanders and Chiefs of Staff (COS) should actively prioritize LL activities and follow up with their staff to ensure their organization has actually learned.

However, time and resource constraints in addition to competing priorities often make learning lessons in their organizations a challenge for most leaders. Nevertheless, leaders’ LL guidance and engagement must be evidenced not only by words, but also through prioritizing issues and endorsing, resourcing, and tasking solutions.

Lessons learned capability

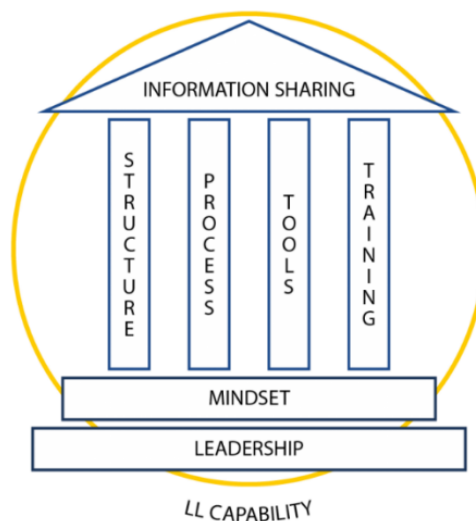


Figure 3. Lessons learned capability

The foundation elements of Mindset and Leadership are fundamental to the social and cultural climate the organization needs for an effective LL capability. The supporting elements of structure, process, tools, and training are needed to facilitate information sharing. Information sharing provides the capstone that ensures the capability works.

Mindset: An organizational culture where learning from others is incorporated into all aspects of work and staff are given the confidence to share their own learning with others.

Leadership: An ability to undertake timely and effective decision-making throughout the LL Process.

Structure: Skilled and dedicated LL personnel allocated to adequate posts within the organization.

Process: A common LL process to develop a lesson, to include sharing and utilizing it appropriately.

Tools: Technology to support collection, storage, staffing, and sharing of LL information.

Training: Providing staff with the skills and knowledge to fulfill their LL roles effectively. Information on LL training opportunities in NATO is provided later in this chapter.

Information Sharing: The will to submit, receive, and re-use information from the LL Capability. In order for information sharing to be successful, it must be credible and come from a reliable source.

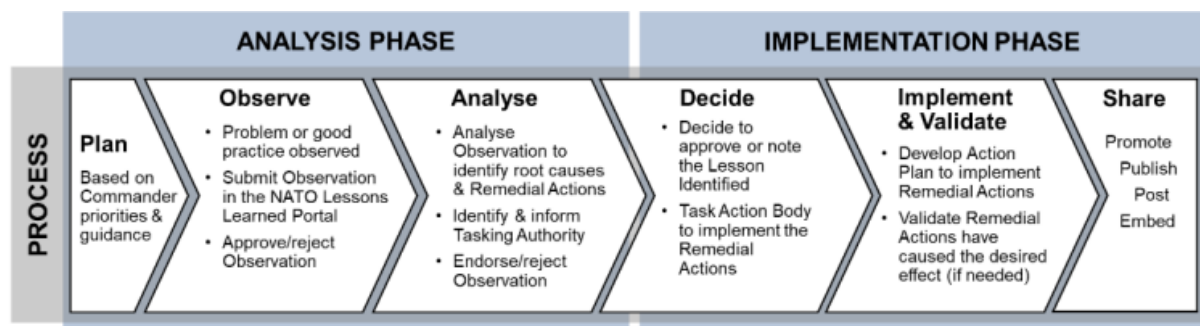


Figure 4. NATO LL Process

### The lessons learned process

A LL process is part of a formal approach to organizational learning that deliberately processes observed issues arising from an activity until either a LL is reached, or the lesson is rejected/noted for various reasons. Figure 4 illustrates the NATO LL Process used by the NATO Command Structure, as described in the Bi-SC Directive 080-006 Lessons Learned (Reference A).

It comprises of two phases (Analysis and Implementation) and corresponding stages (Plan, Observe, Analyse, Decide, Implement & Validate, and Share).

The first phase of the LL Process is the Analysis Phase, which may start with a plan based on the Commander's priorities and guidance. A Lessons Collection Plan may be developed by the authority responsible for leading an activity to actively collect lessons from various sources (e.g. as an integrated part of an exercise or operation plan), rather than waiting for lessons to occur. A Lessons Collection Plan can be a simple list of priorities covering which types of lessons should be collected, but it can also be a detailed plan defining who, when, where, and how lessons are collected for a given priority.

An Observation is a short description of an issue which may be improved or a potential Best Practice.

The next stage is to analyse the observation to elaborate on the factor(s) contributing to why the outcome of the activity differed from expectation and identify a proposed solution. For more complex observations, additional analysis may be required.

The first stage of the Implementation Phase requires the Tasking Authority to decide whether to approve or note.

Next is the Implement & Validate stage, during which the Action Body will prepare and implement their Remedial Action through the use of an Action Plan.

It is important that the LL is then shared more broadly with the relevant stakeholders through the LL Process and other media to allow further exploitation.

In today's context of fighting, there are a number of problematic issues in the study of experience.

### Conclusion

Due to the threat of sensitive information to the enemy, the stage of collecting up-to-date information is complicated.

Not all commanders understand the importance of

generalizing quality experiences to make sound decisions.

Modern methods are not always used during the analysis, such as:

- ✓ Six Ws;
- ✓ Five Reasons Why / Five Times Why;
- ✓ Organization, Process, Technology Categorization;
- ✓ DOTMLPF-I Capability Categorization;
- ✓ Six Thinking Hats;
- ✓ Plus/Minus/Interesting;
- ✓ Pairwise Comparison Analysis;
- ✓ Statistical Analysis.

It is advisable to apply the principles of project management that were important in the military environment:

- ✓ Leadership support;
- ✓ Clarity of roles and responsibilities;
- ✓ Prioritization of resources;
- ✓ Method of communication.

### References

1. BI-SC Collective Training and Exercise Directive (CT&ED) 075-003, 02 October 2013.
2. Bi-SC Directive 080-006 Lessons Learned NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2022.
3. The NATO Lessons Learned Handbook, Fourth Edition, dated June 2022. NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2022.
4. Joint Analysis Handbook, NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2016.
5. Doktryna z vyvchennia ta vprovadzhenia dosvidu u Zbroinykh Sylakh Ukrainy, zatverdzhena nachalnymkom Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy 30.06.2020.
6. Tymchasova instruksiiia vyvchennia ta vprovadzhenia dosvidu u Zbroinykh Sylakh Ukrainy. nakaz Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy 15.07.2020 № 56. VKDP 7-00(01).01.
7. Instruksiiia z vyvchennia ta vprovadzhenia dosvidu viisk (syl) v operatsii Obiednanykh syl na terytorii Donetskoi ta Luhanskoi oblasti. Zatverdzhena komanduvachem obiednanykh syl 14.12.2021, VP7-00(162).03.02.
8. Instruksiiia z vyvchennia ta vprovadzhenia dosvidu viisk (syl) v operatyvno-taktychnomu uhrupuvanni v operatsii Obiednanykh syl na terytorii Donetskoi ta Luhanskoi oblasti. Zatverdzhena komanduvachem obiednanykh syl 14.12.2021, VP7-00(162).03.02.
9. Instruksiiia z vyvchennia ta vprovadzhenia dosvidu viisk (syl) u viiskovii chastyni v operatsii Obiednanykh syl na terytorii Donetskoi ta Luhanskoi oblasti. Zatverdzhena komanduvachem obiednanykh syl 14.12.2021, VP7-00(162).03.02.

## ВИВЧЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ДОСВІДУ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ УКРАЇНИ

**УДК 355.521**

**Гончаренко Євген Володимирович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0001-7654-6083>

**Ткаченко Анатолій Володимирович**

<https://orcid.org/0000-0001-7316-5437>

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

*Збройні Сили України останнім часом набули досвіду ведення бойових дій. Цей досвід є безцінним для України. Автори описують термін, ідею, можливості та процес вивчення та впровадження досвіду, кому необхідно засвоїти бойовий досвід у Збройних Силах України. Процес отримання бойового досвіду складається з двох етапів: аналізу та впровадження, а також відповідних етапів: планування, спостереження, аналіз, прийняття рішення, впровадження та перевірка та поширення. Стаття присвячена вивченню досвіду бойових дій у Збройних Силах України. Метою статті є визначення напрямків удосконалення процедур засвоєння уроків з урахуванням вимог нормативних документів України та країн-партнерів НАТО.*

**Ключові слова:** *вивчення та узагальнення досвіду, НАТО, Збройні Сили України.*

### Список використаних джерел

1. BI-SC Collective Training and Exercise Directive (CT&ED) 075-003, 02 October 2013
2. Bi-SC Directive 080-006 Lessons Learned NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2022.
3. The NATO Lessons Learned Handbook, Fourth Edition, dated June 2022. NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2022.
4. Joint Analysis Handbook, NATO, Joint Analysis and Lessons Learned Centre, 2016.
5. Доктрина з вивчення та впровадження досвіду у Збройних Силах України, затверджена начальником Генерального штабу Збройних Сил України 30.06.2020.
6. Тимчасова інструкція вивчення та впровадження досвіду у Збройних Силах України. наказ Генерального штабу Збройних Сил України 15.07.2020 № 56.

ВКДП 7-00(01).01.

7. Інструкція з вивчення та впровадження досвіду військ (сил) в операції Об'єднаних сил на території Донецької та Луганської областей. Затверджена командувачем об'єднаних сил 14.12.2021, ВП7-00(162).03.02.

8. Інструкція з вивчення та впровадження досвіду військ (сил) в оперативно-тактичному угрупованні в операції Об'єднаних сил на території Донецької та Луганської областей. Затверджена командувачем об'єднаних сил 14.12.2021, ВП7-00(162).03.02.

9. Інструкція з вивчення та впровадження досвіду військ (сил) у військовій частині в операції Об'єднаних сил на території Донецької та Луганської областей. Затверджена командувачем об'єднаних сил 14.12.2021, ВП7-00(162).03.02.

**Kotsiuruba Andrii**

<https://orcid.org/0000-0001-5150-6683>

**Radko Oleg** (Candidate of Technical Science, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

**Korovin Ivan** (Candidate of Technical Science, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-6209-8136>

**Safonov Ihor**

<https://orcid.org/0000-001-5717-2813>

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

## **EXPERIENCE OF AIRCRAFT MAINTENANCE OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE AVIATION USE IN THE MODERN WARFARE CONDITIONS**

*The article provides a critical analysis of the experience of aircraft maintenance for the use of aviation of the Armed Forces of Ukraine in modern conditions of combat operations during the russian-Ukrainian war. The conducted analysis made it possible to identify issues, the immediate solution of which requires additional efforts from the leadership of aviation units, the leadership of the Air Force, the Army and the Armed Forces of Ukraine, in particular, ensuring the high readiness of aviation units and subunits, forces and means of the aircraft maintenance, etc. to withdrawal from the impact in the process of carrying out combat missions. Recommendations are provided on the organization of practical implementation of measures to restore and maintain the serviceability of aircraft and weapons at operational airfields.*

**Keywords:** *aircraft maintenance, missile-technical support, serviceability, warfare, operational airfield.*

### **Introduction**

With the beginning of the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, the issue of creating and organizing the effective functioning of the system of learning and implementing experience in the Armed Forces of Ukraine became particularly relevant [1, 2]. Similar systems have long been created in NATO countries [3-5], and their necessity is most clearly expressed in the statement of General James N. Mattis, US Marine Corps, former Supreme Allied Commander Transformation: "There is no reason to send troops into the fight and get them killed when a Lesson Learned the month before could be sent to a commander who could have used it for training..." [5].

The term Lessons Learned is broadly used to describe people, things, and activities related to the act of learning from experience to achieve improvements. The idea of Lessons Learned in an organization is that, through a formal approach to learning (i.e. a Lessons Learned procedure), individuals and the organization can reduce the risk of encountering the same problems and increase the chance that successes are repeated. Within NATO, Lessons Learned is an essential part of being credible, capable, and adaptive in warfighting and warfare development through reducing operational risk, increasing cost efficiency, and improving operational effectiveness. Lessons Learned is achieved through the set-up and sustainment of a Lessons Learned Capability [5].

Despite the relevance of the study of combat experience gained during the Russian-Ukrainian war, currently the system of learning and implementing experience in the Armed Forces of Ukraine does not cover all aspects of their training, application and support, in particular, there is no systematic research on the features of aircraft maintenance (AM) for the use of aviation in modern conditions conducting a hybrid war.

So, the purpose of the article is a critical analysis of the experience of AM for the use of aviation in the conditions of modern warfare in order to establish the patterns and trends of its organization, as well as the practice of using the forces and means of the AM, which is extremely important for understanding the directions of development and improvement of existing capabilities and efficiency of service functioning in the future.

### **Methods**

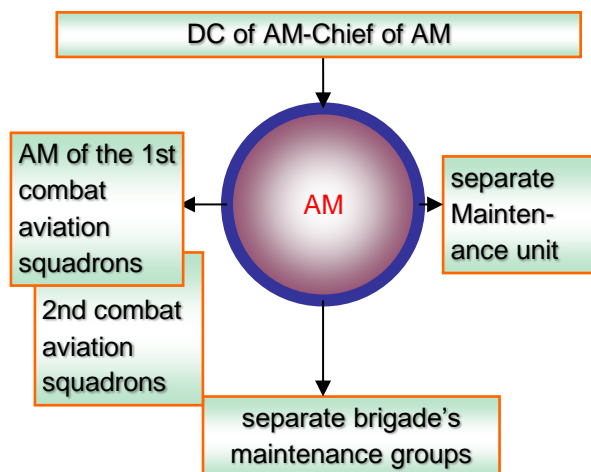
The basis for the study and implementation of combat experience are the methods used After Action Review, Lesson Analysis and Lesson Learned [2].

### **The results**

At the beginning of the war in Ukraine, the aviation of the Armed Forces was used in full force. Fighter, bomber, attack and army aviation were used mainly to support ground forces. Fighter aviation was also used to perform air defense tasks. Transport aviation was used to support combat operations of military units of the Armed Forces. The forces and means of aviation were used from a large number of operational and base airfields and helipads. The task of AM, both tactical (army) aviation brigades and the aviation of the Armed Forces as a whole, was to ensure the fulfillment of combat missions of aviation in these conditions.

The AM of tactical (army) aviation brigades (managed by deputy commanders of tactical (army) aviation brigades for AM - chiefs of AM) organizationally consist of the department of AM, AM of combat aviation squadrons (which are directly subordinate to the commanders of these squadrons), a separate unit for the maintenance and repair of aircraft and their equipment (technical and operational part of aviation equipment), as well as separate brigade's maintenance groups (Fig. 1) [6]. The AM of the tactical

(army) aviation brigade works as a joint coordinated organism with a full range of technical support at the base airfield. That is why the autonomous basing at operational airfields and places of basing of relatively small in size, but numerous in number groups of different types of aircraft, left significant imprints on the work of the AM of tactical (army) aviation brigades and showed a number of problematic issues regarding AM of combat operations of military units and subunits of the Armed Forces in the warfare (in modern conditions of war).



**Figure 1.** Organization structure of AM of tactical (army) aviation brigades

The situation that developed at the beginning of the war in the aviation of the Armed Forces, put before the AM, first of all, the task of ensuring the highest possible level of serviceability of aircraft of the Armed Forces in the shortest possible time [7].

To fulfill this task, a number of actions were taken to restore and maintain the serviceability of the aircraft fleet, as well as to ensure its intended use, for example:

removal from storage and putting into service of aircraft with exhausted established regulations due to the implementation of lists of works and current (military) repairs in the conditions of military units.

rearrangement (replacement) of aggregates, blocks at the expense of redundant aircrafts.

At the beginning of the war, in order to prevent the decline in the serviceability of aircraft, consultations were held with aircraft manufacturers, aircraft repair structures, aviation research institutions on the preparation of the regulatory framework for the extension of the established regulations.

At the same time, the analysis of the technical condition of aircraft that was not repaired by overhaul was taken into account, which revealed the presence of problems both with the condition of the airframe structural elements and with the performance of units, aggregates, systems.

For redeployment to operational airfields and dispersal of aircrafts for combat duty in the air defense system to protect the airspace in the conditions of hybrid warfare, tactical aircraft of the Air Force and helicopters of the Army Aviation based at airfields (helipads) near the area of the warfare were identified.

The main task during the relocation or rotation was to prepare and deliver to the operational airfields the forces and means of the AM and weapons in the shortest possible time by a limited number of vehicles (by increasing the mobility of AM forces and means and logistics, etc.).

In order to increase the efficiency of aviation actions, the relocation of certain forces and means was mainly carried out by ground echelon. By the air echelon relocated only the necessary means of support for work at airfields and sites where there was no appropriate infrastructure and necessary means of support.

The peculiarity of the army aviation was the organization of the tasks of single or small groups (up to the flight) of helicopters apart from the places of permanent basing. Flight crews of helicopters must be prepared for long-term autonomous operation apart from permanent bases and independently perform all types of preparation for flights in the amount prescribed by the maintenance regulations.

At the same time, the distribution of work by the members of the flight crew was established by the list approved by the commander of the unit.

The division of responsibilities between crew members was carried out as follows:

1. Preparation of helicopters in the specialties of helicopters and engines was carried out by on-board technician. Operation inspection was carried out by the commander of the crew (CC).

2. Preparation of aviation armament was carried out by the flight crew; permission to allow a helicopter to fly, helicopter equipment inspection with aviation munition according to the departure task is given by the CC. Inspection was carried out by the CC. Weapon systems performance check was carried out by the CC and navigator pilot.

3. Preparation of aviation equipment was carried out:

checking the condition of electrical equipment, batteries was performed by on-board technician, operation inspection was carried out by the CC;

checking the performance of instrumentation equipment, electronic automation and electrical equipment was performed by a navigator pilot, operational control was carried out by the CC.

4. Preparation of radio electronic equipment was carried out:

checking the external condition of the units in the radio hold of the sound carrier MS-61 ("black box") was performed by the on-board technician, the inspection was carried out by the CC;

checking the external condition of the antennas and their domes was performed by the navigator pilot, the inspection was carried out by the CC;

checking the performance of radio electronic equipment under current was performed by the CC.

5. Retrieving of information of objective control devices put on the on-board technician, postoperational control was carried out by the CC [8].

It is necessary to take into account that one of the prerequisites of aviation accidents is performance of physically difficult work to prepare the helicopter for



flight in combination with mental and emotional stress during combat missions. Weaknesses in the organization of work and, above all, uneven load, periodic change of calm periods to very stressful ones (preparation for the next flight, elimination of malfunctions and failures, preparation for the flight "on alarm", night and day flights for combat use, etc.) create tense situations in which the probability of erroneous actions increases significantly, especially when performing tasks apart from the main helipad.

On each helicopter, if they perform tasks apart from the main base helipad, there were a list of technological cards for conducting types of preparations and crew members specialties.

Each helicopter for autonomous operation had a technical first aid kit. The composition of technical first aid kits, special ground maintenance equipment, control tools and technical documentation for long-term autonomous operation of single or small groups (up to the flight) of helicopters was determined by the deputy commanders of army aviation brigades for AM - chiefs of AM, depending on the tasks assigned.

With single-base, an on-board log of helicopter preparation for the flight, which was issued by the flight crew, was maintained. The helicopter preparation log in this case was stored at the permanent base helipad.

Permission to allow a helicopter to fly when single deployment was granted by the CC. During single-base, onboard helicopter technician (crew commander) was allowed to inspect and permit helicopters to be refueled with fuel, oils, special liquids and gases.

It was allowed to permit a helicopter to fly from an operational helipad to complete the flight task with the return to the permanent base helipad, without completing the flight task with damage and failures listed in the special list of the aircraft's flight operation manual.

In such cases, the decision on the departure of the helicopter with such damages and failures was made by the CC after analyzing the existing and expected conditions on the flight route (weather conditions, availability of the necessary equipment of the aerodrome means for takeoff and landing, etc.).

After the CC decides to take off the helicopter with damages and failures, the flight crew had to:

- isolate (disable) faulty equipment;
- perform the work provided by the list to ensure flight safety;

record in the log (on-board log) the preparation of the helicopter for the flight signed by the CC and onboard technician information about the damage (refusal) nature, the list of work performed, reports provided and decisions made.

During the conduct of warfare, in the conditions of airfield maneuver, the task of organizing the provision of certain aviation forces with aviation missile weapons and munition (when they act simultaneously from several airfields (helipads)) arose. In this case, it is necessary to solve the issue of the most rational ways of preparation and delivery of aviation missile weapons and munitions from the places of accumulation to the places of basing of aviation units.

So, in combat operations, the delivery of aviation missile weapons and munitions from the places of accumulation to the places of basing of aviation units

and subunits (to airfields, helipads) is carried out by the forces and means of arsenals, bases and warehouses, mainly using road transport (in some cases, depending on the importance of the tasks, the delivery was carried out by airplanes and helicopters).

In the organization of combat support, special attention was paid to the issue of clear interaction of the AM with logistics services, as well as with arsenals, bases and warehouses of missile weapons and ammunition. At the same time, it was necessary to exercise constant control on the part of the AM over the process of preparation and supply of aviation missile weapons and munitions, over the rational planning and management of the process of provision.

Particular attention of the leading AM staff of aviation units during combat operations was paid to the organization of aviation engineering (technical) and missile-technical support in the event of enemy fire on operational airfields (helipads). The main consequences of this were:

destruction or damage of aircraft and their maintenance and flight support facilities;

complete or partial destruction of military stocks of aviation munitions and means of their preparation; irretrievable and sanitary losses of personnel.

So, the aviation forces, which were involved in performing tasks in the warfare area, carried out a number of actions to:

countering foreign technical reconnaissance; masking of aircraft, places of personnel deployment, places of deployment of technical means of flight support, places of storage of aviation munitions and their dispersal and arrangement;

organization of protection and defense of objects (jointly with the forces and means of aviation military units of operational airfields and helipads, and in case of their absence, jointly with the forces and means of other military units of the Armed Forces located in the immediate vicinity).

Since the beginning of active warfare, the problem of restoring the serviceability of aircraft that have suffered combat or operational damage directly at operational airfields (helipads) and in places of their forced landings has arisen.

The solution of this issue required the involvement of additional forces and means both from the aviation units based at these operational airfields and from their base aviation units, namely the training of repair groups of aviation units with the necessary technological equipment (Fig. 2).



**Figure 2.** The solution of the problem of restoring the serviceability of aircraft that have suffered combat or operational damage directly at operational airfields (helipads)

Given the complexity of combat damage to these aircraft and the lack of experience in performing such types of repairs in aviation units, representatives (repair teams) from aircraft manufacturers and aircraft repair structures were involved in their recovery.

As a result, aviation units gained very important experience in military repair of combat and operational damage to aircraft in the field and worked out a mechanism for organizing interaction on these issues with aircraft manufacturers and aircraft repair structures.

### **Conclusion**

A critical analysis of the experience of AM of aviation units of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of modern warfare shows that the patterns and trends of AM organization require additional efforts from the leadership of aviation units, the leadership of the Air Force, the Army and the Armed Forces of Ukraine.

Such issues, first of all, include:

ensuring high readiness of aviation units and subunits, forces and means of the engineering aviation service, etc. for withdrawal from under attack in the process of performing combat missions;

readiness of the AM (its organizational and staff structure) of a separate tactical (army) aviation brigade to perform assigned tasks from several operational airfields (2-4);

preparation and delivery to operational airfields of forces and means of the engineering and aviation service in the shortest possible time during the relocation or rotation of a limited number of vehicles;

increase of combat survivability of aircraft and other elements of the combat aviation complex due to camouflage, shelter and reduction of their losses at the base and in flight;

organization of the fastest delivery of the necessary munition and organization of their storage at operational airfields to ensure combat flights of aircraft;

lack of spare parts, materials and aviation technical property for military repairs at the operational base or forced landing of damaged aircraft and helicopters;

long terms of restoration of aviation equipment and its components at aviation repair structures.

Concerning the organization of AM for the combat use of the army aviation units, in order to qualitatively and successfully perform tasks, prevent the taking off a helicopter into flight with unfulfilled or incorrectly performed work, management should:

take measures both to improve the quality of work performed on helicopters and to improve quality control of their carrying out;

personally know and perform the entire amount of work performed on helicopter during the preparation for the flight;

to distribute responsibilities between crew members, taking into account the peculiarities of the combat mission and changes in the tactical situation.

In the presence of aircraft with an extended (beyond the limit) operation period, the brigades (aviation units) management team should plan and allocate an ergonomically justified number of personnel of the AM, means of ground maintenance and aerodrome technical support of flights for better and faster performance of aircraft preparation work to perform tasks, as well as identify and eliminate failures and malfunctions.

For the practical implementation of events to restore and maintain the serviceability of aircraft and weapons, it is advisable to organize aviation maintenance units (bases) at operational airfields today, capable of providing operational types of training for groups of aircraft of various types that arrive and are based there. The quantitative composition of different types of ground handling facilities of general use, control and inspection equipment, tools and consumables may be determined based on the composition of the aviation group based or to be based at the designated operational airfield.

### **References**

1. VKDP 7-00 (01).01 Tymchasova instruktsiia z vyvchennia ta vprovadzhennia dosvidu u Zbroinykh Sylakh Ukrainy, zatverdzhena nakazom Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy vid 15.07.2020 №56.
2. VKP 7-00 (01).01 Doktryna z vyvchennia ta vprovadzhennia dosvidu u Zbroinykh Sylakh Ukrainy, zatverdzhena nakazom nachalnyka Heneralnoho shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy vid 30.06.2020.
3. Army Lessons Learned Program, February 2016.
4. 080-006 Bi-STRATEGIC COMMAND DIRECTIVE "Lessons Learned", February 2018.
5. The NATO Lessons Learned Handbook. 4-th edition, June 2022.
6. Pravyla inzhenerno-aviatsiinoho zabezpechennia derzhavnoi aviatsii Ukrainy, zatverdzeni nakazom Ministerstva oborony Ukrainy vid 05.07.2016 № 343.
7. Kotsiuruba A.V., Radko O.V., Korovin I.P. Imovirnisna model dynamiky zminy stanu parku povitrianykh suden aviatsiinoho uhrupovannia. Trudy universytetu. 2021. № 3(166) S. 221-230.
8. Informatsiinyi biuletyn "vyvchenykh urokiv" Obiednanykh Syl (za sichen 2022 roku). K., KOS ZSU. 2022. 220 s.

## ДОСВІД ІНЖЕНЕРНО-АВІАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ АВІАЦІЇ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ В УМОВАХ СУЧАСНОЇ ВІЙНИ

**УДК 358.4 (477)**

**Коцюруба Андрій Васильович**

<https://orcid.org/0000-0001-5150-6683>

**Радько Олег Віталійович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

**Коровін Іван Павлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-6209-8136>

**Сафонов Ігор Євгенович**

<https://orcid.org/0000-001-5717-2813>

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

*У статті проведено критичний аналіз досвіду інженерно-авіаційного забезпечення застосування авіації Збройних Сил України в сучасних умовах ведення бойових дій під час російсько-української війни. Проведений аналіз дозволив виявити питання, негайне вирішення яких потребує додаткових зусиль від керівного складу авіаційних частин, керівництва Повітряних Сил, Сухопутних військ та Збройних Сил України, зокрема забезпечення високої готовності частин та підрозділів авіації, сил і засобів інженерно-авіаційної служби тощо до виведення з-під удару в процесі виконання бойових завдань. Надані рекомендації щодо організації практичного виконання заходів з відновлення і підтримання справності повітряних суден і озброєння на оперативних аеродромах.*

**Ключові слова:** *інженерно-авіаційне забезпечення, ракетно-технічне забезпечення, ремонтпридатність, бойові дії, оперативний аеродром.*

### Список використаних джерел

1. ВКДП 7-00 (01).01 Тимчасова інструкція з вивчення та впровадження досвіду у Збройних Силах України, затверджена наказом Генерального штабу Збройних Сил України від 15.07.2020 №56.
2. ВКП 7-00 (01).01 Доктрина з вивчення та впровадження досвіду у Збройних Силах України, затверджена наказом начальника Генерального штабу Збройних Сил України від 30.06.2020.
3. Army Lessons Learned Program, February 2016.
4. 080-006 Vi-STRATEGIC COMMAND DIRECTIVE "Lessons Learned", February 2018.

5. The NATO Lessons Learned Handbook. 4-th edition, June 2022.

6. Правила інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України, затверджені наказом Міністерства оборони України від 05.07.2016 № 343.

7. Коцюруба А.В., Радько О.В., Коровін І.П. Імовірнісна модель динаміки зміни стану парку повітряних суден авіаційного угруповання. Труды університету. 2021. № 3(166) С. 221-230.

8. Інформаційний бюлетень "вивчених уроків" Об'єднаних Сил (за січень 2022 року). – К., КОС ЗСУ. – 2022. – 220 с.



# ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**УДК 623.486**

<sup>1</sup>Хажанець Юрій Анатолійович (доктор філософії)  
<https://orcid.org/0000-0002-8926-2474>

<sup>1</sup>Коренівська Ілона Сергіївна (доктор філософії)  
<https://orcid.org/0000-0002-0544-6082>

<sup>2</sup>Кас'яненко Максим Вікторович (кандидат військових наук)  
<https://orcid.org/0000-0002-3749-4441>

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

<sup>2</sup>Департамент військової освіти і науки Міністерства оборони України, Київ, Україна

## ВДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ПРОТОКОЛУ СТАНУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ (МЕРЕЖІ) ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті проведено аналіз наявних алгоритмів роботи протоколів станів каналів зв'язку, що необхідні для забезпечення маршрутизації в інформаційно-телекомунікаційній системі (мережі) оскільки вони були орієнтовані для цивільного користування виникла необхідність створення протоколу стану каналів зв'язку саме для військових інформаційно-телекомунікаційних систем (мереж). Адже як вказують проведені дослідження процесів в різних системах передачі даних, заснованих на мультисервісних мережах, фізичне виведення з ладу каналів зв'язку призводить до зменшення загальної пропускної здатності, але не тільки за рахунок втрати каналів зв'язку. Зміна структури мережі тягне за собою зростання обсягів службової інформації, спрямованої на забезпечення функціонування системи передачі даних, а отже до зменшення частки обчислювального ресурсу елементів мережі, спрямованого на виконання основної функції - передачі даних.

**Ключові слова:** протокол стану каналів зв'язку, інформаційно-телекомунікаційна система (мережа), алгоритм маршрутизації.

### Вступ

Основою сучасної військової інформаційно-телекомунікаційної системи (ІТС) є мультисервісна мережа. Як показують дослідження процесів в різних системах передачі даних, заснованих на мультисервісних мережах, фізичне виведення з ладу каналів зв'язку призводить до зменшення загальної пропускної здатності, але не тільки за рахунок втрати каналів зв'язку. Зміна структури мережі тягне за собою зростання обсягів службової інформації, спрямованої на забезпечення функціонування системи передачі даних, а отже до зменшення частки обчислювального ресурсу елементів мережі, спрямованого на виконання основної функції - передачі даних. Таким чином, перспективні ІТС повинні забезпечувати необхідну якість доведення інформації в надзвичайних умовах, з урахуванням зростаючих можливостей РЕБ, засобів вогневого ураження і високоточної зброї. У цих умовах перспективними напрямком в удосконаленні військової інформаційно-телекомунікаційної системи

(ВІТС) є розробка і впровадження інформаційних технологій для ефективної роботи систем зв'язку (систем передачі даних), які б забезпечили передачу інформації між пунктами управління та підпорядкованими підрозділами з необхідною якістю.

Метою статті є вдосконалення алгоритму протоколу стану каналу зв'язку для забезпечення маршрутизації в інформаційно-телекомунікаційній системі (мережі) військового призначення.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу та синтезу.

### Результати

Основою ВІТС є сукупність взаємопов'язаних і узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів і ліній зв'язку різного призначення, що розгортаються або створюються за єдиним планом для вирішення завдань забезпечення управління військами і зброєю [2].

В умовах зростання обсягів інформаційних потоків, що передаються між пунктами управління та підпорядкованими підрозділами і динамічної зміни

структури базової мережі, обумовленої впровадженням мобільних компонент системи зв'язку або втратою мережевих елементів, однією з найважливіших характеристик є оперативність обміну інформацією [1]. Саме завдяки швидкому і надійному обміну даними між складовими такої системи буде досягтися інформаційна перевага і, як наслідок, перемога в бойових операціях. З огляду на вище сказане, підвищення якості процесів в глобальній мережі зв'язку (англ. Wide Area Network (WAN)) виходить на лідируючі позиції в сучасних дослідженнях.

Вивчення робіт попередників, що досліджували ефективність функціонування військових систем зв'язку як правило базувались на дослідженні аналогових систем зв'язку або з використанням технологій, що вже застаріли та не набули широкого поширення наприклад як ATM (англ. Asynchronous Transfer Mode – асинхронний спосіб передачі даних) [3]. На сьогодні у військах найбільш поширеною технологією передачі даних є технологія Ethernet (буквально: ефірна мережа) – найпопулярніший протокол кабельних комп'ютерних мереж, що працює на фізичному та каналному рівні мережевої моделі OSI. За технічним визначенням Ethernet – сімейство протоколів стандарту IEEE 802.3. Ethernet тісно пов'язаний з моделлю TCP/IP, оскільки у переважній більшості випадків служить для передачі IP-пакетів.

Ethernet-мережі працюють на швидкостях 10Мбіт/с, Fast Ethernet – на швидкостях 100Мбіт/с, Gigabit Ethernet – на швидкостях 1000Мбіт/с, 10 Gigabit Ethernet – на швидкостях 10Гбіт/с. В кінці листопада 2006 року було прийняте рішення про початок розробок наступної версії стандарту з досягненням швидкості 100Гбіт/с (100 Gigabit Ethernet).

З огляду на високу інтенсивність обміну в даній мережі і зміна характеру інформаційних потоків, виникає необхідність у зміні підходів до управління розподілом обчислювального ресурсу в мережі з метою досягнення необхідної оперативності (найчастіше в режимі, наближеному до режиму реального часу). Дані питання в даний час розглядаються при створенні і розвитку комплексних багатофункціональних системах автоматизації управління військами і зброєю в багатьох країнах світу.

Сучасні мультисервісні телекомунікаційні мережі Збройних Сил України функціонують за IP-протоколом, мають ієрархічну, просторово розподілену структуру та містять:

- транспортну мережу;
- мережі доступу;
- систему управління.

Перехід від аналогових систем зв'язку до цифрових призвели до створення саме інформаційно-телекомунікаційних систем (мереж) які мають свої властивості у наказі Генерального штабу Збройних Сил України від 26.08.2020 року №80 “Про затвердження та введення в дію методик розрахунку потреб та основних показників для забезпечення стійкого функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж Міністерства оборони та Збройних Сил України” були висунуті наступні вимоги до ІТС (рисунок 1) [4].

Провівши аналіз вимог зазначених на рисунку 1 слід звернути увагу на нову вимогу до ІТС яка раніше не

використовувалася - це “керованість” нажаль її було віднесено до додаткових показників, хоча проведені попередні дослідження вказують на те, що керованість буде значно впливати на такі показники як пропускна спроможність та стійкість, тому, при оцінці ефективності функціонування ІТС варто звернути особливу увагу на даний показник.

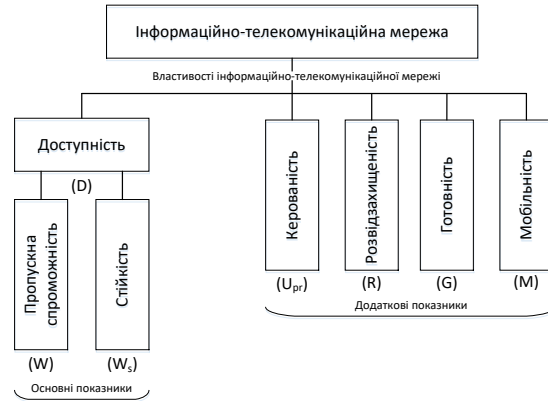


Рисунок 1. Структура показників властивостей інформаційно- телекомунікаційної мережі

Основною проблемою ІТС під час функціонування є проблема підвищення пропускної здатності під час пікових навантажень. На сьогоднішній час завдання керування перенавантаженням ІТМ вирішується протоколами маршрутизації OSPF, IS-IS, RIP в IP-мережах.

Алгоритм Дейкстри цей алгоритм є процедурою пошуку найкоротшого шляху на зваженому орієнтованому графі [5]. Алгоритм використовується протоколами маршрутизації OSPF та IS-IS в IP-мережах. Ребра графа мають вагу  $\omega(i, j)$  таку, що

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, \text{ якщо } i = j, \text{ та сама вершина,} \\ w > 0, \text{ якщо } |i - j| < 2 \text{ сусідні вершини,} \\ \infty, \text{ якщо інакше.} \end{cases} \quad (1)$$

Довжина шляху на кожному кроці від вершини визначається правилом

$$L_k = \min_V [L(k), L(V) + w_{ij}] \text{ для } V \notin G, L(s) = 0. \quad (2)$$

Правило (1) не дозволяє робити проходи по дугам графа  $G$  з великою вагою. Таким чином, множина вершин в графі  $G$  являє собою впорядковану послідовність зв'язаних між собою вузлів, яка містить найкоротший шлях від вершини  $s$  до  $k$ . Цей шлях показаний на рисунку 2 стрілками.

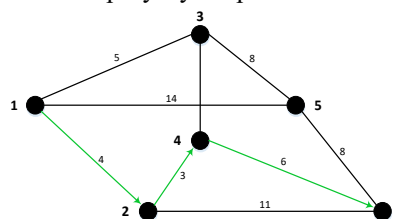


Рисунок 2. Структура зваженого графа

В кожний розрахунковий момент часу на маршрутизатор  $i$  поступає сумарний потік інформації, призначений для передавання кожному маршрутизатору  $j$ . Цей потік визначає таблицю маршрутизації, яку можна визначити матрицею  $P(t)$  розмірності  $N \times N$  з нульовою головною діагоналлю

$$P(t) = \sum_{i,j} c_{ij}(t), k \in K, \quad (3)$$

де  $K$  – множина потоків інформації, яка зв'язана з відповідними IP-адресами, а  $c_{ij}$  – пропускна здатність. Наприклад компанія Cisco в маршрутизаторах визначає вагу дуг за формулою

$$w_{ij} = \frac{10^8}{c_{ij}(t)}, \quad (4)$$

Оскільки алгоритм є ітераційним, то число ітерацій визначається кількістю вершин графа, тому часова складність алгоритму  $O(N)$ . В межах кожної ітерації, відбувається нове проходження з врахуванням нової  $(j+1)$  вершини. При цьому вершини з найбільшою вагою вивільняються, а довжина шляху з новими вершинами поновлюється, кращий результат запам'ятовується. Це те ж оцінюється кількістю вершин. Загальна продуктивність алгоритму оцінюється величиною  $O(N^2)$ . Таким чином, алгоритм Дейкстри є ресурсоємним, але завдяки знанням топології мережі і шляху до потрібної вершини, маршрутизатор завжди знаходить альтернативний шлях до потрібного вузла мережі у випадку виникнення проблем у будь-якому вузлу визначеного шляху.

Резервування пропускної здатності повинно враховувати навантаження мережі. Для контролю маршрутизатор доповнюється засобами вимірювання навантаження, які будуть створювати аналогічно (3) матрицю навантажень  $X = |x_{ij}|$ . Тоді алгоритм з резервуванням трафіку може бути записаний як

$$\bar{c}_{ij}(t) = \begin{cases} c_{ij} + \Delta, & \text{якщо } c_{ij} < x_{ij}, \\ c_{ij}, & \text{якщо інакше,} \end{cases} \quad (5)$$

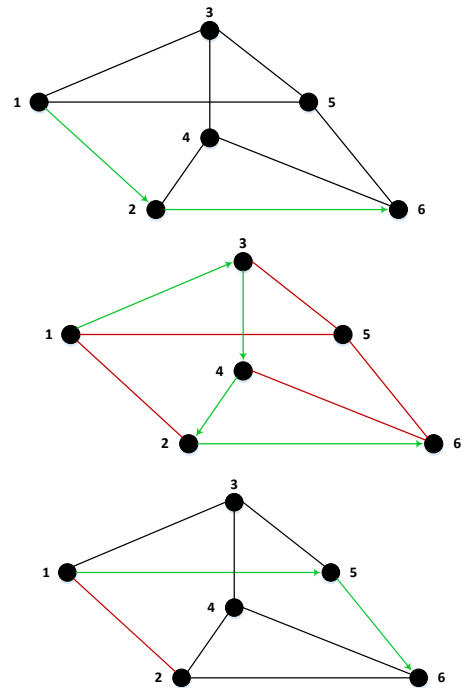
де  $\Delta$  – частка, що компенсує перенавантаження.

Слід також звернути увагу і на алгоритм Белмана-Форда за сутністю він нагадує алгоритм Дейкстри. На відміну від алгоритму Дейкстри цей алгоритм не відкидає ребр з великою вагою та ітераційно розраховує довжину усіх шляхів в графі, запам'ятовуючи мінімальний шлях, використовується протоколом маршрутизації RIP при чому довжина маршруту не повинна бути більше 16 (безкінечність) це зроблено для того щоб уникнути великих петель в мережі. Кількість ітерацій, як і в алгоритмі Дейкстри визначається кількістю вершин, а кількість розрахунків в межах ітерації кількістю ребр, то часова складність алгоритму оцінюється величиною  $O(V \cdot R)$ . При однакових

розмірах графа алгоритм Дейкстри є менш ресурсоємним ніж Белмана-Форда, а значить більш швидкий. Зменшення ресурсоємності можна досягти зменшенням кількості ребр, тобто переходом до розрідженого графу.

Тож пропонуємо розглянути зміну структури системи, що функціонує за алгоритмом Белмана-Форда.

Під реконфігурацією інформаційної системи будемо розуміти зміну будови системи, яка стосується розміру чи її топології. Особливістю реконфігурації є перебудова структури та топології системи з метою виключення перевантажень та збоїв в роботі системи. Вважається, що мережа виконує свої функції, поки між вузлами здійснюється обмін інформації. Приклад реконфігурування системи показаний на рисунку 3.



Рисунк 3. Зміна будови інформаційно-телекомунікаційної системи в результаті втрати зв'язку

Таким чином, внаслідок перевантажень чи збоїв топологія локальної мережі змінюється до тих пір поки не залишиться хоча б один маршрут для передачі даних.

Відповідно до загального уявлення про інформаційно-телекомунікаційну мережу слід зауважити, що вона є системою з обмеженою кількістю можливих станів. Тому її поведінку можна промоделювати за допомогою математичного апарату аналізу марківських ланцюгів.

Будемо вважати, що в процесі роботи мережі, яка складається з кінцевої множини елементів  $N$ , обмінюється інформацією між всіма елементами за протоколами OSPF або RIP, що відповідає умовам нормального функціонування системи [6]. Початковий стан мережі позначимо  $S_1$ . Якщо за якимись не випадковими причинами починають виходити з ладу елементи мережі чи може пропадати обмін інформацією, то відбувається перехід системи до іншого стану. Будемо вважати, що елементи системи не перевантажуються одночасно, а по одному, тому

здійснюються послідовні переходи зі стану  $S_i$  у стани  $S_2, S_3, \dots, S_i$  через певні інтервали часу  $\Delta t$ ,  $i$  означає номер стану. Послідовний набір станів комп'ютерної мережі та переходів між ними утворює ланцюг Маркова. Оскільки ланцюг послідовний, то функціонування системи можна подати у вигляді схеми "загибель-розмноження".

Нехай комп'ютерна мережа складається з  $n$  вузлів, тому відповідно до підходу за схемою "загибель-розмноження" введемо стани  $S_i, i=1..n+1$ , де  $S_1$  – стан мережі, що відповідає функціонуванню всіх вузлів без перевантажень. За умови впливу зовнішніх і внутрішніх факторів погіршується пропускна здатність каналів в мережі з фіксованою інтенсивністю  $\lambda$ . При цьому здійснюється перехід в стани, коли вузли поступово втрачають пакети, послідовно один за другим. Таким чином, здійснюється перехід в стан  $S_2$ , коли не працює 1 вузол, і так далі, а відповідно  $S_{n+q}$  – комп'ютерна мережа перестала виконувати завдання у зв'язку з виходом з ладу  $(n-q)$  - вузлів. Система також може вживати заходи щодо нарощування пропускної здатності, що відбувається з інтенсивністю  $\mu > \lambda$ . При цьому з інтенсивністю  $\mu$  відбуваються послідовні переходи зі станів  $S_i$  у стани  $S_{i-1}$ . Знайдемо ймовірності  $P_i$  знаходження інформаційно-телекомунікаційної мережі в кожному з кінцевих станів  $S_i$  та проаналізуємо їх. Ймовірності знаходження системи у фінальних станах знаходяться за формулами

$$P_i = P_0 \frac{\prod_{k=1}^i \lambda^k}{\prod_{k=1}^i \mu^k}, i \neq 0, \quad P_0 = \left( 1 + \sum_{k=1}^n \frac{\prod_{k=1}^i \lambda^k}{\prod_{k=1}^i \mu^k} \right)^{-1} \quad (6)$$

Результати розрахунку за формулами (6) свідчать про те, що чим більше  $\mu$ , тим краще система справляється з пакетами, більше ймовірність знаходження її у стані з мінімальними затримками та менше ймовірність знаходження у стані з найбільшими затримками.

Розглянувши алгоритми Дейкстри та Белмана-Форда можна зробити висновки щодо їх ефективності адже керованість в даних мережах не потребує втручання з зовні, система працює автономно. Алгоритм Дейкстри більш складний, але враховує пропускну здатність каналу зв'язку, але на жаль не враховує перевантаженість каналу це призводить до того що деякі канали більш навантажені ніж інші. Вирішення цього питання можливо врахувавши навантаженість каналу і таким чином навантаження в мережі здійснюватиметься більш рівномірно, алгоритм Белмана-Форда, пропускну спроможність каналу зв'язку не враховує, але за рахунок своєї простоти він є більш швидким. Обидва методи за рахунок автоматизації процесів позитивно впливають на стійкість ІТС, але лише опосередковано, для ВІТС цього не зовсім достатньо. Тому пропонється створити алгоритм маршрутизації який би задовольнив потреби військових.

На рисунку 1 зазначені вимоги до ВІТС відповідно до них ми робимо висновки, що основними показниками ефективності функціонування ВІТС є пропускна здатність та стійкість, але є вимога така як розвідзахищеність, яка повинна бути також врахована в алгоритмі маршрутизації ВІТС, адже скритність управління досягається за рахунок використання максимально розвідзахищених каналів зв'язку, проте не завжди такі канали зв'язку можливо забезпечити. В такому випадку інформація по таких каналах зв'язку повинна проходити лише в тому випадку коли решта каналів зв'язку не можуть забезпечити обмін інформацією. Таку задачу в автоматичному режимі може вирішити запропонований варіант маршрутизації.

Тому запропонований протокол маршрутизації буде враховувати пропускну спроможність та стійкість назвемо його throughput and stability (T&S) який будемо використовувати в IP-мережах. Ребра графа мають вагу  $\omega$  таку, що

$$\omega_{\mu, K_{cm}, K_{p/3}} = \begin{cases} \mu = \mu_{k3} - \mu_n, \text{ при умові, що } \mu > 0, \\ 0 < K_{cm} \leq 1, \text{ чим ближче до 1 тим краще,} \\ 0 < K_{p/3} \leq 1, \text{ чим ближче до 1 тим краще.} \end{cases} \quad (7)$$

Таким чином для вибору найкращого маршруту необхідно побудувати матриці маршрутизації за кожним з критеріїв, тоді отримаємо

$$\mu = \begin{vmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \dots & \mu_{1n} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \dots & \mu_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{m1} & \mu_{m2} & \dots & \mu_{mn} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

$$K_{cm} = \begin{vmatrix} K_{cm11} & K_{cm12} & \dots & K_{cm1n} \\ K_{cm21} & K_{cm22} & \dots & K_{cm2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{cmm1} & K_{cmm2} & \dots & K_{cmmn} \end{vmatrix}, \quad (9)$$

$$K_{p/3} = \begin{vmatrix} K_{p/311} & K_{p/312} & \dots & K_{p/31n} \\ K_{p/321} & K_{p/322} & \dots & K_{p/32n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{p/3m1} & K_{p/3m2} & \dots & K_{p/3mn} \end{vmatrix}, \quad (10)$$

Маючи дані з даних трьох матриць необхідно побудувати таблицю маршрутизації у вигляді матриці за найбільш ефективним маршрутом

$$\omega = \begin{vmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{m1} & \omega_{m2} & \dots & \omega_{mn} \end{vmatrix}, \quad (11)$$

$$\text{де } \omega_{mn} = \mu_{mn} \cdot K_{cmmn} \cdot K_{p/3mn}.$$

Для того щоб не завантажувати маршрутизатори надлишковими обчислювальними процесами наповнення матриці здійснити лавинним методом як це

реалізовано в протоколі OSPF. Також для підвищення ефективності функціонування доцільно створити центр контролю та управління ВІТС це дасть змогу своєчасно реагувати на кризові ситуації, виявляти несанкціоновані підключення та своєчасно підключати резерв сил і засобів для ефективного функціонування ВІТС.

### Висновки

Отже для того щоб ВІТС більш ефективно функціонувала за наявними протоколами необхідно провести лише розрахунки необхідної пропускної спроможності що включатиме вхідний та вихідний потік даних та резерв пропускної спроможності. Для запропонованого алгоритму маршрутизації T&S необхідно крім розрахунків пропускної спроможності провести ще й розрахунки стійкості та розвідзахисності. Для визначення наскільки це вплине на швидкість формулювання таблиць маршрутизації необхідно провести додаткові дослідження.

### Список використаних джерел

1. ВСТ 01.112.001-2006. Військовий зв'язок. Терміни та визначення. – К., 2006. – 26 с.
2. Технологія АТМ – асинхронний режим переносу інформації [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://learn.ztu.edu.ua>.
3. Зв'язок та інформаційні системи : доктрина / Центральне управління зв'язку та інформаційних систем Генерального Штабу Збройних Сил України. Київ, 2020. 74 с.
4. Наказ Генерального штабу Збройних Сил України №80 від 26.08.2020 року "Про затвердження та введення в дію методик розрахунку потреб та основних показників для забезпечення стійкого функціонування інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж Міністерства оборони України та Збройних Сил України".
5. Алгоритм Дейкстри [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://disted.edu.vn.ua>.
6. Розв'язок задачі про найкоротший шлях використовуючи алгоритм Беллмана-Форда. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.mathros.net.ua/rozvjazok-zadachi-pro-najkorotshyj-shljah-vukorustovujuchu-algorytm-bellmana-forda.html>.

## IMPROVED ALGORITHM FOR COMMUNICATION CHANNEL STATE PROTOCOL FOR ROUTING IN A MILITARY INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEM (NETWORK)

<sup>1</sup>Yurii Khazhanets (Ph.D.)

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

<sup>1</sup>Iona Korenivska (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-0544-6082>

<sup>2</sup>Maxim Kasianenko (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-3749-4441>

<sup>1</sup>The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Department of Military Education and Science of the Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*The article analyzes the available algorithms for communication channel state protocols, which are necessary to ensure routing in the information and telecommunication system (network), since they were oriented for civilian use, there was a need to create a communication channel state protocol specifically for military information and telecommunication systems (network). After all, as indicated by the conducted studies of processes in various data transmission systems based on multi-service networks, the physical failure of communication channels leads to a decrease in the total bandwidth, but not only due to the loss of communication channels. A change in the structure of the network entails an increase in the volume of service information aimed at ensuring the functioning of the data transmission system, and therefore to a decrease in the share of computing resources of network elements aimed at performing the main function - data transmission.*

**Keywords:** communication channel status protocol, information and telecommunication system (network), routing algorithm.

### References

1. VST 01.112.001-2006. Military communications. Terms and definitions. - K., 2006. - 26 p.
2. ATM technology - asynchronous mode of information transfer [Electronic resource] / Access mode: <https://learn.ztu.edu.ua>
3. Communication and information systems: doctrine / Central Department of Communication and Information Systems of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. Kyiv, 2020. 74 p.
4. Order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine

"On the approval and implementation of methods for calculating needs and key indicators to ensure the stable functioning of information and telecommunication systems and networks of the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine" No. 80 dated August 26, 2020.

5. Dijkstra's algorithm [Electronic resource] / Access mode: <https://disted.edu.vn.ua>.

6. Solving the shortest path problem using the Bellman-Ford algorithm [Electronic resource] / Access mode: <https://www.mathros.net.ua/rozvjazok-zadachi-pro-najkorotshyj-shljah-vukorustovujuchu-algorytm-bellmana-forda.html>

**УДК 681.324**

<sup>1</sup>Дахно Наталія Борисівна (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-3892-4543>

<sup>2</sup>Барабаш Олег Володимирович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-5030-2580>

<sup>2</sup>Миронюк Микола Юрійович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

<sup>2</sup>Базіло Сергій Михайлович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

<sup>2</sup>Коломієць Юрій Миколайович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОКРОКОВОГО ВАРІАЦІЙНО-ГРАДІЄНТНОГО МЕТОДУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

*В статті розглядається застосування однокрокового варіаційно-градієнтного методу в системах керування безпілотними літальними апаратами у складі програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень. Проведено чисельний експеримент, який показав ефективність застосування вказаного методу. Вирішено завдання розробки оптимальної програми польоту БпЛА із застосуванням наближених методів для класу завдань спостережень та пошуку заданих об'єктів, а також виконання польоту згідно з заданою програмою для використання у складі програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень для забезпечення якості і ефективності управління.*

**Ключові слова:** протокол стану каналів зв'язку, інформаційно-телекомунікаційна система (мережа), алгоритм маршрутизації.

### Вступ

Інтенсивний розвиток безпілотних літальних апаратів (БпЛА) за останній час привів до значного поширення переліку завдань, які успішно вирішуються безпіотною авіацією як в військовій, так і в цивільній сферах [1, 2].

У зв'язку із бойовими діями в нашій країні цей напрямок набув ще більшого значення. Застосування безпілотної авіації на лінії бойового зіткнення призводить до більш успішних дій Сил оборони та допомагає значно зменшити втрати.

Особливе місце на лінії бойового зіткнення займає клас завдань спостереження та пошуку об'єктів. Очевидно що для мінімізації витрат на виконання завдань пошуку конкретних об'єктів за їх розмірами та з урахуванням погодних умов кожного разу повинна розроблятися спеціальна програма польоту БпЛА [3, 4]. В зв'язку з цим можна стверджувати, що завдання розробки оптимальної програми польоту БпЛА із застосуванням наближених методів для класу завдань спостережень та пошуку заданих об'єктів, а також виконання польоту згідно з заданою програмою, є безумовно актуальним.

### Матеріали та методи

Дослідження і розробка алгоритмів, що узгоджують динамічні характеристики об'єкта пошуку з параметрами польоту БпЛА дозволяє в реальному масштабі часу розробляти оптимальну програму польоту БпЛА для вирішення задач спостереження та пошуку заданих об'єктів.

Система підтримки прийняття рішень (СППР)

повинна вирішувати ряд основних задач, серед яких: визначення оптимальних режимів польоту в залежності від завдань, що вирішуються; визначення оптимальної траєкторії польоту для виконання польотного завдання; побудова оптимальних планів (програм) польотів [5 – 8]. З метою вирішення цих завдань в останній час широко застосовуються оберненні задачі механіки. Ці задачі по визначенню прикладених до механічної системи активних сил і моментів, а також параметрів даної системи і накладених на неї зв'язків, при яких стає можливим один із рухів із заданими властивостями. Це дає можливість побудови траєкторій, наближених до оптимальних з урахуванням прийнятих обмежень.

Метою статті є вирішення завдання розробки оптимальної програми польоту БпЛА із застосуванням однокрокового варіаційно-градієнтного методу для класу завдань спостережень та пошуку заданих об'єктів, а також виконання польоту згідно з заданою програмою у складі програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень із забезпечення якості і ефективності управління.

### Результати

Система підтримки прийняття рішень в контурі системи управління БпЛА функціонує наступним чином: керівник розрахунку плану використання БпЛА – особа, що приймає рішення (ОПР), отримує завдання на проведення пошуку заданого об'єкта в визначеному районі, уточнює та доводить його до оператора керування БпЛА. Оператор формалізує

задачу та на її основі, з урахуванням картографічної інформації, оцінки ситуації, аналізу даних, розробляє основні вимоги до виконання польотного завдання для БпЛА. Далі він вводить в СППР відповідні необхідні дані. На основі аналізу вхідної інформації щодо виконання задачі пошуку і розрахунків параметрів польоту БпЛА, СППР за допомогою модулів побудови варіантів плану (програми) польоту формує варіанти цього плану. В модулі прийняття рішення СППР на основі отриманих варіантів здійснюється вибір оптимального плану польоту. При необхідності ОПР контролює і корегує процес вибору плану польоту та, при необхідності, вносить зміни в нього. Характеристики отриманої програми польоту від СППР передаються в підсистему керування БпЛА, яка забезпечує виконання цієї програми.

Будемо досліджувати БпЛА, що рухається в площині і моделюється матеріальною точкою масою  $m$  [9]. Його рух описується системою із трьох звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. При відповідному виборі управляючих сил  $(F_r, F_\varphi)$  рівняння такого типу описують плоский рух літального апарату в фазових змінних  $(r, \dot{r}, \dot{\varphi})$ , де  $(r, \varphi)$  вихідна полярна система координат. При цих умовах динамічна модель руху літального апарату описується рівняннями:

$$m(\ddot{r} - r\dot{\varphi}^2) = F_r, \quad m(r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi}) = F_\varphi. \quad (1)$$

Нехай управляючі сили

$$F_r = m[\mu_2^2 r^2 - r\dot{\varphi}^2 - (\mu_1 + \mu_2)(\dot{r} + \mu_2 r) + g(\dot{\varphi})], \quad (2)$$

$$F_\varphi = m[(2\dot{r} - \mu_3 r)\dot{\varphi} + r^2],$$

де  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  сталі і  $g(\dot{\varphi})$  управляюча функція. Можна провести заміну змінних наступним чином:

$$x_1 = \dot{r} + \mu_2 r, \quad x_2 = r, \quad x_3 = \dot{\varphi}. \quad (3)$$

Тоді вихідні рівняння траєкторії руху БпЛА можна записати у вигляді трьохвимірної системи:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\mu_1 x_1 + g(x_3), \\ \dot{x}_2 = -\mu_2 x_2 + x_1, \\ \dot{x}_3 = -\mu_3 x_3 + x_2. \end{cases} \quad (4)$$

Ця система є основним об'єктом дослідження. Отримана система рівнянь зводиться до звичайного диференціального рівняння третього порядку

$$y''' + (\mu_1 + \mu_2 + \mu_3)y'' + (\mu_1\mu_2 + \mu_1\mu_3 + \mu_2\mu_3)y' + \mu_1\mu_2\mu_3 y = g(y); \quad (5)$$

відносно невідомої  $y(t) = x_3(t)$ .

В класичному аналізі розроблено багато прийомів знаходження розв'язків таких рівнянь за допомогою елементарних (або спеціальних) функцій. Але часто при розв'язанні практичних задач ці методи виявляються або геть безпорадними, або надто витратними в часі. Тобто не мають застосування у режимі реального часу, у якому має коригуватися траєкторія руху та польотне завдання БпЛА. По цій причині для розв'язання задач практики були створені методи наближеного розв'язку диференціальних рівнянь. Серед великої кількості цих методів найчастіше на практиці застосовують варіаційні, проєкційні, градієнтні та різницеві методи. Останнім часом все частіше застосовуються підходи, які суттєво прискорюють швидкість збіжності градієнтних методів, мають більш широкую область застосування і більш стійкі до збурень. Ці підходи поєднують у собі ідеї як варіаційних, так і градієнтних методів [1, 10, 11].

Проведемо порівняльний експеримент з метою демонстрації реальних можливостей варіаційно-градієнтних методів в порівнянні з градієнтним методом при дослідженні динамічних моделей руху БпЛА (1), (2).

Для цього розглянемо динамічну модель, що описується рівняннями (1) і управляючими силами:

$$\begin{aligned} F_r &= m[5r^2 - r\dot{\varphi}^2 + 56 - 24t^2 - \\ &- 4 \int_0^1 G(t, \xi) \dot{\varphi}(\xi) d\xi], \\ F_\varphi &= m[2\dot{r}\dot{\varphi} + r^2], \end{aligned} \quad (6)$$

де

$$G(t, \xi) = \begin{cases} \xi, & 0 \leq \xi \leq t \\ \xi - 1, & t \leq \xi \leq 1 \end{cases}. \quad (7)$$

При умовах  $\dot{\varphi}(0) = \dot{\varphi}(1) = \ddot{\varphi}(1) = 0$ .

Зводячи (1), (6) до звичайного диференціального рівняння третього порядку отримаємо задачу:

$$\begin{cases} y'''(t) - 5y'(t) + 4 \int_0^1 G(t, \xi) y(\xi) d\xi = 56 - 24t^2; \\ y(0) = y(1) = y''(1) = 0. \end{cases} \quad (8)$$

В процесі експерименту до динамічної моделі (8), (7) для аналізу траєкторії руху БпЛА застосовувались метод найшвидшого спуску та однокроковий і двокроковий варіаційно-градієнтні методи для рівнянь з  $K$  - позитивно визначеними  $K$  - симетричними операторами.

Задача (8), (7) задовільняє умовам теорем про збіжність однокрокового і варіаційно-градієнтного метода для рівнянь з  $K$  - позитивно визначеними  $K$  - симетричними операторами [3, 7], якщо



Таблиця 1

$$Ky(t) = \int_0^t y(\xi) d\xi, \quad \begin{cases} By(t) = y''', \\ y(0) = y(1) = y''(1) = 0. \end{cases}$$

Значить система (1), (8), що описує динамічну модель руху БПЛА має єдиний розв'язок, а також однокроковий варіаційно-градієнтний метод для цієї задачі збігається.

Для рівняння (8) точний розв'язок можна отримати аналітичним чином. Точний розв'язок має наступний вигляд (рис.1):

$$\dot{\varphi} = y^*(t) = -0.2529233637e^{2t} + 4.3030627419e^t + 11.6969372581e^{-t} - 15.7470766363e^{-2t} - 12t.$$

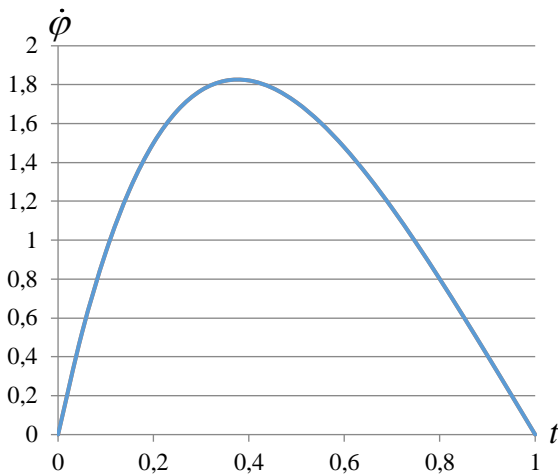


Рисунок 1. Швидкість зміни кута поворота БПЛА

Для реалізації однокрокового варіаційно-градієнтного методу обчислення проводились за допомогою математичного пакету Derive A Mathematical Assistant.

За координатні функції була взята послідовність функцій

$$\{\varphi_i(t) = t^i(t-1)^3\}_{i \geq 1} \subset H_0.$$

При побудові наближень було покладено  $n = 2$ , тобто брались дві координатні функції

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &= t(t-1)^3, \\ \varphi_2(t) &= t^2(t-1)^3. \end{aligned}$$

За початкове наближення була взята довільна функція з  $H$ :

$$y_0 = t(t-1)^3.$$

При розв'язанні цієї задачі однокроковим варіаційно-градієнтним методом, вже після першої ітерації ми отримали розв'язок з точністю до  $\varepsilon = 10^{-4}$ . Після другої ітерації точність розв'язку вже складала  $\varepsilon = 10^{-6}$ .

Нижче в таблиці наведені результати обчислень.

Однокроковий варіаційно-градієнтний метод

t\y	y*-y1	y*-y2	y*-y3
0	0	0	0
0,25	8,688108·10 <sup>-4</sup>	5,94684·10 <sup>-7</sup>	9,920092·10 <sup>-8</sup>
0,5	8,284705·10 <sup>-4</sup>	1,6588193·10 <sup>-6</sup>	6,572202·10 <sup>-7</sup>
0,75	4,087585·10 <sup>-4</sup>	9,157572·10 <sup>-6</sup>	1,402053·10 <sup>-6</sup>
1	0	0	0

Таким чином, однокроковий варіаційно-градієнтний метод показує дуже хорошу швидкість збіжності і є стійким до збурень. Такі показники дозволять суттєво зменшити розрахункові затрати при незмінній точності обчислень.

### Висновки

Таким чином, в статті був розглянутий варіант вирішення завдання розробки оптимальної програми польоту БПЛА із застосуванням однокрокового варіаційно-градієнтного методу для керування безпілотними літальними апаратами у складі програмного забезпечення систем підтримки прийняття рішень, реалізація якого дозволить досягти нової якості функціонування автоматизованих систем управління, істотно підвищити оперативність обробки інформації в процесах прийняття рішень і тим самим підвищити якість і ефективність управління. Це дозволить підвищити ефективність застосування безпілотних комплексів розвідки та спостереження за рахунок автоматизації підготовки польотного завдання, оптимізації маршруту польоту з прив'язкою до електронної мапи місцевості та визначення оптимальних параметрів польоту з можливістю корегування параметрів польотного завдання в реальному масштабі часу.

### Список використаних джерел

1. N. Dakhno, O. Barabash, H. Shevchenko, O. Leshchenko and A. Musienko, "Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control," 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), KYIV, Ukraine, 2020, pp. 81-84, doi: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255516.
2. Tyurin V., Martyniuk O., Mirnenko V., Korenivska I. General Approach to Counter Unmanned Aerial Vehicles. 5th International Conference ACTUAL PROBLEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DEVELOPMENT (APUAVD-2019) Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), October 22-24, 2019 Kyiv, Ukraine, pp. 75 – 78.
3. Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик/ В.М. Ильюшко, М.М. Митрахович, А.В. Самков, В.И. Силков и др.; под об. ред. В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. 302 с.
4. Беспилотные летательные аппараты: Методика сравнительной оценки боевых возможностей/ М.М. Митрахович, В.И. Силков, А.В. Самков, Х.В. Бурштынская и др.; под об. ред. В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. 288 с.
5. Сільков В.І. Бойове маневрування літальних апаратів. К.: НАОУ, 2004. 340 с.
6. Силков В.И. Динамика полета летательных аппаратов. К.: КМУ ГА, 1997. 425 с.



7. Mashkov O.A., Murasov R.K., Kravchenko Y.V., Dakhno N.B., Leschenko O.A., Trush, A.V. Optimal forecast algorithm based on compatible linear filtration and extrapolation. *Mathematical Modeling and Computing*, 2021, № 8 (2), pp. 157 – 167. <https://doi.org/10.23939/mmc2021.02.157>

8. Tymochko O., Pavlenko M., Larin V., Osieivskiy S., Kasianenko M. Research of providing the video information protection using wireless technologies for aerial reconnaissance by unmanned aerial vehicles. 6th International Conference Actual problems of unmanned aerial vehicles development (APUAVD-2021) Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), October 19-21, 2021 Kyiv, Ukraine, pp. 49–52.

9. Кондратьева Л.А. Обратные краевые задачи на многообразиях // Вестник Российского университета дружбы народов, Серия Математика. Информатика. Физика. 2010. №1. С.34-38.

10. Barabash O. V., Shevchenko H. V. Modified gradient method in a decision support system for control unmanned aerial vehicles. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2016, №16. 60 – 62 с.

11. N. Dakhno, H. Shevchenko, O. Leshchenko and A. Musienko, "Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control," 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 2020, pp. 81-84.

## **APPLICATION OF THE ONE-STEP VARIATION-GRADIENT METHOD FOR CONTROLLING UNMANNED AIRCRAFT**

<sup>1</sup>**Nataliia Dakhno** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-3892-4543>

<sup>2</sup>**Oleg Barabash** (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-5030-2580>

<sup>2</sup>**Mykola Myroniuk** (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-7164-2700>

<sup>2</sup>**Serhii Bazilo** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

<sup>2</sup>**Yurii Kolomiets** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-9767-0750>

<sup>1</sup>*Kyiv National University named after Taras Shevchenko, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

*The article considers the application of the one-step variational-gradient method in control systems of unmanned aerial vehicles as part of the software of decision support systems. A numerical experiment was conducted that showed the effectiveness of the specified method. The task of developing the optimal UAV flight program using approximate methods for the class of tasks of observation and searching for given objects, as well as flight execution according to the given program for use as part of decision support system software to ensure the quality and efficiency of management, has been solved.*

**Keywords:** *communication channel status protocol, information and telecommunication system (network), routing algorithm.*

### **References**

1. N. Dakhno, O. Barabash, H. Shevchenko, O. Leshchenko and A. Musienko, "Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control," 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), KYIV, Ukraine, 2020, pp. 81-84, doi: 10.1109/MSNMC50359.2020.9255516.

2. Tyurin V., Martyniuk O., Mimenko V., Korenivska I. General Approach to Counter Unmanned Aerial Vehicles. 5th International Conference ACTUAL PROBLEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES DEVELOPMENT (APUAVD-2019) Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), October 22-24, 2019 Kyiv, Ukraine, pp. 75 – 78.

3. Bespylotnye letatelnye apparaty: Metodyky priblyzhennykh raschetov osnovnykh parametrov y kharakterystyk/ V.M. Yliushko, M.M. Mytrakhovych, A.V. Samkov, V.Y. Sylkov y dr.; pod ob. red. V.Y. Sylkova. – K.: TsNYY VVT VS Ukrayny, 2012. 302 s.

4. Bespylotnye letatelnye apparaty: Metodyky sravnitelnoi otsenky boevykh vozmozhnostei/ M.M. Mytrakhovych, V.Y. Sylkov, A.V. Samkov, Kh.V. Burshtynskaia y dr.; pod ob. red. V.Y. Sylkova. – K.: TsNYY VVT VS Ukrayny, 2012. 288 s.

5. Silkov V.I. Boiove manevruvannia litalnykh aparativ. K.: NAOU, 2004. 340 s.

6. Sylkov V.Y. *Dynamiyka poleta letatelnykh apparatov*. K.: KMU HA, 1997. 425 s.

7. Mashkov O.A., Murasov R.K., Kravchenko Y.V., Dakhno N.B., Leschenko O.A., Trush, A.V. Optimal forecast algorithm based on compatible linear filtration and extrapolation. *Mathematical Modeling and Computing*, 2021, № 8 (2), pp. 157 – 167. <https://doi.org/10.23939/mmc2021.02.157>

8. Tymochko O., Pavlenko M., Larin V., Osieivskiy S., Kasianenko M. Research of providing the video information protection using wireless technologies for aerial reconnaissance by unmanned aerial vehicles. 6th International Conference Actual problems of unmanned aerial vehicles development (APUAVD-2021) Organized by IEEE Ukraine Section Joint SP/AES Chapter and the National Aviation University (Kyiv), October 19-21, 2021 Kyiv, Ukraine, pp. 49–52.

9. Kondrateva L.A. Обратные краевые задачи на многообразиях // Вестник Росийского университета дружбы народов, Серия Математика. Информатика. Физика. 2010. №1. С.34-38.

10. Barabash O. V., Shevchenko H. V. Modified gradient method in a decision support system for control unmanned aerial vehicles. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, 2016, №16. 60 – 62 с.

11. N. Dakhno, H. Shevchenko, O. Leshchenko and A. Musienko, "Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control," 2020 IEEE 6th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), 2020, pp. 81-84.

**Шановні колеги!**

Запрошуємо до участі у науково-практичному журналі  
“Повітряна міць України”,

Видавець: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського,  
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 імені Івана Черняхівського 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)

<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

← 1 пустий рядок – 6 пт.

← 1 пустий рядок – 10 пт.

← (кегль – 11 та 8 пт.)

← 1 пустий рядок – 6 пт.

← 1 пустий рядок – 10 пт.

**НАЗВА СТАТТІ** (Times New Roman, кегль – 14 пт.; накреслення – “напівжирне”, по центру)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

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 колоннитули. 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 ячійках 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 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 імені Івана Черняховського.  
Св-во КВ № 24979-14919Р. Адреса редакції: 03049, м. Київ, Повітрофлотський пр-т, 28. Тел. (044) 271-05-88.

Підписано до друку 26.12.2022. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум. друк. а. 9,5. Тираж 35 прим. Безкоштовно.

Надруковано у друкарні Національного університету оборони України імені Івана Черняховського.

---