



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ІМЕНІ ІВАНА ЧЕРНЯХОВСЬКОГО  
ІНСТИТУТ АВІАЦІЇ ТА ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ**



**ВИПУСК №1 (1) 2021**

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ**

**ПОВІТРЯНА  
МІЦЬ  
УКРАЇНИ**

# ПОВІТРЯНА МІЦЬ УКРАЇНИ

№ 1 (1)  
2021

## Науково-практичний журнал

Засновник і видавець

В номері:

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 № 14 від 28 грудня 2021 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

ПІТАННЯ РОЗВИТКУ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ УКРАЇНИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ .....	5
Загрози з повітря: сучасність та перспективи (Щипанський П.В., Горобець Ю.О., Каміньський В.В.) .....	5
Застосування підходів теорії нечіткої логіки для оцінювання підготовленості авіаційного персоналу (Гончаренко Є.В., Блискун О.Є., Ткаченко А.В., Ковба О.П., Титаренко О.І.) .....	8
ПІТАННЯ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ, ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ, РАДІОТЕХНІЧНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЗВ'ЯЗКУ .....	12
Аналіз напрямів підвищення можливостей щодо виявлення та супроводження малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів (Пуховий О.В., Бондар В.В.) .....	12
Концепція удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою (Горбачов К.М., Гозюняц С.Ю.) .....	15
Методика розрахунку пропускну здатності каналів зв'язку систем зв'язку військового призначення (Хажанець Ю.А., Медведєв В.К., Ясинецький В.П.) .....	19
Особливості підготовки та ведення протиповітряної оборони загальновійськового об'єднання у операції (Краченко С.О.) .....	23
Підходи до визначення впливу психогенних втрат на ефективність функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою (Гозюняц С.Ю., Горбачов К.М., Смірнов І.І., Базіло С.М.) .....	27
Пропозиції по забезпеченню прикриття окремих механізованих (мотопіхотних, танкових) бригад підрозділами протиповітряної оборони Сухопутних військ при веденні локальних бойових дій (Коваленко С.П., Волков А.Ф., Литовченко Д.М., Яценко О.А., Овчаренко В.В.) .....	31
Шляхи розвитку засобів ППО Сухопутних військ щодо протидії безпілотним літальним апаратам (Волков А.Ф., Левагін Г.А., Мужук М.В., Базіло С.М.) .....	35
ПІТАННЯ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ .....	38
Russia and china's new alliance for outer space cooperation: strategic security analysis (Pawel Bernat) .....	38
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ .....	41
Класифікація завдань спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації в операціях (Ярошенко Я.В., Герасименко В.В., Коротін С.М., Мартинюк О.Р., Блискун О.Є.) .....	41
Теоретичні засади формування конфігурації спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації (Герасименко В.В., Титаренко О.І., Ковба О.П., Бобров С.В., Обозненко Є.Г.) .....	47
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ПОВІТРЯНИХ СИЛ, СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК, ВІЙСЬКОВО- МОРСЬКИХ СИЛ, ДЕСАНТНО-ШТУРМОВИХ ВІЙСЬК ТА ІНШИХ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ .....	55
Математична модель взаємодії наземних та повітряних вогневих засобів під час протидії загрозам з повітря (Резнік Д.В., Мельниченко В.С., Шкурат Б.Ж.) .....	55
ПІТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ .....	63
Peculiarities of development of logistic support for using of unmanned aerial vehicles (Volodymyr Mirnenko, Anatolii Salii, Pavlo Open'ko, Oleksandr Avramenko, Maksym Tyshchenko, Ihor Sachuk, Oleksandr Kaluta) .....	63
Обґрунтування застосування дифузійно-немонотонного розподілу у якості моделі відмов авіаційних засобів ураження (Диптан В.П., Яблоцький П.М., Дуленко Д.І., Поліщук В.В., П'явчук О.О.) .....	70
Обґрунтування раціонального часу між замовленнями авіаційних засобів ураження в системі логістичного (технічного) забезпечення тактичного рівня в умовах невизначеності (Голово Б.Б., Баранік О.М.) .....	73
Оцінка надійності системи, що працює в двох змінних режимах використання (Яблоцький П.М., Целищев Ю.П., Авраменко О.В., Косков Ю.М., Іванов В.І., П'явчук О.О.) .....	77
Розробка імітаційної моделі страхового запасу авіаційно-технічного майна (Чепурний Ю.В., Опищенко В.М.) .....	80
БЕЗПЕКА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ. 83	
Способи підвищення живучості системи зенітного ракетного прикриття в ході її застосування (Глоба О.В., Левченко М.А., Паталаха В.Г.) .....	83
ПІТАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ .....	88
Протидія повітряному тероризму в Україні в сучасних умовах (Ткачов В.В., Каміньський В.В., Степанов Г.С., Орхівський П.В., Луцишин А.М.) .....	88
ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ .....	92
Збільшення ресурсу авіаційної техніки новітніми методами іонно-плазмового зміцнення поверхонь (Джус Р.М., Пешкунов С.А.) .....	92
Перспективні напрями інженерно-авіаційного забезпечення переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на нову авіаційну техніку (Коцюрба А.В., Радько О.В., Коротін І.П., Братусь О.М.) .....	96
Про перспективи використання протипожежних бомб і безпілотної авіації для боротьби з пожежами у реліктових лісах (Бардін О.О.) .....	100
Тенденції розвитку вертольотобудування у світі та його перспективи в Україні (Сафонов І.Є., Коротін С.М.) .....	102
Схема оформлення статей .....	108

## **Редакційна колегія**

### ***Головний редактор***

*КРАВЧЕНКО Юрій Васильович*  
доктор технічних наук, професор

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

*КОРОТІН Сергій Михайлович*  
кандидат технічних наук, доцент

### ***Члени редколегії:***

<i>Авраменко Олександр Васильович</i> доктор технічних наук	<i>Мартинюк Олексій Ростиславович</i> кандидат технічних наук
<i>Герасименко Володимир Вікторович</i> кандидат військових наук	<i>Медведєв Володимир Костянтинович</i> кандидат військових наук, професор
<i>Горбенко Володимир Михайлович</i> кандидат військових наук, доцент	<i>Опенько Павло Вікторович</i> кандидат технічних наук, старший дослідник
<i>Горобець Юрій Олексійович</i> кандидат військових наук, доцент	<i>Паталаха Валерій Григорович</i> кандидат військових наук, доцент
<i>Диптан Валентин Петрович</i> кандидат військових наук, доцент	<i>Пуховий Олександр Володимирович</i> кандидат військових наук, доцент
<i>Коровін Іван Павлович</i> кандидат технічних наук, доцент	<i>Радько Олег Віталійович</i> кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник
<i>Коршець Олена Антонівна</i> кандидат технічних наук, доцент	<i>Резнік Дмитро Вікторович</i> кандидат військових наук
<i>Левченко Михайло Антонович</i> кандидат військових наук, доцент	<i>Якобінчук Олександр Вікторович</i> кандидат військових наук, доцент

### ***Технічний редактор***

*Ярошенко Ярослав Віталійович*

# AIR POWER OF UKRAINE

№ 1 (1)  
2021

## 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

Povtroflotskiy 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 Cherniakhovskiy  
(protocol № 14 from December, 28, 2021)

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
Threats from the air: Present and future ( <i>Shchypanskyi P., Horobets Y., Kaminskyi V.</i> ).....	5
Application of the approaches of the fuzzy logic theory to assess the readiness of aviation personnel ( <i>Honcharenko Y., Blyskun O., Tkachenko A., Kovba O., Tytarenko O.</i> ) .....	8
THE ISSUES OF COMBAT USE OF MILITARY UNITS OF THE STATE AVIATION OF UKRAINE, ANTI-AIRCRAFT, RADIO TECHNICAL AND SPECIAL TROOPS, RADIO ENGINEERING SUPPORT AND COMMUNICATION.....	12
Analysis of ways to increase the ability of the small, low-altitude air objects detection and tracking ( <i>Pukhoyi O., Bondar V.</i> ).....	12
Концепція удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою ( <i>Horbachov K., Hohoniants S.</i> ).....	15
Method of calculating the communication channels capacity of military communication systems ( <i>Khazhanets Y., Medvediev V., Yasnetskiy V.</i> ).....	19
Features of preparation and conduct of air defence of the general military unit in the operation ( <i>Kravshenko S.</i> ).....	23
Approaches to determining the impact of psychogenic losses on the effectiveness of the air defense system of the tactical level military formations in offensive combat ( <i>Hohoniants S., Horbachov K., Smirnov I., Bazilo S.</i> ) .....	27
Proposals to provide cover for individual mechanized (motorized infantry, tank) brigades by air defense units of the Land Forces during local hostilities ( <i>Kovalenko S., Volkov A., Lytovchenko D., Yanenko O., Ovcharenko V.</i> ) .....	31
Ways of development of the Land Forces air defence means on counteraction to unmanned aerial vehicles ( <i>Volkov A., Levagin G., Muzhuk M., Bazilo S.</i> ).....	35
ISSUES OF DEVELOPMENT OF AIR ATTACK PROSPECTIVE MEANS .....	38
Russia and china's new alliance for outer space cooperation: strategic security analysis ( <i>Pavel Bernat</i> ) .....	38
RESEARCH OF MANAGEMENT AND APPLICATION PROCESSES OF MANNED AND UNMANNED AVIATION.....	41
Classification of tasks of the joint combat order of manned and unmanned aircraft in operations ( <i>Yaroshenko Y., Herasimenko V., Korotin S., Martyniuk O., Blyskun O.</i> ) .....	41
Theoretical principles of the configuration of a joint aviation group of manned and unmanned aerial vehicles forming ( <i>Herasimenko V., Tytarenko O., Kovba O., Bobrov S., Oboznenko Y.</i> ).....	47
THEORETICAL BASIS OF INTERACTION WHEN APPLYING MILITARY UNITS OF AIR FORCES, LAND FORCES, NAVY, AIRBORNE TROOPS AND OTHER MILITARY UNITS ..	55
Mathematical model of ground and air units interaction during air threats countering ( <i>Riezniak D., Melnichenko V., Shkurat B.</i> ) .....	55
THE ISSUES OF DEVELOPMENT OF LOGISTIC SUPPORT OF KINDS OF AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	63
Peculiarities of development of logistic support for using of unmanned aerial vehicles ( <i>Volodymyr Mirnenko, Anatolii Salii, Pavlo Open'ko, Oleksandr Avramenko, Maksym Tyshchenko, Ihor Sachuk, Oleksandr Kalyta</i> ) .....	63
Rationale for the diffusion-non-monotonic distribution as an aircraft failures model ( <i>Dyptan V., Yablonskiy P., Dulenko D., Polischuk V., Piavchuk O.</i> ).....	70
Substantiation of rational time between orders of aircraft means of destruction in the system of logistical (technical) support of tactical level in the conditions of uncertainty ( <i>Golovko B., Baranik O.</i> ).....	73
Evaluation of the reliability of the system operating in two variable modes of use ( <i>Yablonskiy P., Tselishchev Y., Avramenko O., Koskov Y., Ivanov V., Piavchuk O.</i> ).....	77
Development of a simulation model of the insurance stock of aviation technical property ( <i>Chepurnyi Y., Onyschenko V.</i> ).....	80
SAFETY OF APPLICATION AND ENSURANCE OF SURVIVABILITY OF FORCES AND MEANS OF KINDS OF TROOPS AND SPECIAL TROOPS OF THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE .....	83
The ways to improve the survivability of the anti-aircraft missile cover system during its application ( <i>Globo O., Levchenko M., Patalakha V.</i> ) .....	83
THE ISSUES OF PREVENTION OF EMERGENCIES OF A TERRORIST AND TECHNOGENIC NATURE RELATED TO THE ACTIVITIES OF MILITARY UNITS OF THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE.....	88
Air terrorism countering in Ukraine in modern conditions ( <i>Tkachov V., Kaminskyi V., Stepanov G., Orihovskiy P., Lucishin A.</i> ) .....	88
INNOVATIVE PROCESSES IN THE FIELDS OF AVIATION, AUTOMOTIVE, RADIO ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS, AS WELL AS INFORMATION TECHNOLOGIES .....	92
Increasing the life of aviation equipment with the latest methods of ion-plasma hardening of surfaces ( <i>Djus R., Pleshkunov S.</i> ).....	92
Promising directions of engineering and aviation support of Aviation of the Armed Forces of Ukraine re-equipment on new aviation technics ( <i>Kotsiuruba A., Radko O., Korovin I., Bratus O.</i> ).....	96
On the prospects of using fire bombs and unmanned aerial vehicles to fight fires in relict forests ( <i>Bardin O.</i> ).....	100
Trends in the development of helicopter construction in the world and its prospects in Ukraine ( <i>Safonov I., Korotin S.</i> ) .....	102
Paper template .....	108

## **Editorial Board**

### ***Chief Editor***

*Yurii KRAVCHENKO*

Doctor of technical sciences, professor

### ***Deputy Editor***

*Serhii KOROTIN*

Candidate of technical sciences, associate professor

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

*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

*Mykhailo Levchenko*

candidate of military sciences,  
associate professor

*Oleksii Martyniuk*

candidate of technical sciences

*Volodymyr Medvediev*

candidate of military sciences, 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

*Dmytro Rieznik*

candidate of military sciences

*Oleksandr Yakobinchuk*

candidate of military sciences,  
associate professor

### ***Technical Editor***

*Yaroslav Yaroshenko*

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

**Щипанський Павло Володимирович** (кандидат військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-0854-733X>

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

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

**Камінський Валерій Віталійович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6534-8564>

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

### **ЗАГРОЗИ З ПОВІТРЯ: СУЧАСНІСТЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

*У статті розглянуто нормативно-правові документи, законодавчі акти, які визначають повноваження державних органів у сфері національної безпеки та оборони нашої держави. На даний час для України існують багато різноманітних загроз, однією з яких є загроза з повітря. Саме тому Повітряні Сили Збройних Сил (ПС ЗС) України повинні бути готові до адекватних та рішучих дій у різних умовах (за мирним часом, або поза районом ведення воєнних дій, з початком, або під час відбиття агресії з повітря). Для оцінювання середовища, в якому діятимуть ПС ЗС України, необхідно передусім враховувати стан і можливості Повітряно-Космічних Сил (ПКС) Російської Федерації та імовірні шляхи протидії цим загрозам.*

***Ключові слова:** Повітряні Сили Збройних Сил України, загрози з повітря, протиповітряна оборона угруповань сил оборони, охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття важливих державних та військових об'єктів, відбиття агресії з повітря.*

#### **Вступ**

Законодавчі акти, які визначають та розмежовують повноваження державних органів у сфері національної безпеки та оборони:

Закон України “Про національну безпеку України” від 21.06.2021 року;

стратегічні плануючі документи “Стратегія національної безпеки України”, затверджена Указом Президента України від 14 вересня 2020 року № 392/2020, “Стратегія воєнної безпеки України”, затверджена Указом Президента України від 25 березня 2021 року №121/2021, “Стратегічний оборонний бюлетень України”, затверджений Указом Президента України від 17 вересня 2021 року №473/2021, які регламентують основні напрями реалізації воєнної політики України та Стратегічні цілі розвитку сил оборони на основі загроз та ризиків у сфері воєнної безпеки.

Одним з пріоритетних напрямків розвитку є нарощування спроможностей щодо охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття державних і військових об'єктів, протиповітряна оборона угруповань сил оборони, їх трансформація в загальну систему оборони України.

**Постановка проблеми.** Для протидії загрозам з повітря, потрібно на оперативному та стратегічному рівні створити (або наростити) такі спроможності ПС ЗС України, що дозволяють як за мирним часом, так і з початком (або під час)

відбиття агресії з повітря виконувати завдання охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття важливих державних та військових об'єктів, протиповітряної оборони угруповань сил оборони. Основою для цього є прогнозування масштабу та характеру можливих загроз проти держави з повітря. На основі прогнозу виробляється рішення для протидії загрозам з повітря.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

У статті [1] проведений аналіз операційного середовища та імовірні сценарії застосування ПС ЗС України. У [2] проведено оцінювання можливостей Російської Федерації (РФ) у досягненні політичних цілей в Україні з залученням її ПКС. У [3] проведений аналіз перспектив розвитку безпечного середовища довкола України на період до 2035 року та визначені основні загрози з повітря з боку ПКС РФ. Визначено, що серед усіх названих загроз найбільш, небезпечним для нас залишається сценарій повномасштабної відкритої агресії з боку РФ. При цьому основним носієм бойового потенціалу збройних сил РФ є їх ПКС.

**Метою статті** є визначення сучасних та перспективних загроз з повітря для реалізації спроможностей ПС ЗС України у виконанні завдань охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття державних і військових об'єктів, протиповітряної оборони угруповань сил оборони.

Враховуючі сучасні та перспективні можливості ПКС РФ щодо створення загроз з повітря та визначити основні шляхи протидії цим загрозам для удосконалення системи протиповітряної оборони (ППО) України.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

ПС ЗС України повинні бути готові до адекватних та рішучих дій у різних умовах, але є принципова різниця у масштабі і характері загроз з повітря, їх можна поділити [4]:

за мирним часом, або поза районом ведення воєнних дій;

з початком, або під час відбиття агресії.

За мирним часом, або поза районом ведення воєнних дій, ПС ЗС України виконують завдання охорони повітряного простору та протиповітряного прикриття важливих державних та військових об'єктів, загрози з повітря будуть визначатися умовами скоєння терористичного акту із використанням повітряних засобів.

Світовий досвід підказує імовірні способи терористичного акту із використанням повітряних засобів, основні з них:

захоплення та угон літаків, з можливістю їх подальшого застосування, як засобів ураження для терористичного акту;

використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА) з метою терористичного акту.

Другий спосіб має багато варіантів та сценаріїв терористичних атак, які обумовлюються технічними особливостями БпЛА, такими як малопомітність за рахунок своїх малих габаритів та матеріалів, використання гранично малих висот, вантажопідйомність, достатня для доставки до об'єктів вибухових речовин і зброї, використання БпЛА в аеропортах проти літаків у польоті та інші варіанти.

Визначимо основні оперативні (бойові) спроможності сил та засобів ПС ЗС України, які забезпечать ефективне виконання завдань припинення протиправних дій повітряних суден у повітряному просторі, або терористичного акту із використанням повітряних засобів, та шляхи їх реалізації [5]:

здатність вести безперервну розвідку повітряного простору, здійснення постійного контролю за його використанням, своєчасне виявлення протиправних дій повітряних суден у повітряному просторі, або терористичного акту із використанням повітряних засобів – потребує створення цивільно-військової системи моніторингу повітряного простору та контролю його використання в системі бойового чергування з ППО над всією територією країни, та може бути реалізована на великих та середніх висотах, на малих висотах тільки в окремих районах, наприклад, біля аеропортів;

здатність своєчасно ідентифікувати спробу вчинення терористичного акту із використанням повітряних засобів та приймати рішення, здійснювати управління визначеними силами та засобами ППО України – мабуть сама складна. Якщо більшість спроможностей потребує реалізації технічних складових, то на прийняття рішення в умовах невизначеності, впливає людський фактор;

здійснення охорони повітряного простору України, прикриття від терористичних атак важливих державних і військових об'єктів;

здатність знищувати засоби повітряного нападу в повітрі, які можуть бути використані для терористичного акту;

здатність здійснювати оповіщення органів державної влади, військового управління, військ та населення про терористичний акт із використанням повітряних засобів.

Головна проблема є повна невизначеність щодо гіпотетичного терористичного акту у повітрі проти якого необхідно заздалегідь створювати, постійно підтримувати та нарощувати (розвиток засобів) всю систему боротьби. Ця система дуже затратна та може в конкретних умовах бути неефективною. Як приклад, постійно задіяна система ППО-ПРО (протиракетної оборони) Ізраїлю, удари по нафтовим заводам Саудівської Аравії з боку хуситов [6].

З початком, або під час відбиття агресії, ПС ЗС України виконують завдання протиповітряної оборони угруповань сил оборони. Загрози з повітря будуть визначатися умовами їх застосування та протидії повітряно-космічному противнику.

Найбільшу загрозу мають нести балістичні ракети типу "Ескандер", протидія потребує створення системи протиракетної оборони (ПРО) на оперативному рівні.

"Стратегія воєнної безпеки України" характеризуючи безпекове середовище на національному рівні, визначає, що РФ залишається воєнним противником України, який здійснює збройну агресію проти України. Визначимо основні загрози з повітря, що існують зараз, або з'являться у найближчій перспективі [3].

Головною метою початкового періоду залишається завоювання панування в повітрі, а засобом досягнення – повітряна наступальна операція, а у майбутньому – панування у повітряно-космічній сфері. Проведенням повітряно-космічної наступальної операції, основною метою та змістом якої є руйнування, подавлення, або знищення повітряних і ракетних спроможностей противника, що дозволить її сухопутним, військово-морським та повітряним силам вести операції і діяти в певний час у визначеному місці без суттєвого втручання (в першу чергу авіації) протилежної сторони. Результати аналізу військово-політичної ситуації навколо України свідчать, що РФ є постійною прямою загрозою для повітряного кордону України [3].

Для оцінювання загрози з повітря в операційному середовищі, в якому діятимуть ПС ЗС України, необхідно передусім враховувати стан і можливості ПКС РФ, яка здатна і готується до агресії у військовому плані.

Основні напрямки розвитку ПКС РФ [3]:

створення нових систем високоточної зброї та масове оснащення ними авіаційних частин, збільшення бойового складу ракетних частин;

модернізація літаків, які знаходяться на озброєнні, а також їх планова заміна літаками нового покоління та безпілотними літальними апаратами;

вдосконалення системи управління повітряними операціями на основі формування єдиного інформаційного простору;

створення та розвитку системи повітряно-космічної оборони РФ у складі підсистем розвідки та попередження про повітряно-космічний напад, ураження засобів повітряно-космічного нападу, управління та забезпечення повітряно-космічної оборони;

створення наземного, повітряного та космічного сегментів, об'єднаних єдиним інформаційним контуром управління;

створення та впровадження на чергування перспективних зразків озброєння різних типів базування, розроблених з використанням нових технологій та на основі нових фізичних принципів.

Очікувані результати розвитку авіації ЗС РФ на найближчу перспективу:

повне переозброєння тактичної авіації на нові та модернізовані літаки покоління "4+";

надходження нових авіаційних засобів ураження, в першу чергу крилатих ракет, (повітряного, морського та наземного базування), які здатні долати систему ППО;

збільшення частки безпілотної авіації до 10-15% (переважно розвідувальні БпЛА тактичного рівня);

збільшення кількості та номенклатури засобів РЕБ.

Очікувані результати розвитку авіації ЗС РФ на подальшу перспективу:

серійні поставки літаків 5 покоління (Су-57), а також перспективних літаків стратегічної авіації;

збільшення використання зразків озброєння, заснованих на нових фізичних принципах (в першу чергу гіперзвукових, електромагнітних, лазерних);

гіперзвуковий авіаційний ракетний комплекс Х-47М2 "Кинжал" (носії - МіГ-31К, Ту-22М3М;

керовані гіперзвукові бойові блоки міжконтинентальних балістичних ракет "Авангард" (максимальна дальність ракети - 2000-6000 км, максимальна швидкість:  $M = 20$ );

лазерний комплекс "Пересвет";

збільшення частки безпілотної авіації зросте до 20% за рахунок надходження розвідувально-ударних БПЛА оперативного та стратегічного рівнів, які переважно використовуватимуться в складі розвідувально-ударних систем на напрямках великої концентрації засобів ППО.

Основні напрямки підвищення бойових можливостей засобів повітряного нападу:

збільшення дальності їх дії;

зменшення помітності в різних діапазонах;

удосконалення бортового радіоелектронного обладнання, зокрема, навігаційних засобів та засобів цілевказівки;

розширення номенклатури озброєння, в першу чергу високоточної зброї.

### **Висновок**

Таким чином, ПКС РФ нарощує бойові, оперативні, стратегічні спроможності, поширює можливості БПЛА та космічних засобів. Отже для адекватної протидії цим загрозам необхідно провести ряд заходів, а саме:

1. Вдосконалення системи ППО повинно бути спрямовано на нейтралізацію найбільш значущих загроз, потребує пріоритетного розвитку авіації, засобів РЕБ, створенню системи ППО, яка відповідає стандартам НАТО. Вдосконалення системи ППО України у ближній перспективі, за складовими підсистемами:

розвідки та попередження про повітряного противника – інтеграція до системи контролю повітряного простору країн НАТО, нарощування радіолокаційного поля на загрозливих напрямках РЛС вітчизняного виробництва, засоби РТР вітчизняного виробництва;

авіаційного прикриття – закупівля іноземного літака-винищувача;

зенітного ракетного прикриття. – закупівля ЗРК МД, СД, ДД (виробництва Ізраїль);

радіоелектронної боротьби – перспективи створення БпЛА з засобами РЕБ, засоби РЕБ вітчизняного виробництва;

управління ППО – поступова інтеграція до системи управління ППО країн НАТО, що буде вимагати наявності відповідного озброєння та військової техніки, засобів зв'язку, навігації. Пріоритетним напрямом розвитку є впровадження комплексів засобів автоматизації на всіх рівнях.

2. Наявні загрози з повітря потребують створення системи ПРО для ефективної протидії ракетним засобам, що потребує нових підходів структури та реорганізації існуючої системи ППО України.

3. Існуючі та перспективні загрози з повітря, а точніше, у повітряно-космічному просторі України, потребують принципових змін у завданнях, які стоять перед ПСЗС України. У перспективі є необхідність у створенні Повітряно-Космічних Сил Збройних Сил України.

### **Список використаних джерел**

1. Дроздов С.С. Аналіз операційного середовища та імовірні сценарії застосування Повітряних сил Збройних Сил України / С.С. Дроздов, В.В. Тюрін, О.А. Коршець, В.М. Горбенко // Наука і оборона, 2019 – №3. – С.25-30.

2. Горбенко В.М. Оцінювання можливих механізмів досягнення Російською Федерацією політичних цілей в Україні з використанням концепції стратегічного паралічу та операцій на основі ефектів/ В.М. Горбенко, О.А. Коршець, Н.О. Королюк// Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2020. – №1 (63). – С.113-123.

3. Візія Повітряних Сил Збройних Сил України – 2035. Схвалена рішенням Військової Ради Командування Повітряних Сил Збройних Сил України від 15 травня 2020 року.

4. Доктрина Повітряних Сил Збройних Сил України від 30 листопада 2020 р. – [Київ]:2020. – 40с.

5. С. М. Ковалевський, Перспективи розвитку засобів повітряного нападу як об'єктів радіолокаційного виявлення. / С. М. Ковалевський, Г. В. Худов, В. І. Боровий. // Системи озброєння і військова техніка. 2014. – № 4(40). – С. 31–35

6.Бернадський Б.В. Міжнародні конфлікти: курс лекцій / Б.В. Бернадський. — К. : ДП «Вид. дім «Персонал», 2012. — 366 с. — ISBN 978-617-02-0088-4



Гончаренко Євген Володимирович (PhD)

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

Блискун Олександр Євгенійович

<https://orcid.org/0000-0002-7751-8613>

Ткаченко Анатолій Володимирович

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

Ковба Орест Петрович

<https://orcid.org/0000-0001-5154-7151>

Титаренко Олександр Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-3523-9519>

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДХОДІВ ТЕОРІЇ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПІДГОТОВЛЕНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПЕРСОНАЛУ

У статті розглянуті сучасні погляди на оцінювання підготовленості авіаційного персоналу до виконання завдань за призначенням. Метою статті є зменшення рівня ризиків, пов'язаних з випуском у політ невідготовленого екіпажу, допуску до експлуатації авіаційної техніки або керівництва польотами осіб, що не готові до виконання завдань. У статті визначені показники, що обумовлюють небезпеку та можуть призвести до загрозової ситуації, які враховуються на етапі проходження даних від системи збору даних до системи прийняття рішення через фільтр стану безпеки. Проведено формалізацію оцінки рівня підготовки авіаційного персоналу. За рахунок отриманих наукових результатів, викладених у статті та їх впровадження, можна буде досягти: підвищення загального рівня безпеки польотів; зменшення ризиків виникнення авіаційних подій пов'язаних з допуском до виконання завдань невідготовленого особового складу у конкретних умовах обстановки; здійснення постійного моніторингу підготовленості авіаційного персоналу; оперативного формування управлінських рішень; скорочення часу на прийняття рішення командирами усіх рівнів.

**Ключові слова:** Державна авіація, авіаційний персонал, безпека польотів, авіаційні події, мінімізації ризиків, льотна підготовка.

### Вступ

Питання забезпечення безпеки польотів (БзП) в суб'єктах авіаційної діяльності Державної авіації (ДА) України займають пріоритетні позиції. Так, за останні декілька років, під час експлуатації авіаційної техніки зросла інтенсивність аварій та катастроф. Результати розслідувань, проведених технічними комісіями Міністерства оборони України, свідчать, що головною причиною авіаційних подій (АП) є, так званий, "людський фактор" [1-5]. Однак, більш детальний аналіз АП свідчить про те, що вони сталися внаслідок: порушень в організації польотів, порушень під час виконання відновлювальних робіт та ремонту авіаційної техніки, та найчастіше – недисциплінованості та недостатній професійній підготовці (навченості) авіаційного персоналу.

**Мета дослідження** полягає в мінімізації ризиків випуску у політ невідготовленого екіпажу, допуску до експлуатації авіаційної техніки або керівництва польотами осіб, що не готові до виконання завдань шляхом впровадження автоматизованої системи управління підготовкою авіаційного персоналу ДА України..

### Виклад основного матеріалу дослідження

В ДА України, під авіаційним персоналом прийнято розуміти персонал, який пройшов спеціальну фахову підготовку та має свідоцтво, а саме: льотний склад, наземний склад авіації, який безпосередньо здійснює керівництво польотами та управління повітряним рухом, виконує операції з підтримання льотної придатності (технічної експлуатації) повітряних суден, їх компонентів і обладнання [6].

Контур управління підготовкою авіаційного персоналу до виконання завдань (рис. 1) є складовою частиною системи забезпечення БзП суб'єктів авіаційної діяльності в ДА України. До його складу входять системи збору даних про хід підготовки, планування та оперативного управління підготовкою авіаційного персоналу, а також система підтримки прийняття рішення, що ґрунтується на вихідних даних фільтру виявлення стану небезпеки.

За критерій управління тут виступає підтримання прийнятного рівня БзП у секторі питань що відносяться до "людського фактору". Об'єктом керування виступає процес підготовки льотних екіпажів, осіб зі складу груп керівництва

польотів (ГКП) та інженерно-технічного складу (ІТС).

Звичайно, впливати на рівень БзП можна не тільки за рахунок управління ходом підготовки авіаційних фахівців. Також, не менш важливо підтримувати на належному рівні надійність роботи авіаційної техніки, наземних засобів забезпечення польотів, ефективність роботи сил та засобів організації управління повітряним рухом, тощо. Однак, як показують дослідження останніх АП в ДА [1-5], фактор неготовності (невідповідності рівня підготовки) авіаційного персоналу до конкретної обстановки, що виникла у польоті, служить причиною аварій та катастроф.

Вхідний ланцюг даного контуру управління представлений датчиками, які формують дані про стан об'єкту управління (значення показників якості підготовки авіаційного персоналу (авіаційних фахівців)), а також фільтром, який на підставі аналізу вхідних даних ( $X_1, X_2, X_3, Q_1, Q_2, Q_3$ ), визначає момент втручання в управління внаслідок відхилення фактичного стану об'єкта управління від його потрібного або заданого стану (рівня підготовки) та формує сигнал "тривоги"  $S_T$ .

$$S_T = \begin{cases} 1, \gamma \\ 0, \bar{\gamma} \end{cases},$$

де  $\gamma$  – показник безпеки,

$$\gamma = \begin{cases} X_1 < Q_1 \\ X_2 < Q_2 \\ X_3 < Q_3 \end{cases}$$

де  $Q_1, Q_2, Q_3$  – критерії, що визначають граничний рівень підготовки авіаційного персоналу.

Вхідними даними про стан підготовки авіаційних фахівців є наступні відомості:

відомості про рівень льотної підготовки льотного складу, у тому числі – дані об'єктивного контролю про дії екіпажу в повітрі при виконанні польотних завдань та дані хронометражу реалізованих планових таблиць польотів,  $X_1$ ;

відомості про рівень професійної підготовки осіб зі складу груп керівництва польотами,  $X_2$ ;

відомості про рівень професійної підготовки інженерно-технічного складу,  $X_3$ .

У свою чергу, відомості про рівень льотної підготовки льотного складу складаються із широкого переліку показників, таких як: загальний наліт; рівень класної кваліфікації; досягнутий рівень підготовки відповідно до курсів бойової

підготовки родів авіації (КБП), тощо. Тобто є багатовекторним значенням  $X_1^i, i = 1, m$ ;

де  $m$  – кількість показників для оцінювання льотного складу (нормативними документами, що визначають організацію та проведення льотної підготовки та оцінювання авіаційного персоналу державної авіації України [7-10], зазначається більше 30 показників).

Фільтр, який є основним елементом у вхідному ланцюгу контуру управління, виявляє невідповідність фактичних вхідних даних  $X_1^i$  встановленим критеріям щодо встановленого рівня підготовленості авіаційних фахівців  $Q_j^i$  і вказує на  $i$ -тий або  $j$ -тий елемент системи, в якому виникає або може виникнути загрозна ситуація з точки зору БзП.

Небезпека, яка діагностується за допомогою фільтру, вимірюється наступними показниками:

відповідністю рівнів підготовки льотного складу  $\varepsilon_1$ , осіб зі складу ГКП  $\varepsilon_2$  та ІТС  $\varepsilon_3$  змісту запланованих польотних завдань на найближчу перспективу;

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= f(X_1^i, Q_1^i), \\ \varepsilon_2 &= f(X_2^i, Q_2^i), \\ \varepsilon_3 &= f(X_3^i, Q_3^i); \end{aligned}$$

показники щодо відхилення від планів підготовки авіаційних фахівців на визначений період,  $\Delta P$ .

Зміст поняття "рівень професійної підготовки", через складність вибору критерію оцінки, має якісний характер. Тому, на даний час в державній авіації України, визначення рівня професійної підготовки авіаційного персоналу проводиться здебільшого суб'єктивно, тому що у всіх системах Контуру управління підготовкою авіаційного персоналу присутній "людський фактор".

Запропонована автоматизована система управління підготовкою авіаційного персоналу забезпечить ряд переваг у порівнянні з існуючими – "класичними" методами перевірки підготовленості у Державній авіації України. Головне, на думку авторів, вона дозволяє зменшити залежність від суб'єктивної думки експерта (командира). Зменшуючи суб'єктивну складову, можна підвищити якість оцінювання, що в свою чергу позитивно вплине на якість управління авіаційним персоналом та в цілому забезпечить підвищення ефективності заходів забезпечення безпеки польотів.

Перейти до кількісних оцінок можна з використанням підходів теорії нечітких множин [11-14].

Формалізація оцінки рівня підготовки може бути виражена як коротке:

$$\langle \varepsilon_j, T, K, G \rangle,$$

де  $\varepsilon_j$  – назва лінгвістичної змінної (відповідність рівнів підготовки авіаційного персоналу);

$T = \{ \text{“високий”}, \text{“достатній”}, \text{“середній”}, \text{“небезпечний”} \}$  – терми лінгвістичної змінної;

$K = [0,1]$  – межі визначення лінгвістичної змінної;

$G = \{ \mu_{\varepsilon}(X) | X \}$  – нечітка множина на  $K$ , яке характеризується функціями приналежності.

Кожному терму лінгвістичної змінної відповідає нечітка множина та функція приналежності кожного елемента глобальної множини даному терму. Функція приналежності зазначених термів будується на основі методу експертного опитування. Елементами глобальної множини є числові експертні оцінки характеристик відповідей авіаційних фахівців, що проходять перевірку за визначеною оціночною шкалою.

Необхідність внесення змін у процес підготовки авіаційного персоналу визначається особою, яка приймає рішення на підставі аналізу інформації, що надходить з фільтру.

Для змінення порядку функціонування контуру управління підготовкою авіаційного персоналу до виконання завдань формуються наступні команди:

на коригування критеріїв, завдання та ресурсне забезпечення підготовки авіаційних фахівців на півріччя та на рік,  $U_1$ ;

на внесення змін до поточних планів підготовки,  $U_2$ ;

на коригування порядку виконання завдань льотної підготовки та інших заходів підготовки безпосередньо у підпорядкованих частинах та підрозділах з метою своєчасного виявлення небезпечних ситуацій,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  та  $\varepsilon_3$ .

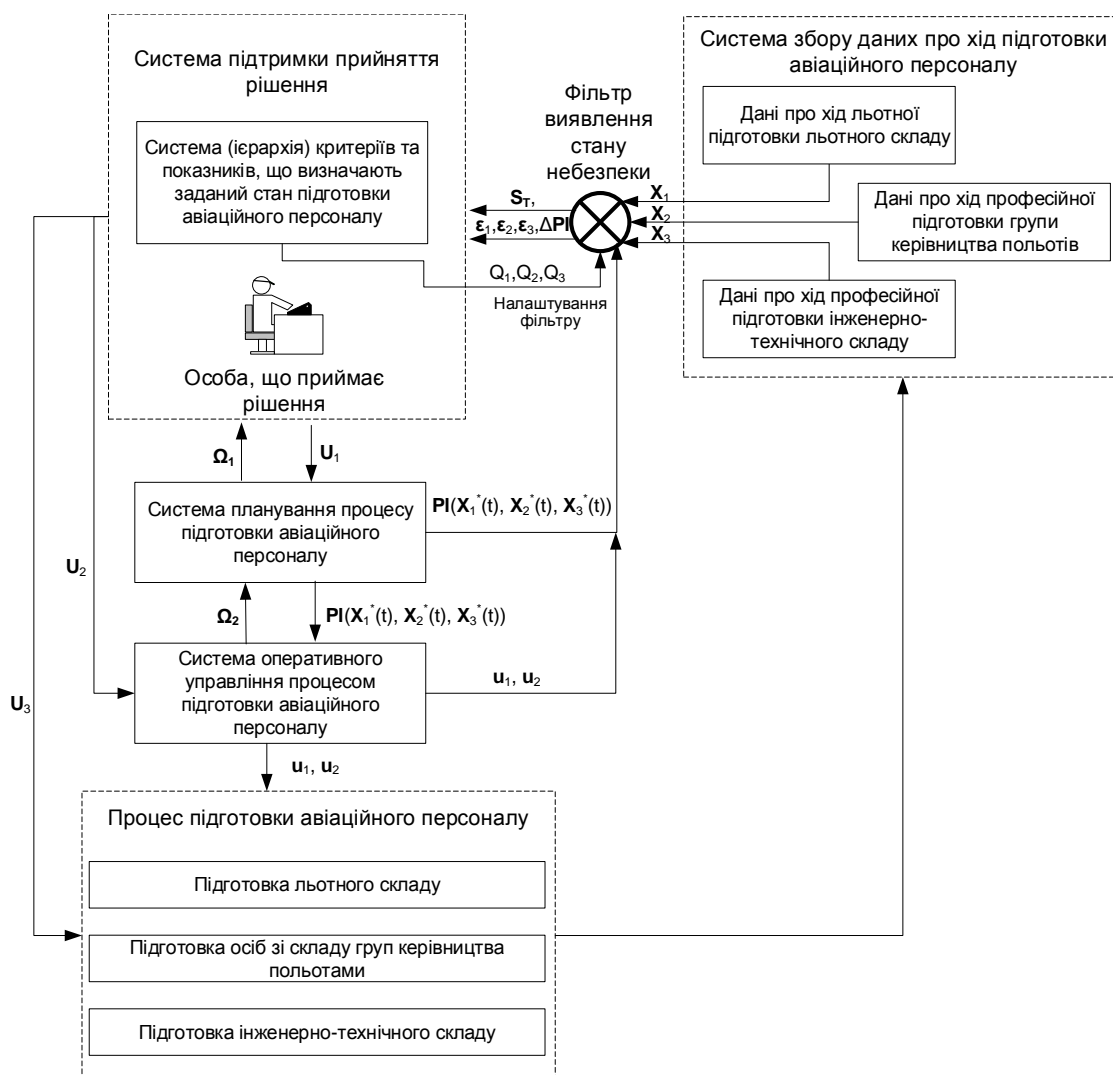


Рисунок 1. Контур управління підготовкою авіаційного персоналу до виконання завдань

## **Висновки**

Таким чином, за рахунок впровадження контуру управління підготовкою авіаційного персоналу до виконання завдань можна досягти:

підвищення загального рівня безпеки польотів за рахунок удосконалення системи управління підготовкою авіаційного персоналу шляхом мінімізації залежності від суб'єктивної думки експерта під час оцінювання рівня підготовки авіаційного персоналу;

мінімізації ризиків випуску у політ невідготовленого (недостатньо готового) екіпажу, допуску до експлуатації авіаційної техніки або керівництва польотами осіб, що не готові до виконання завдань;

здійснення постійного моніторингу стану підготовленості авіаційного персоналу на всіх рівнях прийняття рішення від авіаційної ескадрильї до Командування ПС ЗС України;

оперативного формування управлінських рішень, щодо негайного впливу на діяльність авіаційної системи у разі виявлення відхилень від вимог нормативних документів для підтримання необхідного рівня безпеки польотів і компенсування виявлених ризиків;

Скорочення часу на прийняття рішення командирами усіх рівнів на визначення екіпажів для виконання конкретних завдань за рахунок впровадження системи підтримки рішення

## **Список використаних джерел**

1. Командування Повітряних Сил Збройних Сил України інформує щодо катастрофи винищувача Су-27 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mil.gov.ua/news/2018/12/16/komanduvannya-povitryanih-sil-zbrojnih-sil-ukraini-informue-shhodo-katastrofi-vinishhuvacha-su-27/>.
2. Аварія Су-27: у ВПС ЗСУ підтвердили загибель військово-службовця США [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.5.ua/suspilstvo/avariia-su27-u-vps-zsu-pidтверdy-ly-zahybel-viiskovoslužbovtisia-ssha-179500.html>.
3. Жертвами аварії Мі-2 стали п'ять офіцерів ЗСУ – Міноборони [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/news/2017/03/27/7139406>.

4. Катастрофа літака на Хмельниччині: Прокуратура розслідує порушення правил польотів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/news/2017/09/29/7156814>.

5. Катастрофа Су-25: експерт пояснив, чому розбився самолет [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.obozrevatel.com/crime/07243-katastrofa-su-25-ekspert-obyasnil-rochemu-razbilsya-samolet.htm>. Інструкція про класифікацію авіаційного персоналу державної авіації України (наказ Міністерства оборони України від 05.01.2015 № 3, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23.01.2015 за № 79/26524).

6. Oleksandr Blyskun, Yevhen Honcharenko Volodymyr Herasymenko et al., Determining the Level of Flight Crew Readiness Based on Fuzzy Logic Approaches. Science of Europe #80 (2021) pp. 46–49.

7. Правила виконання польотів державної авіації України” (Наказ Міністерства оборони України від 05.01.2015 № 2, зареєстровано в Міністерстві юстиції України (26 січня 2015 р. за №82/26527).

8. Y. Honcharenko, O. Blyskun, O. Martyniuk Flight safety fuzzy risk assessment for combat aviation system, in: Proceedings of the 2nd. IEEE International Conference on Advanced Trent in Information Theory, Kyiv, 2020, pp. 132–137.

9. Doc 82/26527, Pravyly vykonannya pol'otiv v derzhavnij aviacii Ukrainy, Ofic. vid., MOU, Kyiv, 2015.

10. Штовба С.Д. Побудова функцій належності нечітких множин за кластеризацією експериментальних даних: інформаційні технології та комп'ютерна інженерія – 2006. №2. С. 92-95.

11. Бочарников В.П., Бочарников І.В., Свешников С.В. Основы системного анализа и управления организациями. Теория и практика. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 286с.

12. Lawrence I. Larkin A fuzzy logic controller for aircraft flight control. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/224682098\\_a\\_fuzzy\\_logic\\_controller\\_for\\_aircraft\\_flight\\_control/29.05.2021\\_p](https://www.researchgate.net/publication/224682098_a_fuzzy_logic_controller_for_aircraft_flight_control/29.05.2021_p).

13. A. Leonenkov, Fuzzy modeling in Matlab and Fuzzy Tech, St. PTB, BHV, 2003, ISBN 5-94157-087-2.

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

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

<https://orcid.org/0000-0002-2683-3374>

**Бондар Валерій Вікторович**

<https://orcid.org/0000-0001-8843-680X>

*Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ, Україна*

### **АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЩОДО ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДЖЕННЯ МАЛОРОЗМІРНИХ, МАЛОВИСОТНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*У статті наведено фактори, що впливають на радіолокаційне виявлення повітряних об'єктів, розглянуто заходи щодо підвищення ефективності виявлення малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів (тактичних безпілотних літальних апаратів), загальні тенденції розвитку радіолокаційних станцій. Розглянуто шляхи розширення можливостей засобів радіолокації щодо виявлення, розпізнавання повітряних об'єктів за рахунок комбонування їх з радіотехнічними засобами розвідки, оптичними, акустичними та інфрачервоними засобами виявлення. Перспективним методом підвищення ефективності радіолокаційного виявлення малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів є використання єдиних активно-пасивних багатопозиційних радіолокаційних систем, з використанням енергії сторонніх джерел випромінювання, а також комбонування інформації, що надходить по каналам різної фізичної природи для її подальшої видачі споживачам для прийняття рішення.*

***Ключові слова:** тенденції, засоби радіолокації, безпілотний літальний апарат, радіолокаційне виявлення, методи та способи виявлення повітряних об'єктів, обробка інформації.*

#### **Вступ**

Повітряні об'єкти, які необхідно виявити, характеризуються сукупністю факторів, які визначають спроможність до їх радіолокаційного виявлення:

радіолокаційна помітність повітряного об'єкта в певному частотному діапазоні;

параметри траєкторії польоту, що забезпечують ефективне застосування повітряного об'єкта, його швидкісні характеристики;

умови радіоелектронної обстановки, в яких повинно забезпечуватися радіолокаційне виявлення засобів повітряного нападу (далі – ЗПН) [1].

Для удосконалення ЗПН проводяться спеціальні заходи:

зниження радіолокаційної помітності – спрямоване на зменшення величини щільності потоку потужності, що розсіюється в напрямку приймаючої антени;

розрахунок параметрів траєкторії польоту, що забезпечує найбільш ефективне використання ЗПН.

Відомо, що сучасною тенденцією є широке застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) [2]. За останні роки розроблено багато БпЛА різних класів і типів, які активно використовувалися практично в усіх останніх

збройних конфліктах. Важливою рисою сучасних збройних конфліктів є концепція ведення адаптивних розвідувально-ударних бойових дій за допомогою малорозмірних, малопомітних ЗПН. Виявлення подібних об'єктів ускладнюється фактом їх застосування на малих або гранично малих висотах із використанням особливостей рельєфу місцевості [3].

Основними засобами контролю повітряного простору залишаються активні радіолокаційні станції (далі – РЛС). Основними перевагами застосування РЛС для виявлення БпЛА залишається їх спроможність виявляти повітряні об'єкти в будь-яку пору доби, за будь-якої метеорологічної обстановки та незалежно від наявності випромінювання від БпЛА.

Існуючі РЛС спроможні виявляти БпЛА оперативного-тактичного та стратегічного класу.

Існує необхідність у проведенні подальших досліджень щодо удосконалення засобів радіолокації, режимів їх роботи, способів сумісного застосування різних джерел інформації про повітряну обстановку з метою підвищення ефективності виявлення та супроводження тактичних БпЛА.

Метою статті є аналіз напрямів підвищення можливостей щодо виявлення та супроводження

повітряних об'єктів, особливо малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів (тактичних БпЛА) різними джерелами виявлення повітряних об'єктів для подальшої обробки даних та видачі інформацію про повітряну обстановку споживачам.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Для підвищення ефективності радіолокаційного виявлення малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів (до яких відносяться тактичні БпЛА) проводяться заходи з використанням наступних методів та способів:

використання РЛС з більшим енергетичним потенціалом;

використання РЛС усіх діапазонів частот;

ущільнення розташування РЛС на небезпечних напрямках;

поєднано-паралельний електронний огляд зони по куту місця та двомірне електронне сканування діаграми спрямованості антен;

використання фазованих антенних решіток (далі – ФАР) на передачу;

цифровий синтез зондуючих сигналів з різними параметрами (несучою частотою, видом модуляції, шириною смуги, тривалістю, частотою посилок імпульсів);

цифрове діаграмоутворення ФАР на прийом;

автоматичний аналіз завадової обстановки та адаптивний вибір засобів та режимів захисту від завад;

використання багатопозиційних систем (наращування РЛС до активно-пасивного комплексу, використання енергій сторонніх джерел випромінювання) [4, 5].

Особливостями багатопозиційних радіолокаційних систем є використання просторово-часових методів обробки сигналів, які приймаються одночасно в просторово-рознесених точках прийому. При цьому використовуються як активні, так і пасивні методи прийому.

Подальший розвиток радіолокаційних систем здійснюється в напрямку поєднання властивостей окремих видів радіолокаційних систем в єдині активно-пасивні багатопозиційні радіолокаційні системи. В таких комплексах проводиться комплексна обробка радіолокаційної інформації.

Загальні тенденції розвитку РЛС, окрім спеціалізованих:

здатність вимірювати повні просторові координати цілей, а в деяких – і радіальну швидкість цілі;

здатність здійснювати автоматично й автоматизовано первинну, вторинну (трасову) і третинну (мультирадарну) обробку радіолокаційної інформації і виступати у разі необхідності, в ролі автоматизованого командного пункту ротного рівня;

кількість транспортних одиниць становить від 1 до 3;

використання переважно ФАР, у тому числі активних (випромінюючих) і цифрових (приймальних);

використання твердотільних (у метровому і дециметровому діапазонах хвиль) передавальних пристроїв (у перспективі – і у сантиметровому діапазоні);

використання складних великобазових зондувальних сигналів із низькою імпульсною потужністю;

відмова від індикаторів із післясвітінням і використання безінерційних моніторів як засобів відображення інформації;

інтерфейсні способи взаємодії систем і оператора;

майже повна відсутність органів регулювання і налаштування;

спрощене обслуговування РЛС (щоденне та сезонне);

висока надійність (середнє напрацювання на відмову – тисячі годин);

високі ресурсні показники (50 – 100 тисяч годин) [6].

Також, реалізуючи основні тенденції розвитку РЛС, систем РЛС – якісне підвищення інформативності та достовірності, інтерпретації радіолокаційного відображення, скорочення часу огляду і впровадження нових технологій сприяють підвищенню ефективності радіолокаційного виявлення БпЛА.

Збільшення інформативності при обробці первинної інформації можна досягати оптимальним вибором довжин хвиль, поляризації, попереднім збором й накопиченням інформації та її комплексуванням.

Дедалі більшого поширення в сучасних РЛС набуває така функція, як розпізнавання цілей за класами й типами з використанням поляризаційних, просторових, спектральних і траскторних ознак.

Маючи у своєму складі потужні обчислювальні засоби, сучасні РЛС здатні здійснювати обробку не лише своєї інформації, а й даних, отриманих від інших РЛС, тобто здійснювати так звану мультирадарну (третинну) обробку інформації.

Для сучасних і перспективних РЛС характерне значне підвищення експлуатаційних характеристик. Для більшості новітніх розробок запас ресурсу становить не менше 50 тисяч годин, а в перспективних РЛС він буде доведений до 100 тисяч годин, тобто до 10...15 років цілодобової роботи. При цьому зникає поняття капітального ремонту [7].

Використання новітніх розробок, включаючи ФАР із твердотільними приймально-передавальними модулями і засоби обчислювальної техніки з високою продуктивністю, надало реальної можливості створення станцій з мінімальним рівнем обслуговування. Основу технічного обслуговування становитиме фірмове супроводження протягом усього життєвого циклу.

Як при розробці нових, так і при модернізації існуючих РЛС однією з найважливіших задач є зниження вартості життєвого циклу, що

досягається за рахунок зниження експлуатаційних витрат.

Не менш важливою тенденцією розвитку активної радіолокації є створення та застосування РЛС-роботів, тобто цілковито автоматизованих дистанційно керованих РЛС, особливо для виявлення повітряних об'єктів на малих і гранично малих висотах.

Слід зауважити, що використовуючи характерні демаскуючі ознаки БпЛА, які виділяють його в навколишньому середовищі, активно продовжують розробляти різноманітні засоби виявлення БпЛА – це і традиційні засоби радіолокації та радіотехнічної розвідки, і акустичні засоби, і оптико-електронні засоби та засоби розвідки в інфрачервоному діапазоні, але кожен з означених засобів не може бути універсальним засобом, через слабкість супроводжуючих їх демаскуючих ознак.

Для ефективного виявлення БпЛА РЛС повинні реалізувати в режимах роботи, програмному забезпеченні, системах обробки сигналів від малорозмірних цілях нові сучасні досягнення. При цьому можуть застосовуватися: малопотужні моноімпульсні локатори; спеціальні методи обробки сигналів ФАР; пасивний і напівпасивний методи пеленгації; оптичні засоби виявлення, нові методи ширококутової радіолокації, що дозволяє отримати збільшення значень ефективної площі розсіювання малорозмірних БпЛА і т.д.

Для підвищення дальності виявлення малорозмірних маловисотних цілей та їх стійкого супроводження доцільно використовувати різного роду вишки, аеростати для розміщення на них активних випромінюючих РЛС, а також акустичні векторні датчики, застосування яких дозволяє отримати тривимірну акустичну обізнаність про рухомі повітряні цілі. Такі датчики здатні виявити і визначити місце розташування літальних апаратів з працюючими двигунами з будь-яких напрямків. Із застосуванням відповідних методів обробки отриманих акустичних сигналів може бути досить точно визначено місце розташування малорозмірних БпЛА.

Істотним доповненням щодо виявлення малорозмірних БпЛА є застосування спеціалізованих засобів розвідки, що володіють кращими розвідувальними можливостями для виявлення цілей з малою ефективною площею розсіювання, створення спеціальних каналів першочергової видачі і обміну розвідувальною інформацією про дії БпЛА. Вкрай важливо отриману інформацію доповнити інформацією від мережі постів візуального спостереження, яка є досить ефективною при виявленні маловисотних малорозмірних цілей. Ретельно спланована і побудована мережа постів візуального спостереження, розгорнута на панівних висотах, обладнана сучасними оптико-електронними системами цілодобового спостереження, засобами зв'язку і передачі даних, дозволить підвищити ефективність виявлення малорозмірних, малоконтрастних цілей.

Слід зазначити, що актуальним залишається питання обробки інформації про повітряну обстановку від всіх наявних джерел інформації для подальшої її видачі зацікавленим споживачам.

### **Висновки**

Загальною тенденцією розвитку засобів радіолокації є якісне підвищення інформативності та достовірності інформації шляхом оптимального вибору довжин хвиль, поляризації, попереднім збором та накопиченням інформації; інтерпретації радіолокаційного відображення, скорочення часу огляду, впровадження нових інформаційних технологій, поєднання переваг різних типів РЛС і комбіноване їх використання у системі розвідки.

Розширити можливості РЛС по виявленню, розпізнаванню і визначенню типу БпЛА можна шляхом компонування їх з радіотехнічними засобами розвідки, оптичними, акустичними та інфрачервоними засобами виявлення.

Перспективним шляхом підвищення ефективності радіолокаційного виявлення малорозмірних, маловисотних повітряних об'єктів (тактичних БпЛА) є використання єдиних активно-пасивних багатопозиційних радіолокаційних систем, які застосовують автоматизовані дистанційні керовані РЛС, з використанням енергії сторонніх джерел випромінювання, а також компонування інформації, що надходить по каналам різної фізичної природи для її подальшої видачі споживачам для прийняття рішення.

### **Список використаних джерел**

1. С. М. Ковалевський, Г. В. Худов, В. І. Боровий. Перспективи розвитку засобів повітряного нападу як об'єктів радіолокаційного виявлення. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 4(40). С. 31–35.
2. В. Г. Радецький. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі: монографія / В. Г. Радецький, І. С. Руснак, Ю. Г. Даник. Київ: НАОУ, 2008. 224 с.
3. В. М. Ліщенко. Малорозмірні безпілотні літальні апарати як об'єкти радіолокаційної розвідки / В. М. Ліщенко, В. В. Чалий, А. Д. Карлов. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. Вип. 3. С. 27–32.
4. Н. Khudov, A. Zvonko, S. Kovalevskiy, V. Lishchenko, F. Zots. Method for the Detection of small-sized Air Objects by Observational Radars. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2, No. 9(92). P. 61–68.
5. A. V. Fedorov, O. V. Pukhovyi. Proposals for improving the quality of radar control of airspace by using the information of the automatic independent cooperative surveillance system ADS-B. Prospects and priorities of research in science and technology: Collective monograph. Riga: Baltija Publishing. 2020.
6. О. В. Белавін, В. Й. Клименко, Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко. Напрямки розвитку радіолокаційних засобів розвідки та контролю повітряного простору. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2014. № 3(40). С. 47–52.
7. О. В. Белавін, В. Й. Клименко, Г. Г. Камалтинов, О. С. Маляренко. Світові тенденції розвитку радіолокаційних засобів контролю повітряного простору / О. В. Белавін. *Наука і оборона*. 2015. № 1. С. 48–53.

**Горбачов Костянтин Миколайович**

<http://orcid.org/0000-0001-7931-1028>

**Гогоняц Спартак Юрійович**

<http://orcid.org/0000-0002-0023-5139>

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

## **КОНЦЕПЦІЯ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ В НАСТУПАЛЬНОМУ БОЮ**

*Досвід проведення Операції об'єднаних сил та антитерористичної операції, а також воєнних конфліктів в Іраку, Сирії та Азербайджані свідчить, що застосування засобів повітряного нападу, в тому числі безпілотних, може суттєво впливати на успіх виконання завдань загальновійськовими формуваннями, як у наступальному, так і в оборонному бою. А це, в свою чергу, веде до зростання вимог щодо надійності їх прикриття від нових повітряних загроз, тобто до їх системи протиповітряної оборони.*

*На даний час, методики, що використовується у військових формуваннях тактичного рівня при плануванні протиповітряної оборони, не є досконалими. Їх аналіз вказує на те, що вони не дозволяють в повній мірі враховувати зміни, які відбулись за останній час у підходах до ведення збройної боротьби. Зокрема, зміни у концепціях застосування засобів повітряного нападу.*

*Тому, дана стаття присвячена вирішенню актуального наукового завдання щодо удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня у наступальному бою.*

*У статті представлено концепцію, яка, в подальшому, дозволить вирішити актуальне наукове завдання щодо удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня у наступальному бою.*

**Ключові слова:** *військові формування, наступальний бій, система протиповітряної оборони, ефективність функціонування, методика оцінювання.*

### **Вступ**

На даний час, вибір системи протиповітряної оборони (ППО) військових формувань тактичного рівня (далі ВФ), у якості об'єкту, а ефективності її функціонування у якості предмету для проведення досліджень, обумовлений важливістю питань збереження боєздатності підрозділів (об'єктів) ВФ та забезпечення успішного виконання бойових завдань в умовах застосування противником сучасних та високотехнологічних засобів повітряного нападу (ЗПН).

Поява, зміни масштабу і характеру застосування яких, були відмічені в ході проведення Операції об'єднаних сил (ООС) та антитерористичної операції (АТО) [1], а також у воєнних конфліктах в Сирії, Лівії та Нагірному Карабахі [2-4].

Наприклад, в серпні 2020 року Азербайджан розпочав перший етап бойових дій зі швидкого знищення основних сил системи ППО Вірменії, що також були розташовані й у Нагірному Карабахі. Вірменська ж сторона виявилася нездатна ефективно цьому протидіяти. Тому, опинилась в ситуації, коли Азербайджан, поступово завоювавши перевагу в повітрі, вміло використав її для подальшого нанесення значних втрат сухопутним військам Вірменії, чим й досяг стратегічної переваги в війні [2-4].

Так, за проаналізованими даними з відкритих джерел, у період з 27 серпня по 1 жовтня втрати Вірменії в озброєнні ППО вже становили: близько 10 радіолокаційних станцій (РЛС) та 25 пускових установок ЗРК. В тому числі: 10 станцій наведення зі складу ЗРК С-300 та С-125; пускові установки: 5П85 (С-300П) - 5 од., 9А331 "Тор-М2КМ" - 1 од., 2П25 "Куб" - 2 од., БМ 9А33 "Оса" - 14 од., БМ 9А34(35) "Стрела-10" - 3 од.. В той же час, втрати Азербайджану в ЗПН склалися до 24 одиниць, серед яких: Су-25 - 1 од., Мі-24п - 1 од., Bayraktar-TB2 - до 3 од., решта дрібні БпЛА та літаки Ан-2 у дистанційно керованому варіанті [2-4].

Під впливом сучасних змін у концепціях застосування ЗПН, відбуваються зміни у способах дій сухопутних з'єднань і частин, зокрема й країни-агресора. Групове та сумісне з пілотованою застосування БпЛА потребує відповідних змін у підходах до визначення способів сил і засобів ППО ВФ сухопутних військ. Особливої важливості, у зв'язку з необхідністю виконання завдань захисту держави та відновлення її територіальної цілісності, набувають питання підготовки і ведення ППО ВФ у наступальному бою (НБ) [5,6].

Але, на даний час, науково-методичний апарат (НМА), в тому числі методика, що визначена керівними документами [7] та використовується для прогнозування ефективності системи ППО ВФ,



не враховує вказаних вище змін, тобто не є досконалою. Хоча, при певних умовах, і дозволяють здійснювати основні тактичні розрахунки [5,6,7].

Аналіз цих публікацій [5,6,7] свідчить, що вони можуть складати основу для визначення напрямків пошуку вирішення поставлених у статті завдань, але в наслідок швидких змін, що відбулись останнім часом, не в повній мірі враховують проблематику сьогодення та властивості, що притаманні веденню ППО ВФ у наступальному бою.

Так, основу цієї методики оцінювання ефективності ППО, складає алгоритм визначення вогневих можливостей підрозділів ППО ВФ при витраті одного боекомплекту зенітних керованих ракет (ЗКР) та боеприпасів до зенітної артилерії (БП до ЗА), що не є досконалим.

Тому, для досягнення основної мети статті необхідно за допомогою відповідних методів, послідовно виконати декілька завдань. А саме: провести аналіз умов функціонування системи ППО ВФ у наступальному бою та виявити основні чинники, які можуть суттєво впливати на її ефективність і раніше не були враховані (метод системного аналізу); а також, на основі результатів цього аналізу визначити та обґрунтувати більш адекватну систему показників оцінювання ефективності функціонування системи ППО бригади у наступальному бою, та записати їх у формальному вигляді (теорія дослідження операцій); сформулювати загальні висновки. В подальшому, продовжити дослідження умов виконання завдань ВФ необхідно визначити, які завдання, на відміну від існуючих, повинна вирішувати удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони та, в залежності, від отриманих результатів аналізу, відповідним чином доповнити, трансформувати або за необхідністю змінити структурно-логічну схему та загальний порядок проведення розрахунків. Особливо, у разі внесення до методики нових математичних виразів для розрахунку кількісних значень визначених показників оцінювання.

Саме тому, дана стаття присвячується вирішенню актуального наукового завдання щодо визначення концепції, тобто пошуку підходів до удосконалення існуючої [7] методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою (далі методика).

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Аналіз результатів проведених досліджень щодо визначення умов застосування СіЗ ППО ВФ в ході підготовки і ведення НБ вказує на те, що основним напрямком пошуку є забезпечення можливостей НМА щодо визначення та врахування закономірностей впливу способів виконання ВФ завдань НБ, що обрані командирами, на можливості

СіЗ ППО з прикриття підрозділів(об'єктів ) ВФ від ударів з повітря. Але, визначення лише частки бойових можливостей СіЗ ППО, як в існуючій методиці, недостатньо для того, щоб в подальшому, обґрунтовано побудувати систему ППО в цілому.

Тому, зміст удосконаленої методики оцінювання (прогнозування) ефективності функціонування системи ППО ВФ в НБ повинен включати модулі(блоки), що дозволяють враховувати наведені нижче чинники:

1.Кількісно-якісний склад наземних угруповань противника.

2.Масштаб і характер дій повітряного противника(ПП).

3.Склад, стан та потенційні бойові можливості СіЗ ППО ВФ; склад, завдання взаємодіючих СіЗ ППО та їх вплив на бойові можливості СіЗ ППО ВФ.

4.Новий елемент - обраний командиром варіант способу дій (способу переходу у наступ, напрямок зосередження зусиль, послідовності ураження і розгрому противника, видів маневру, побудови бою тощо) та його вплив на варіанти побудови системи ППО ВФ.

5.Характеристики району ведення бойових дій, що можуть впливати на побудову системи ППО ВФ.

6.Можливі втрати СіЗ ППО, в тому числі, як новий елемент, психогенні втрати.

7.Можливості щодо своєчасного отримання інформації про повітряну обстановку, яка необхідна для прийняття рішень, обробку та видачу її у потрібному вигляді споживачам.

8.Можливість цільового каналу ( ЦК) визначеного типу щодо обстрілу певних типів повітряних цілей (ПЦ).

9.Витрату ЗКР (БП до ЗА) на обстріл ПЦ, в тому числі, як новий елемент, необхідний їх запас.

Особливо слід відмітити, що в удосконаленій методиці, на відміну від існуючої [7] повинна бути передбачена можливість оцінювання ефективності функціонування системи ППО за відповідними етапами обраного способу НБ та впровадження адекватної до умов НБ системи показників. А також можливість використання часткових методик, які, за необхідністю, можуть включатись до основної схеми розрахунків для визначення параметрів показників ефективності на одному з етапів НБ. Наприклад, якщо в основній методиці розраховується витрата ЗКР (БП до ЗА) на обстріл ПЦ та їх запас, то протягом виконання завдань буде виникати питання поповнення боекомплекту ЦК. Тому, враховуючи випадковий характер результатів виконання цих завдань, актуальним було б створення часткової методики, призначенням якої було б прогнозування ефективності виконання завдань забезпечення бойових дій підрозділів ППО ВФ в ході НБ.

Удосконалена методика повинна дозволяти вирішувати наступні основні задачі:

1. Кількісна оцінка бойових можливостей штатних та доданих (оперативно підпорядкованих) підрозділів ППО ВФ.

2. Прогнозування втрат, що очікуються та їх впливу на виконання завдань, в тому числі психогенних втрат серед особового складу.

3. Обґрунтування кількісного та якісного складу СіЗ ППО, бойових порядків, інтенсивності маневру, необхідних запасів та витрати ЗКР (БП до ЗА) для досягнення потрібних бойових можливостей.

4. Оцінювання обраних варіантів побудови системи ППО, в тому числі з урахуванням інших СіЗ, що можуть бути залучені до виконання завдань ППО.

6. Прогнозування ефективності функціонування системи ППО за етапами ведення НБ.

Система показників, що використовується в методиці, може складатись з одної з двох наведених нижче груп.

До першої групи можуть належати показники, за допомогою яких здійснюється оцінювання вогневих та маневрених можливостей підрозділів ППО під час відбиття удару ЗПН: кількість ЗПН, що може бути обстріляна підрозділами ППО ( ); математичне сподівання кількості ЗПН, що знищуються в ході виконання завдань з прикриття підрозділів і об'єктів ( ); математичне сподівання кількості збережених від ураження ЦК, за час бою ( ); математичне сподівання кількості змін позицій ЦК при заданій кількості стрільб ( ) [8-10].

До другої групи можуть належати показники, за допомогою яких здійснюється оцінювання ефективності зенітного ракетно-артилерійського прикриття (ЗРАП) підрозділів та об'єктів ВФ від ударів ЗПН: імовірність збереження об'єктів прикриття від ударів ЗПН ( ); математичне

сподівання величини втрат підрозділів, що прикриваються ( ) [10-12].

Перспективна структурно-логічна схема удосконаленої методики оцінювання функціонування системи ППО ВФ може мати вигляд, що представлений на рисунку 1.

Інформація, що необхідна для проведення попередніх розрахунків, повинна міститись у окремому блоці формування вихідних даних.

В блоці моделювання бойових дій повинна відбуватись оцінка роботи основних підсистем загальної системи протиповітряної оборони ВФ шляхом визначення розвідувальних, маневрених та вогневих можливостей СіЗ ППО ВФ, що залучаються до виконання завдань прикриття від ударів з повітря, а також враховуватись негативний вплив нанесення противником ураження. Результатом роботи блоку мають бути кількісні значення обраної системи показників оцінювання ефективності функціонування системи ППО.

В блоці аналізу результатів моделювання має відбуватись оцінювання прийнятності отриманих результатів згідно визначеного в методиці критерію, та формування пропозицій для прийняття рішення.

Таким чином, на підставі результатів аналізу існуючих методик оцінювання ефективності ППО, було сформовано основні напрямки забезпечення їх відповідності особливостям підготовки і ведення наступального бою військовими формуваннями тактичного рівня. Запропонована в статті концепція змін, в подальшому, дозволить вирішити актуальне наукове завдання щодо удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня у наступальному бою.

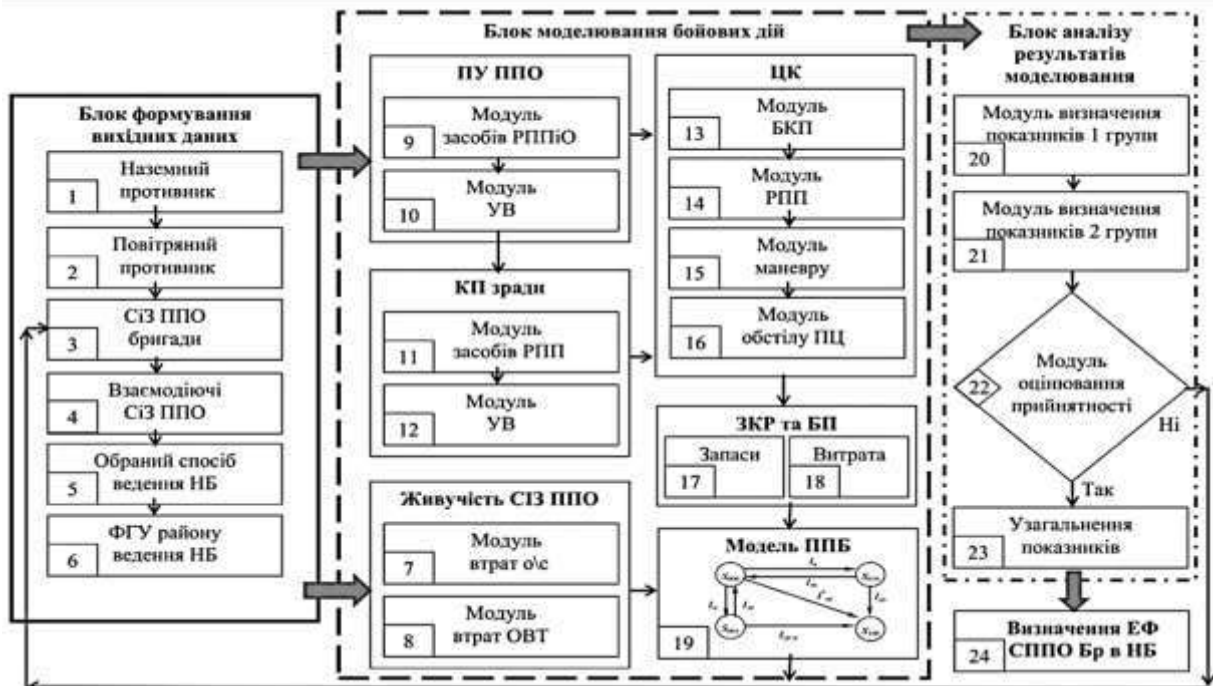


Рисунок 1. Структурно-логічна схема удосконаленої методики

## **Висновок**

Таким чином, на підставі результатів аналізу існуючих методик оцінювання ефективності ППО, було сформовано основні напрямки забезпечення їх відповідності особливостям підготовки і ведення наступального бою військовими формуваннями тактичного рівня. Запропонована в статті концепція змін, в подальшому, дозволить вирішити актуальне наукове завдання щодо удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня у наступальному бою.

Що, в свою чергу, з подальшим розвитком загальних положень запропонованої методики, може забезпечити отримання більш об'єктивних результатів прогнозування й буде забезпечувати командирам (начальникам) більш широкі можливості обґрунтовувати пропозиції щодо підвищення ефективності функціонування системи ППО ВФ у загальновійськовому бою.

## **Список використаних джерел**

1. Біла книга антитерористичної операції на Сході України (2014–2016) / (під заг. ред. І. Руснака) – К.: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, 2017. – 162 с. — ISBN 978-617-7187-21-8.
2. Офіційний сайт BBC. Чому Азербайджан виграв війну у Карабаху? Відповідають військові експерти. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54912350>.
3. Офіційний сайт Deutsche Welle. Війна Вірменії та Азербайджану за Карабах: що приніс місяць боїв. – Режим доступу: <https://www.dw.com/uk/viina-virmenii-ta-azerbaidzhanu-za-karabakh-shcho-prynis-misiats-boiv/a-55423675>.
4. Офіційний сайт .UA. Нагірний Карабах: Хто найбільше виграв від завершення війни та які висновки може зробити Україна. – Режим доступу: <https://www.5.ua/svit/nahirnyi-karabakh-khto-naibilshe-vyhrav-vid-zavershennia-viiny-taiaki-vysnovky-mozhe-zrobyty-ukraina-228953.html>.
5. Аналіз форм і способів застосування Сухопутних військ в сучасних умовах, які впливають на розвиток ОБТ, засоби технічного

забезпечення, підготовки технічних спеціалістів [Електронний ресурс] / М.М. Середенко, Р.В. Кузьменко, Р.В. Хорев, Л.М. Кізло, — Львів: НАСВ, 2017. — Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/2017/09/analysis-forms-and-methods.html> (15.05.2021). — Назва з екрану.

6. Доктрина “Сухопутні війська Збройних сил України”. К: КСВ ЗС України, 2021. – 47 с.

7. Бойовий статут Сухопутних військ “Війська протиповітряної оборони Сухопутних військ Збройних сил України”. – К: КСВ ЗС України, 2021. – 142 с.

8. Загорка О. М. Методичні положення оцінки живучості зенітної ракетної системи від дії по її елементах засобів ураження противника / О. М. Загорка, В. В. Коваль, І. О. Загорка // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 12–16.

9. Городнов В.П. Выбор показателей и критериев для оценки эффективности ведения воздушной разведки по выявлению незаконных вооруженных формирований / В.П. Городнов, Е.Б. Смирнов, А.В. Тристан, О.Е. Чернавина // Наука і техніка Повітр. сил Збройн. сил України. 2012. – № 1. – С. 58-62. – ISSN 2223-456X.

10. Городнов В.П. Модель обґрунтування структури системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів при порушенні боєздатності угруповання зенітних ракетних військ / В.П. Городнов, М.О. Єрмошин, В.В. Шулежко // Зб. наук. пр. Харк. ун-ту Повітр. сил. - 2013. - Вип. 1. - С. 2-4.

11. Городнов В.П. Удосконалена аналітико-стохастична модель протиповітряного бою зенітного ракетного комплексу / В.П. Городнов, С.Ю. Гогоняц // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони // НУОУ – К, 2010. – №2 (8) – С. 47 – 54. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2010\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2010_2_3).

12. Степанов Г.С. Основні положення удосконаленої методики оцінки живучості угруповання зенітних ракетних військ при виконанні завдань зенітного ракетного прикриття / С. Ю. Гогоняц, Г. С. Степанов // Системи озброєння і військова техніка. – К.: 2012. – № 2. – С. 37–41. – ISSN 1997-9568.

**Хажанець Юрій Анатолійович**

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

**Медведєв Володимир Костянтинівич** (кандидат військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0003-1113-5042>

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

<https://orcid.org/0000-0002-0643-3021>

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

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*В статті запропонована удосконалена методика розрахунку пропускної спроможності каналів зв'язку військового призначення яка на відміну від існуючих враховує особливості функціонування сучасної системи зв'язку. В цифровій системі зв'язку під час передачі інформації об'єму службової інформації та стійкості каналу зв'язку. Дослідження існуючих методик розрахунку пропускної спроможності дають змогу зробити висновок, що методики які були присвячені розрахунку пропускної спроможності аналогових систем зв'язку не можуть бути використані, адже не враховують особливості функціонування цифрових засобів зв'язку. Крім того наявні методики, що присвячені розрахунку пропускної спроможності для цифрових систем зв'язку не дають змогу належним чином розрахувати необхідну пропускну спроможність каналів зв'язку військового призначення. Таким чином в даній роботі запропоновано удосконалену методику розрахунку пропускної спроможності військової інформаційно-телекомунікаційної системи.*

**Ключові слова:** *інформаційно-телекомунікаційна система, стійкість, пропускну спроможність.*

### **Вступ**

Досвід збройних конфліктів сучасності, а також виконання бойових завдань в зоні проведення антитерористичної операції та операції об'єднаних сил Збройними Силами України, дає змогу зробити висновок, що результат збройної боротьби сьогодні значною мірою залежить від стійкого, безперервного, оперативного та скритного управління військами та зброєю. Таке управління може бути досягнуте лише за умови наявності інформаційно-телекомунікаційної системи, що буде спроможна забезпечити своєчасний, достовірний та безпечний обмін оперативно-тактичної інформації (ОТІ).

Результати проведених досліджень свідчать про те, щоб забезпечити своєчасність, достовірність та повноту обміну заданої ОТІ в військовій інформаційно-телекомунікаційній системі (ВІТС) різних ланок управління може бути забезпечено перш за все за умови достатньої пропускної спроможності. Достатня пропускну спроможність будь-якої ІТС повинна бути розрахована завчасно, ще на етапі її планування та побудови, а це вимагає наявності відповідного математичного апарату.

### **Актуальність теми**

Основною характеристикою військової інформаційно-телекомунікаційної системи (ВІТС) є якість надання послуг [1] які безпосередньо залежать від пропускної спроможності та стійкості каналів зв'язку. З причини недостатньої пропускної спроможності

ВІТС виникають збої маршрутизації та затримки передачі даних, що в свою чергу призводить до надання послуг низької якості, або послуги взагалі перестають надаватися, про що свідчать і звіти командно-штабних навчань, наприклад, "Козацька воля – 2019". Існуючі методики розрахунку пропускної спроможності які використовувались для аналогових систем зв'язку не враховують особливостей роботи цифрової системи зв'язку, штабні методики, наприклад, [2] та методики [3,4,5] не враховують вхідний трафік. Крім того [3] не враховує ймовірність втрати пакетів, а [4,5] об'єм службової інформації. За допомогою методики [6] можливо розрахувати тільки пропускну спроможність для обслуговування голосових повідомлень.

Таким чином виникає необхідність розроблення удосконаленої методики розрахунку пропускної спроможності військової інформаційно-телекомунікаційної системи.

**Метою статті** є удосконалення методики розрахунку пропускної спроможності ВІТС.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Враховуючи те, що від ефективності функціонування ВІТС залежить управління військами та зброєю, а від якості зв'язку залежить успіх виконання бойових завдань, оцінку пропускної спроможності слід здійснювати за критерієм якості надання послуг в якості якого використовується співвідношення пропускної спроможності телекомунікаційної

мережі (ТМ) до навантаження, що створюється відповідними видами послуг які надаються інформаційно-телекомунікаційним вузлом (ІТВ) для забезпечення управління. Аналітично це може бути представлено співвідношенням:

$$Z = \frac{\mu_{TM} \cdot K_{ст}}{\lambda_{ITB} \cdot P_n}$$

- де  $Z$  – коефіцієнт, що характеризує якість надання послуг;  
 $\mu_{TM}$  – пропускна спроможність телекомунікаційної мережі;  
 $K_{ст}$  – коефіцієнт стійкості ТМ до впливу на неї зовнішніх факторів;  
 $\lambda_{ITB}$  – навантаження на ТМ створене ІТВ;  
 $P_n$  – ймовірність надання всіх видів послуг одночасно.

Таким чином значення  $Z \approx 1$  свідчить про те, що ТМ справляється з навантаженням створеним ІТВ, послуги надаються якісно.

За умови  $Z > 1$  дає змогу стверджувати, що ТМ має певний резерв, послуги надаються якісно.

А от якщо  $Z \gg 1$  то це вже свідчить про надлишковість сил і засобів ТМ і доцільно здійснити корегування залучених сил і засоби ТМ, хоча варто зауважити послуги будуть надаватися якісно.

При  $Z < 1$  можливо зробити висновок, що ТМ не справляється з навантаження, що обов'язково призведе до надання послуг низької якості або унеможливить надання деяких з них, необхідно переглянути сили і засоби ТМ.

Пропускна спроможність ТМ характеризується швидкістю передачі даних та залежить від технічних характеристик засобів зв'язку, ліній прив'язки ІТВ та наданої швидкості передачі даних провайдером, а також стійкістю їх до впливу противника в певних умовах обстановки. Врахування коефіцієнту стійкості ВІТС є вкрай необхідним, адже він буде впливати на ймовірність втрати пакетів під час їх

передачі, а так як втрата пакету обумовлює його повторну передачу, то це буде створювати додаткове навантаження на ВІТС, що в свою чергу буде призводити до зменшення пропускної спроможності ВІТС.

Навантаження на ТМ будуть залежати від ряду інформаційно-телекомунікаційних послуг (сервісів) які будуть надаватися ІТВ для забезпечення управління. Кількісним показником навантаження є необхідна швидкість передачі даних для забезпечення якісного надання інформаційно-телекомунікаційної послуги.

Крім того під час розрахунку навантаження на ТМ варто врахувати не лише вихідний, а ще і вхідний трафік та особливості роботи цифрових каналів зв'язку та мереж, а саме, їх чутливість до перевантажень, для забезпечення стійкості роботи мережі та передавання службової (мережевої) інформації доцільно враховувати поправочний коефіцієнт, наприклад, для технології Ethernet це 1,4 [2]. Проведені дослідження вказують на те, що цей показник може коливатися від 1,1 до 1,8 в залежності від довжини пакетів, що передаються. Аналітично розрахунок навантаженості ТМ буде мати вигляд:

$$\lambda_{ITB} = (\lambda_{вих} + \lambda_{вх}) \cdot k \quad (1)$$

- де  $\lambda_{вих}$  – вихідний трафік (навантаження яке може бути здійснено ІТВ);  
 $\lambda_{вх}$  – вхідний трафік (навантаження, що здійснюється вхідними потоками від ІТВ з якими здійснюється обмін інформацією);  
 $k$  – поправочний коефіцієнт, що враховує об'єм службової інформації.

Для розрахунку вихідного та вхідного трафіку необхідно мати таблицю з вимогами до швидкості передачі даних для інформаційно-телекомунікаційних послуг. Дані вимоги наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Вимоги до швидкості передачі даних для інформаційно-телекомунікаційних послуг**

№ з/п	Вид послуги	Максимальна пропускна спроможність, Кбіт/с	Пачечність	Середня пропускна спроможність, Кбіт/с
1	Телефонія *	2,4 ÷ 64	1	2,4 ÷ 64
2	Відеоконференцзв'язок	1024	2	512
3	Електронна пошта в АСУ ЗС України "Дніпро"	512	5	102,4
4	Електронна пошта в мережі ЗСУ 001, ЗСУ 002	512	5	102,4
5	WEB – доступ в АСУ ЗС України "Дніпро"	512	5	102,4
6	Захищена СЕДО	2048	5	409,6

№ з/п	Вид послуги	Максимальна пропускна спроможність, Кбіт/с	Пачечність	Середня пропускна спроможність, Кбіт/с
7	Віраж-Планшет	512	5	102,4
8	Ореанда ПС	1024	5	204,8
9	Персонал	1024	5	204,8
10	Дельта	1024	5	204,8
11	Логістична інформаційна система (ЛІС)	1024	5	204,8
12	Медична інформаційна система (МІС)	1024	5	204,8

\* Для визначення необхідної пропускної спроможності телефонії необхідно звернутись до таблиці характеристик вокодерів для цифрових каналів таблиця 2.

Таблиця 2

**Характеристика вокодерів для цифрових каналів**

Стандарт	Вокодер	Використання	Швидкість кодування, Кбіт/с	Довжина кадру, мс	Затримка, мс	MOS* середня
G.711	PCM	Телефонія	64	0,125	0,125/0,75/5	4,15
G.722	SB-ADPCM	Телефонія	64	40	5	
			56	35	5	
			48	30	5	
G.726	ADPCM	Телефонія	40	25	5	
			32	0,125/20	1/5	3,91
			24	15	5	
			16	10	5	
G.728	LD-CELP	Телефонія	16	0,625/10	2,5/3...5	3,69
G.729	CS-ACELP	Телефонія	8	10	10	3,96
G.729a	CS-ACELP	Телефонія	8	10	10	3,71
G.723.1	MP-MLQ	Телефонія	6,3	30/24	30/37,5	3,93
G.723	ACELP	Телефонія	5,3	30/20	30/37,5	3,66
ETS1GSM	RTP-PLE	GSM	13	20		3,3
ETSI TETRA	ACELP	Транкінг	4,8			3,4
США	MELP	Телефонія	2,4		45	3,5
TETRA	ACELP	Транкінг	4,57	30		3,4

\* MOS (Mean Opinion Score) – усереднена оцінка розбірливості мови. MOS дає кількісне уявлення про якість переданої медіаінформації після стиснення за допомогою кодеків і передачі по каналах зв'язку. MOS виражається числовим значенням від 1 до 5.

Для розрахунку вихідного (вхідного) трафіку скористаємось наступною формулою:

$$\lambda_{вих(вх)} = \sum_{i=1}^m \lambda_{si}$$

де  $m$  – кількість сервісів, що надається;

$\lambda_{si}$  – навантаження  $i$ -го виду сервісу;

Для розрахунку створеного навантаження від певного виду сервісу необхідно скористатись формулою:

$$\lambda_s = V \cdot n$$

$V$  – об'єм інформації для конкретного виду послуги;

$n$  – кількість абонентів (терміналів).

**Висновок**

Таким чином в даній статті запропоновано удосконалену методику розрахунку та оцінки пропускної спроможності військової інформаційно-телекомунікаційної системи (мережі) з урахуванням вхідного та вихідного трафіку та стійкості каналу зв'язку, яка дає змогу більш досконало розрахувати необхідну пропускну спроможність каналу зв'язку в порівнянні з наявними методиками. Подальші дослідження будуть зосереджені на розрахунку коефіцієнта стійкості різних видів каналів зв'язку (оптоволоконних, радіорелейних та ін.).

**Список використаних джерел**

1. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. "Телекомунікаційні та інформаційні мережі" Київ САММІТ-Книга 2010. – 708 с.
2. Наказ Генерального штабу Збройних Сил України "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” №80 від 26.08.2020 року м. Київ

3. Остапчук В.М., Фараон С.І., Бондаренко Л.О. “Методика оцінки пропускної спроможності як характеристики системи військового зв'язку”. – К.: Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони №1(31)/2018. – С. 81-84.

4. Романов А.І. “Основы теории телекоммуникационных сетей”. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” Київ – 2002. – 205 стор.

5. Кучук Г.А., Стасєва Я.Ю., Болубаш О.О. “Розрахунок навантаження мультисервісної

мережі”. – Х.: Системи озброєння і військова техніка, 2006, випуск 4(8) – С. 130-134.

6. Маньківський В.Б. “Методи розрахунку пропускної здатності та продуктивності гілок мережі mp1s при обслуговуванні голосових повідомлень” Спеціальність: 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Київ – 2017. 179 – стор.

7. Шевченко Д.Г., Зінченко А.О., Розум І.Ю. “Комплекси, системи та засоби військових телекомунікаційних мереж”. Навч. Посіб./К.:НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2019. – 319

**Кравченко Сергій Опанасович**  
<https://orcid.org/0000-0001-8188-3113>

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

## **ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ТА ВЕДЕННЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВОГО ОБ'ЄДНАННЯ У ОПЕРАЦІЇ**

*У статті визначені проблеми, які впливатимуть на протиповітряну оборону оперативно-тактичного загальновійськового об'єднання в операції, а саме на виконання завдань блокування повітряного простору і контролю за особливим режимом його застосування; підтримки безперервної взаємодії з підрозділами, які прикриваються, підрозділами зенітних ракетних військ і винищувальної авіацією; боротьби із засобами повітряного нападу, які діють на гранично малих висотах (безпілотними літальними апаратами, крилатими ракетами, штурмовиками і бойовими вертольотами). Показано, що шляхи рішення проблем залежать від визначення раціональних заходів проведення завчасної і безпосередньої підготовки частин і підрозділів протиповітряної оборони Сухопутних військ до бойових дій у операції. Пропонується склад підсистеми боротьби з безпілотними літальними апаратами і розвідувального - інформаційного центру на основному командному пункту оперативно-тактичного об'єднання для підвищення спроможностей по боротьбі з безпілотними літальними апаратами і отримання, своєчасної достовірної інформації про дії повітряного противника на гранично малих висотах.*

**Ключові слова:** *Операція, протиповітряна оборона об'єднання, засоби повітряного нападу, безпілотні літальні апарати, тактична авіація, крилаті ракети, протирадіолокаційні ракети.*

### **Вступ**

Досвід застосування засобів повітряного нападу в останніх збройних конфліктах, особливо за участю Російської Федерації у Сирії, Карабахському конфлікті вказує [2] на появу деяких особливостей, що в тій, чи іншій мірі, повторювались у рамках кожного конфлікту і окремі з яких мали місце й під час операції об'єднаних сил (ООС) [1] на Сході України. Наведемо окремі з них: масоване використання безпілотних літальних апаратів (БпЛА), особливо на початковому етапі операції, для виконання завдань у складі демонстраційно-провокуючих груп у комплексі з інтенсивним застосуванням радіоелектронних перешкод і протирадіолокаційних ракет (ПРР) під час нанесення ударів тактичною авіацією (ТА) і крилатими ракетами (КР); застосування оперативно-тактичних, тактичних і міні БпЛА для ведення повітряної розвідки та надання цілевказівок не тільки у режимах перспективного й планового огляду без вторгнення у повітряний простір противника (в тому числі радіолокаційними станціями бічного огляду з великих висот), а й безпосередній вихід та баражування БпЛА у районі цілей; досягнення більш високого рівня комплексування засобів радіоелектронної боротьби, в тому числі БпЛА, для продавлення елементів системи ППО; застосування БпЛА для виконання поставлених завдань ведення радіотехнічної розвідки та інформаційної боротьби; досягнення високого ступеню гнучкості у застосуванні засобів повітряного нападу (ЗПН); нерівномірність витраченого авіаційного ресурсу й

відсутність чітких часових рамок нанесення повітряних ударів малими групами для досягнення їх безперервності "хвиля за хвилею", в тому числі за рахунок введення до складу ударів чисельних груп з БпЛА.

Таким чином, як на сьогодні, так і у майбутньому питання підготовки протиповітряної оборони загальновійськового об'єднання, в тому числі й під час ведення операції будуть одними з основних. Відповідно до вказаного вище, визначення проблем, які виникають в ході підготовки і веденні бойових дій військовими частинами і підрозділами ППО Сухопутних військ (ППО СВ), а також пошук шляхів їх вирішення буде одним з тих найважливіших завдань, від яких буде залежати результат протистояння агресору у операції.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Широке застосування стратегічної, тактичної, армійської авіації повітряно-космічних сил Росії у останніх збройних конфліктах, зокрема в Сирії, Карабахському конфлікті, використанням високоточної зброї (ВТЗ), КР, керованих авіаційних бомб (КАБ) та масоване застосування тактичних БпЛА і міні БпЛА у війні дає підстави твердити, що питання підготовки та ведення протиповітряної оборони загальновійськового об'єднання на сучасному етапі та у майбутньому будуть одними з найважливіших у ході протистояння агресору. При цьому, результати Карабахського конфлікту і ведення ООС на сході України [4] свідчать, що у цих умовах



основним варіантом застосування противником ЗПН є:

демонстративні дії авіації з порушенням повітряного кордону та масоване застосування БпЛА для ведення повітряної розвідки, корегування вогню артилерії і викриття системи протиповітряної оборони; доставка озброєння та амуніції незаконним збройним формуванням повітрям; нанесення з території противника, без порушення державного кордону, раптових поодиноких ракетно-авіаційних ударів для підготовки і проведення повітряної наступальної операції, наступальної операції сухопутних військ і морської десантної операції.

Отже, під час прикриття військ загальновійськового об'єднання від ударів ЗПН противника у операції, сили і засоби ППО СВ будуть застосовуватися у формі бойових дій, як сукупності протиповітряних боїв [4]. Однак, до початку ведення операції загальновійськовим об'єднанням, виникає ряд особливих завдань ППО: блокування повітряного простору, контроль і організація особливого режиму його використання; підсилення ППО державного кордону у повітрі; безпосереднє прикриття сил та засобів загальновійськового об'єднання від ведення повітряної розвідки БпЛА та адекватне реагування на демонстративні дії і можливі поодинокі повітряні удари авіації, КР і БпЛА з території Російської Федерації; участь у веденні активних бойових дій з НЗФ, у тому числі і безпосередня вогнева підтримка загальновійськових підрозділів (ведення вогню по наземних цілях). Для виконання цих завдань, необхідно проведення спеціальних заходів підготовки підрозділів і військових частин ППО СВ до бойових дій. Відомо, що основою підготовки підрозділів, військових частин ППО СВ ОТУВ є замисел командувача на операцію [1]. Замисел операції – результат творчого мислення загальновійськового командира, який базується на обґрунтованих закономірностях та принципах ведення операції, на вірному усвідомленні отриманого бойового завдання та якісній оцінці обстановки. Виходячи з цього, підготовку до бойового застосування підрозділів ППО СВ потрібно розподілити на завчасну і безпосередню.

В ході завчасної підготовки визначити конкретні заходи підготовки підрозділів, частин ППО СВ до виконання завдань в операції (які сили та засоби ППО СВ залучити до участі у ООС; порядок проведення бойового залагодження; обсяг і зміст проведення тренувань щодо підсилення прикриття повітряного державного кордону, блокування повітряного простору, боротьби з БпЛА, КР тощо; порядок організації та здійсненні взаємодії з підрозділами, які прикриваються та під час безпосередньої вогневої підтримки загальновійськових підрозділів).

Під час безпосередньої підготовки необхідно спланувати планування протиповітряної оборони у

операції (розроблення пропозицій до замислу застосування підрозділів і військових частин ППО СВ, їх завдань, основних питань взаємодії у ході підготовки і проведення операції); здійснити підготовку та заняття позиційних районів, стартових (вогневих) позицій зенітними підрозділами та створити угруповання сил і засобів ППО, системи розвідки повітряного противника та вогню, обладнати в інженерному відношенні позиційні райони зенітних підрозділів; провести заходи всебічного забезпечення (особливо морально – психологічного).

При цьому, під час проведення заходів безпосередньої підготовки особливу увагу необхідно звернути на питання організації боротьби з БпЛА, взаємодії з підрозділами, які прикриваються, особливо під час визначення району розміщення базових таборів, стартових (вогневих) позицій для несення бойового чергування змішаних маневрених зенітних вогневих груп.

Як показав досвід Карабахського і Сирійського конфліктів [3,4], ООС [1] міні БпЛА і тактичні БпЛА представляли постійну загрозу як у період, який передувало застосуванню ракетних військ і артилерії, так і під час їх застосування.

Так, наприклад, за грудень-січень 2017-18 року на Сході України [1] було зафіксовано масоване використання БпЛА виробництва РФ для ведення оперативної-тактичної розвідки, тактичної розвідки, корегування вогню артилерії, постановки завдань засобам зв'язку пунктів управління та виконання інших спеціальних завдань. Зафіксовано використання БпЛА таких типів: "Орлан-10", "Орлан-2", "Стрекоза", "Застава", "Слерон-ЗСВ", "Гранат-4", "Форпост" та інших. Зазначені БпЛА використовувалися з метою: виявлення місць дислокації та концентрації військ (сил) та бойової техніки, маршрутів їх висування, характеру дій; визначення стану інженерного обладнання позицій, викриття системи вогню, зокрема системи вогню артилерії; виявлення резервів та шляхів підвозу боєприпасів та матеріальних засобів з метою їх подальшого знищення; коректування і контроль результатів вогню мінометів, артилерії (у тому числі при застосуванні високоточних боєприпасів, реактивних систем залпового вогню (РСЗО) типу "Град"; викриття противником системи ППО загальновійськового об'єднання.

На початку військового конфлікту застосовувалися поодинокі БпЛА. При цьому, вихід в райони виконання завдань здійснювався, як правило, по території яка контролюється противником. Противник використовував наступні тактичні прийоми застосування БпЛА: траєкторія польоту БпЛА складалася з декількох типових ділянок: ділянка підльоту до району (об'єкту) розвідки; ділянка пошуку розвідки чи ділянка до розвідки (баражування над районом для коректування вогню, чи оцінки результатів вогневого удару противника); ділянка повернення БпЛА на безпечну територію; БпЛА запускалися в

напрямку безпосереднього розташування району розвідки, а їх політ відбувався на максимальній висоті із максимальною швидкістю з метою економії ресурсу під час обмеженого польотного часу.

В подальшому противник змінив тактику і перейшов до групового (ройового) застосування БпЛА сумісно з міні БпЛА. У склад групи входили два – три БпЛА типу "Орлан-2", "Стрекоза", "Застава", "Гранат-4", "Форпост" і чотири-п'ять міні БпЛА які здійснювали політ на різних висотах. При цьому, перший здійснював розвідку з висоти 50-500 м, другий – БпЛА РЕБ здійснював політ на висоті 1000-1500 м, при виявленні роботи ЗРК застосовував активні шумові завади; третій БпЛА – ретранслятор, здійснював передачу розвід інформації на ЦУ БпЛА з висоти 4000-4500 м. Міні БпЛА застосовувалися в якості хибних для виявлення роботи БМ (ЗСУ), які діють з засідок і в якості кочуючих.

Крім того, були випадки застосування БпЛА для скоєння диверсій шляхом закидання з повітря нестандартних вибухових речовин, легкозаймистих рідин на позиції механізованих підрозділів, польові склади зберігання боезапасу та палива. Виходячи з аналізу льотно-технічних характеристик БпЛА "Стрекоза" впливає, що вона може виконувати вищезазначені завдання використовуючи 100-300 г. вибухові пристрої. Разом з тим, можна припустити використання в якості ударного, БпЛА "Слерон-3СВ", тому що він має бортовий контейнер, що скидається вагою до 3 кг. Решта розглянутих апаратів, після незначних доробок і заміни частини камер на пристрій, який зможе нести навантаження і потім його скидати можна залучити до виконання диверсій. Таким чином, урахувавши досвід застосування БпЛА у операції, свідчить що боротьба з ними буде прерогативою, підрозділів ППО СВ.

Відомо [8], що, технічні характеристики БпЛА значно знижують бойові можливості зенітних підрозділів по знищенню БпЛА.

Встановлено [5], що тактичні БпЛА і міні БпЛА виготовлені із композитних матеріалів, отже мають надзвичайно низькі відбиваючі властивості. Експериментальні дані щодо їхньої ефективної площі розсіювання (ЕПР) відсутні, але враховуючи їх розміри та матеріали, з яких вони виготовлені, можна припустити, що вони мають ЕПР меншу за 0,001 м<sup>2</sup>.

Тому, основна проблема боротьби засобів ППО СВ з БпЛА – це суттєво менша ефективна площа розсіювання (ЕПР), що значно знижує дальність виявлення БпЛА ( $D_{БпЛА}$ ) радіолокаційними засобами у порівнянні з дальністю виявлення типових повітряних цілей ( $D_{ТЦІ}$ ) конкретним радіолокаційним засобом. Зниження дальності виявлення БпЛА можна визначити залежністю:

$$D_{БпЛА} = D_{ТЦІ} \cdot \sqrt[4]{\frac{\sigma_{БпЛА}}{\sigma_{ТЦІ}}}$$

де  $\sigma_{БпЛА}$ ,  $\sigma_{ТЦІ}$  – ЕПР БпЛА та типової повітряної цілі відповідно.

Розрахунки показують, що ЕПР БпЛА приблизно на три порядки менше ЕПР типової повітряної цілі, при цьому дальність виявлення РЛС зменшується в 2-2,5 рази і в залежності від умов видимості, відповідає дальності виявлення оптичними приладами (телевізійний оптичний візор, труба зенітна командирська, бінокль) рівної 6-15 км.

Аналіз даних [1,8] показав, що виявлення тактичних БпЛА і міні БпЛА в основному відбувається візуально постами повітряного спостереження. Наприклад у 2021 році на сході України було зафіксовано до 450 прольотів БпЛА з них виявили візуально – 331(73%), акустично 46 (10%), радіолокаційно – 73(17%).

Аналіз можливостей РЛС підрозділів і частин ППО СВ, здійснювався на прикладі тактичних і міні БпЛА російського виробництва типу "Иркут-2М" та "Иркут-3".

Аналіз досліджень [1,4,5,8] показує, що незважаючи на малу радіолокаційну помітність тактичних і міні БпЛА, енергетичного потенціалу РЛС П-19 МА і П-18 МА ППО СВ і РЛС 19Ж6 РТВ вистачає для того, щоб виявляти їх на дальності 15-20 км, під час розташування їх на позиціях за умови відсутності кутів закриття та радіоелектронних перешкод. Слід відмітити, що виявлення тактичних і міні БпЛА не можливо в зонах потужних віддзеркалень від земної поверхні та в наслідок малої ефективності системи селекції рухомих цілей яка обумовлено малим значенням ЕПР та малою швидкістю польоту міні БпЛА

### **Висновок**

Приймаючи до уваги, що для своєчасного прийняття рішення на ПУ ППО бригади на ведення вогню і знищення БпЛА дальність виявлення повітряних цілей засобами радіолокаційної розвідки повинно відповідати вимогам  $D_{вияв} \geq D_{потр}$ . Тому, при умові що  $D_{вияв} \leq D_{потр}$ , при щільності ройового нальоту БпЛА 1-2 ц/хв або 3-4 ц/хв. імовірність своєчасно поставлених вогневих задач складає 0,2-0,3 і 0,1-0,2 відповідно. При відсутності автоматизованого управління вогнем на ПУ ППО (ПУ-12, АСПДУ на РЛС П-19МА) імовірність своєчасної постановки вогневих задач знижується до 0,1 при щільності нальоту 1-2 ц/хв і до 0,06 при щільності нальоту 3-4 ц/хв.

Очевидно, що наявні засоби радіолокаційної розвідки не дозволяють ПУ ППО СВ своєчасно здійснювати постановку вогневих задач ЗРК (ЗГРК, ЗАК) на знищення БпЛА під час їх польоту і вести успішну боротьбу з повітряним противником, особливо який буде діяти на гранично малих висотах. Тому, потрібна розробка і реалізація комплексної системи збройної боротьби з повітряним противником у якій може мати місце підсистема боротьби з БпЛА.

Така цілеспрямована підсистема боротьби з БпЛА має бути підсистемою, загальної системи

збройної боротьби з повітряним противником і включати системи: розвідки і оповіщення про дії БпЛА; управління бойовими діями сил і засобів, які виділені для знищення елементів систем (комплексів) БпЛА на землі і у повітрі; зенітно-ракетного і зенітно-артилерійського прикриття, підготовленого ракетного і артилерійського вогню; змішаних маневрених вогневих груп, у складі зенітних і артилерійських груп зі своїм технічним забезпеченням.

### **Список використаних джерел**

1. Біла книга антитерористичної операції на Сході України (2014–2016) / (підзаг. ред. І. Руснака) – К.: Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, 2017. – 162 с. — ISBN 978-617-7187-21-8.

2. Офіційний сайт BBC. Чому Азербайджан виграв війну у Карабаху? Відповідають військові експерти. – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-54912350>.

3. Офіційний сайт DeutscheWelle. Війна Вірменії та Азербайджану за Карабах: що приніс місяць боїв. – Режим доступу: <https://www.dw.com/uk/viina-virmenii-ta-azerbaidzhanu-za-karabakh-shcho-prynis-misiats-boiv/a-55423675>.

4. Офіційний сайт .UA. Нагірний Карабах: Хто найбільше виграв від завершення війни та які висновки може зробити Україна. – Режим доступу: <https://www.5.ua/svit/nahirnyi-karabakh-khto-naibilshe-vyhrav-vid-zavershennia-viiny-taiaki-vysnovky-mozhe-zrobyty-ukraina-228953.html>.

5. Аналіз форм і способів застосування Сухопутних військ в сучасних умовах, які впливають на розвиток ОБТ, засоби технічного забезпечення, підготовки технічних спеціалістів [Електронний ресурс] / М.М. Середенко, Р.В. Кузьменко, Р.В. Хорєв, Л.М. Кізло, — Львів: НАСВ, 2017. — Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/2017/09/analysis-forms-and-methods.html> (15.05.2021). — Назва з екрану.

6. Доктрина “Сухопутні війська Збройних сил України”. К: КСВ ЗС України, 2021. – 47 с.

7. Бойовий статут Сухопутних військ "Війська протиповітряної оборони Сухопутних військ Збройних сил України". – К: КСВ ЗС України, 2021. – 142 с.

8. С.Д. Вишневський, Л.В. Бейліс, В.Й. Климченко. Потенційні можливості РЛС РТВ з виявлення оперативно – тактичних безпілотних літальних апаратів. Збірник наукових праць ХНУПС, 2017. – Вип. 8. – С. 92 - 98. DOI: 10.30748/nitps.2017.27.18.

Гогоняц Спартак Юрійович  
<http://orcid.org/0000-0002-0023-5139>  
Горбачов Костянтин Миколайович  
<http://orcid.org/0000-0001-7931-1028>  
Смірнов Іван Іванович  
<http://orcid.org/0000-0002-6844-6290>  
Базіло Сергій Михайлович  
<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

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

## **ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПСИХОГЕННИХ ВТРАТ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ ВІЙСЬКОВИХ ФОРМУВАНЬ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ В НАСТУПАЛЬНОМУ БОЮ**

*Досвід проведення Операції об'єднаних сил та антитерористичної операції на сході України вказує на необхідність урахування впливу реальної бойової обстановки на виконання військовими формуваннями тактичного рівня бойових завдань. Одним з основних чинників, що може впливати на результати ведення наступального бою, буде готовність особового складу, зокрема психологічна. Особливо це стосується підрозділів протиповітряної оборони, що мають на озброєнні складну (комплексну) колективну (групову) зброю та одними з перших вступають у протистояння з противником.*

*Так, вже в ході підготовки до наступального бою, на особовий склад чергових сил, що на цьому етапі є основою побудови системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня, починає негативно впливати низка психотравмуючих факторів. Що, в подальшому, може призвести до виникнення психогенних втрат, кількість яких на інших етапах наступального бою може тільки зростати. А зважаючи на вказану вище особливість застосування озброєння, будь-який негативний вплив навіть на одного члена екіпажу бойової машини (установки), може призводити до зниження можливостей бойової машини (установки), цільового каналу в цілому.*

*Аналіз досліджень, присвячених питанням підготовки і ведення протиповітряної оборони військовими формуваннями тактичного рівня, вказує на те, що існуючий науково-методичний апарат оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони в загальновійськовому бою, в цілому, дозволяє здійснювати основні тактичні розрахунки, але не є досконалим. А саме, потребує забезпечення врахування негативного впливу комплексу психотравмуючих факторів бойової обстановки, а також викликаних ними психогенних втрат серед особового складу підрозділів протиповітряної оборони, особливо у наступальному бою..*

*У статті викладено результати пошуку можливих підходів до урахування санітарних і безповоротних психогенних втрат особового складу, що прогножуються, в ході планування протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою.*

*Запропоновано варіант її впровадження в загальну методичку оцінювання ефективності функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня, яка використовується у військах протиповітряної оборони Сухопутних військ Збройних Сил України, дозволить, на відміну від існуючої, отримувати більш об'єктивні та адекватні до умов наступального бою результати.*

**Ключові слова:** *військові формування, наступальний бій, система протиповітряної оборони, ефективність функціонування, психогенні втрати.*

### **Вступ**

Досвід застосування підрозділів Сухопутних військ (СВ) Збройних Сил України (ЗС України) в ході проведення операції Об'єднаних сил (ООС) та антитерористичної операції (АТО) на сході України свідчить, що одним з основних чинників, що може впливати на результати ведення наступального бою військовими формуваннями тактичного рівня (ВФ) є готовність їх особового складу до виконання бойових завдань, зокрема психологічна [1,2].

Аналіз показав, що противник суттєво змінив

масштаб і характер застосування сил і засобів ракетних військ і артилерії з початком активного використання БПЛА для забезпечення виконання завдань вогневого ураження. Особливо ефективно БПЛА застосовувались для розвідувального забезпечення стрільби реактивних систем залпового вогню та артилерійських систем крупного калібру [3,4].

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Слід зазначити, що з початком вогневих нальотів артилерії військ країни-агресора,

особовий склад загальновійськових підрозділів повинен був займати місця в укриттях, а особовий склад підрозділів протиповітряної оборони навпаки залишати укриття, швидко виконувати заходи приведення озброєння в готовність до ведення вогню та починати боротьбу з БПЛА-корегувальником. Але, в наслідок впливу низки психотравмуючих факторів небезпеки реальної бойової обстановки, які військові психологи відносять до групи "А" [5,6], якість виконання особовим складом обов'язків згідно бойового розрахунку суттєво знижувалась.

Наприклад, у серпні 2014 року, під час ведення бойових дій підрозділами сектору "Б"(АТО) в районі міста Іловайськ, у особового складу підрозділів ППО було відмічене суттєве зниження боєздатності, що, як показав аналіз, було обумовлено виникненням стресових розладів різної важкості. Причиною яких, в основному були умови безпосереднього перебування під інтенсивним та довготривалим вогневим впливом російсько-терористичних військ; негативними враженнями від огляду втрат, що були понесені підрозділами ЗС України та інших військових формувань, а також факти, що свідчили про потрапляння частини сил АТО в оточення.

Такий стан особового складу відповідав результатам загального аналізу [6] особливостей діяльності особистості в екстремальних умовах. Як свідчать, що незалежно від інтенсивності фізичних та психологічних навантажень в бойовій обстановці, структурні зміни які відбуваються у морально-психологічному стані особового складу, є переважно негативними. Також доведено, що лише 25 відсотків військовослужбовців, які вперше беруть участь у бойових діях, адекватно реагують на бойову обстановку та в змозі вести активні бойові дії, у решти ж відбувається дезорганізація психічної діяльності, у деяких випадках – аж до розвитку патологічних реактивних станів [6,7].

Як показали результати аналізу, що наведені в таблиці 1, у номерів розрахунків(членів екіпажів), в основному, мало місце тимчасове зниження певних здібностей щодо виконання своїх обов'язків в ході бойової роботи. Але, також були випадки, що взагалі унеможлилювали виконання поставлених бойових завдань, насамперед це було суттєве зниження окремих здібностей, а інколи відмова діяти взагалі. Найчастішими, були випадки нездатності виконувати свої обов'язки в наслідок неухважності, часткової або повної втрати самоконтролю, орієнтованості у просторі і часі.

Таблиця 1

**Порушення здатності особового складу виконувати завдання**

Відсоток особового складу, у якого відмічені певні порушення			
незначне зниження здібностей	суттєве зниження здібностей	однократна відмова виконати завдання	повна відмова від виконання завдань
92	21	6	3

В той же час, як наведено в таблиці 2, в ході ведення бойових дій в оточенні, були зафіксовані випадки агресивно-безконтрольної поведінки військовослужбовців, що призвели до виникнення панічних настроїв.

Таблиця 2

**Основні причини порушення здатності особового складу виконувати завдання**

Зниження уваги, %	Дезорієнтованість в просторі (часі), %	Зниження контролю над собою, %	Повна втрата контролю над собою (паніка), %
87	15	12	5

Наведені вище дані були отримані в ході аналізу результатів оцінювання експертами, у якості яких було залучено більше 100 безпосередніх учасників найбільш інтенсивного періоду бойових дій у серпні-вересні 2014 року [1]. Тому вони є показовими й підтверджують результатами досліджень вітчизняних фахівців, а саме І.І.Ліпатова, І.І.Приходька та інших [7,8].

Які зазначається в останніх публікаціях В.І.Осьодло та В.В. Стасюка [9,10,11], бойові психогенні втрати поєднують різні типи бойової психічної травми і розладів, які різняться за рівнями потрясіння, подразниками, дією бойової обстановки (екстремальної ситуації) та факторами бою. А для їх кількісного оцінювання та прогнозування виокремлюють три рівні розладів: легкий (психологічний), середньої важкості (межовий), важкий (психотичний). При цьому, для дотримання єдиного у Збройних Силах України підходу до класифікації втрат, бойові психогенні втрати поділяють на безповоротні і санітарні. Безповоротні психогенні втрати – це втрата військовослужбовцями боєздатності, внаслідок якої стає неможливим повернення особового складу до строю взагалі; санітарні психогенні втрати – це втрата військовослужбовцями боєздатності, відновлення якої можливо досягти протягом певного часу у відповідних пунктах надання психологічної допомоги, а в окремих випадках, за сприятливих умов, методом самостаємодопомоги безпосередньо у бойовій обстановці в підрозділах [11].

Результати досліджень, що проводились в цьому напрямку, показують, що для прогнозування можливих психогенних втрат необхідно використовувати розроблені фахівцями спеціалізовані методики, які відрізняються за кількістю факторів, що враховуються та за складністю й швидкістю проведення розрахунків [11].

Так, на даний час, в ЗС України, в основному, використовується методика затверджена наказом Генерального Штабу Збройних Сил України від 21.04.2017 № 173 [11]. Дана методика базується на визначенні інтенсивності

майбутніх бойових дій й дозволяє досить об'єктивно прогнозувати можливі психогенні втрати. Тому, як основу розрахунків, пропонується застосовувати саме її, але за наявності часу та необхідних для заповнення відповідної матриці даних.

В той же час, досвід вказує на те, що в обстановці недостатньої або обмеженої кількості часу на планування, має право на життя більш простіша методика розрахунку, яка дістала назву "трьох п'ятірок" [11]. Сутність цієї методики полягає в тому, що в незалежності від реального ступеню виразності основних чинників впливу бойової обстановки, для розрахунків приймаються усереднені їх значення. При цьому, в ході тривалого дослідження за рахунок акумулювання та аналізу результатів статистичних даних, було виведено закономірність, що й лягла в її основу.

Таким чином, при оцінці можливих психогенних втрат необхідно було лише визначити загальну кількість особового складу, що приймає участь у бойових діях (операції) та після цього двадцять відсотків від цієї кількості віднести до загальних психогенних втрат, що прогноуються на певний період її тривання. В подальшому, віднести двадцять відсотків від отриманої кількості загальних психогенних втрат до безповоротних, а вісімдесят відсотків до санітарних. При цьому, двадцять відсотків від прогнозованих санітарних втрат серед особового складу будуть потребувати психологічної допомоги в умовах спеціалізованих пунктів надання психологічної допомоги, решта зможе відновитись методом само- та взаємодопомоги безпосередньо у бойовій обстановці в підрозділах.

Тобто, за цією методикою, для визначення прогнозованої кількості особового складу, що буде віднесений до психогенних втрат певного ступеню, необхідно тричі взяти п'яту частку від певної його кількості. Завдяки цьому правилу проведення розрахунків дана методика й отримала свою назву – "трьох п'ятірок".

Розрахунки за цими двома методиками вказують, що безповоротні психогенні втрати особового складу в умовах інтенсивних бойових дій будуть складати не менше ніж 5 відсотків особового складу підрозділу. А санітарні втрати можуть знаходитись в межах 15-20 відсотків [9,10,11].

Але, жодна з існуючих на даний час методик, в тому числі і вказані, не враховують особливостей застосування підрозділів конкретних родів військ [12,13].

Так, однією з особливостей частин і підрозділів військ ППО СВ є знаходження на озброєні зенітних ракетних (ЗРК) та зенітних гарматно-ракетних комплексів (ЗГРК), бойові засоби яких являють собою зразки складної, колективної зброї. Тобто їх ефективне бойове застосування можливе лише за умов сто

відсоткової готовності всього екіпажу (розрахунку). Це, також стосується і відносно простих в експлуатації переносних ЗРК, що обумовлено їх поєднанням, разом з допоміжними засобами, у сукупність, яка складає цільовий канал [12,13]. Так, наприклад, для найбільш складного комплексу, а саме ЗГРК "Тунгуска", цільовим каналом є зенітна самохідна установка 2С6. Екіпаж такої установки складається з 4 осіб, але відсутність чи неготовність кожного з них може суттєво впливати на її бойові можливості. А для одного з найменш складного комплексу, яким є ПЗРК "Ігла", цільовим каналом вважається зенітне ракетне відділення. Кількість осіб така же, як і для ЗГРК.

Тому, в незалежності від того, яких саме бойових психогенних втрат буде завдано особовому складу екіпажів(розрахунків), тобто безповоротних чи санітарних, це буде суттєво впливати на бойові можливості всього підрозділу ППО. Тобто, знижувати ефективність функціонування системи протиповітряної оборони військового формування в цілому.

Наведене вище, вказує на наявність протиріччя в теорії і практиці підготовки протиповітряної оборони. Тобто, існує невідповідність між необхідністю урахування впливу основних складових загальновійськового бою, а саме комплексу психотравмуючих факторів, що призводять до психогенних втрат особового складу, на результати підготовки і ведення протиповітряних боїв та наявним науково-методичним апаратом, який застосовується для оцінювання бойових можливостей підрозділів протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня. Отже створюються передумови для необ'єктивного прогнозу ефективності функціонування системи протиповітряної оборони ВФ в цілому.

Наведене вище, вказує на необхідність пошуку підходів до визначення конкретних значень, на які може знижуватись відповідні показники бойових можливостей.

Так, наприклад основним показником вогневих можливостей є математичне сподівання(МС) кількості знищених ЗПН [12,13]:

$$M_{ур.ц}^i = M_{ур.ц}^i(t_i) = n_{цк}^i P_n^i K_{зот}^i,$$

де  $n_{цк}^i$  – кількість ЦК для виконання завдань ППО на і-му етапі наступального бою (НБ);

$P_n^i$  – середня ефективність стрільби ЦК на і-му етапі НБ визначеною кількістю ЗКР;

$K_{зот}^i$  – коефіцієнт, що враховує готовність ЦК до виконання завдань на і-му етапі НБ.

## Список використаних джерел

Таким чином, показник МС має лінійну залежність від кількості боєготових сил і засобів (СіЗ) ППО. Тобто, виникає задача визначення закономірності її зміни в залежності від прогнозованих значень безповоротних та санітарних психогенних втрат.

Одним з найбільш доцільних підходів до вирішення такої задачі є використання апарату теорії ймовірностей. Згідно положень якого, пропонується розглядати появу в тому чи іншому ЦК психогенних втрат серед членів екіпажу(номеру розрахунку), як випадкову подію [14].

### Висновок

Таким чином, визначивши ймовірності таких випадкових подій, можливо буде записати закономірність впливу психогенних втрат на кількість боєготових ЦК у формальному вигляді. Тобто, виконати поставлене завдання щодо пошуку підходів до визначення впливу психогенних втрат на ефективність функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня в наступальному бою.

Тобто, наприклад, під час моделювання бойових дій, в межах створеної тактичної обстановки та визначених вихідних даних щодо складу та стану підрозділу протиповітряної оборони, що буде оцінюватись, а також, складу, стану, масштабу і характеру бойових дій противника, що очікується проводиться прогнозування психогенних втрат серед особового складу за методикою, що затверджена.

В результаті проведення розрахунків за відповідними вихідними даними отримуємо певні чисельні значення загальної кількості психогенних втрат, кількості санітарних та безповоротних. Наприклад, загальна кількість 23 відсотки, з них 4,6 відсотка безповоротні та 18,6 відсотка санітарні психогенні втрати. Конкретні кількісні значення, при цьому будуть залежати від кількості особового складу в даному підрозділі ППО.

Але, якщо врахувати, що загальна кількість особового складу в підрозділі протиповітряної оборони, у відповідності до наявного виду озброєння, певним чином розподілена по екіпажам. То, виникає питання, який саме екіпаж та у якій ступені буде підпадати під вплив психогенних втрат, що прогножуються.

Саме на цьому етапі проведення оцінювання, для визначення вказаного вище розподілу потрібно застосувати апарат теорії ймовірностей. Що, в подальшому дозволить визначити математичне сподівання кількості зразків озброєння, що внаслідок тих, чи інших психогенних втрат серед членів екіпажу, вийшли з ладу, або певні характеристики яких будуть знижені. Тобто, визначити вплив впливу психогенних втрат на ефективність функціонування системи протиповітряної оборони військових формувань тактичного рівня, особливо в наступальному бою.

1. Біла книга антитерористичної операції на Сході України (2014–2016) / (під заг. ред. І. Руснака) – К.: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, 2017. – 162 с. — ISBN 978-617-7187-21-8.

2. Бернадський Б.В. Міжнародні конфлікти: курс лекцій / Б.В. Бернадський. — К. : ДП «Вид. дім «Персонал», 2012. — 366 с. — ISBN 978-617-02-0088-4

3. Аналіз форм і способів застосування Сухопутних військ в сучасних умовах, які впливають на розвиток ОБТ, засоби технічного забезпечення, підготовки технічних спеціалістів [Електронний ресурс] / М.М. Середенко, Р.В. Кузьменко, Р.В. Хорєв, Л.М. Кізло, — Львів: НАСВ, 2017. — Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/2017/09/analysis-forms-and-methods.html> (15.05.2021). — Назва з екрану.

4. Надійний щит чи діряве корито: в якому стані українська система ППО. [Електронний ресурс] / М. Жирохов. — Режим доступу: <https://mind.ua/openmind/20183568-nadijnij-shchit-chi-dirjave-korito-v-yakomu-stani-ukrayinska-sistema-ppo> (15.05.2021). — Назва з екрану.

5. Ефремов О.Ю., Зверев С.Э. Военное лидерство: психология, педагогика, риторика. СПб.: Алетейя, 2013. — 368 с. — (Военная риторика). — ISBN 978-5-91419-903-3.

6. Протасеня С.М. и др. Основы военной психологии и педагогики. Конспект лекций. – Минск : БНТУ, 2014. — 135 с.

7. Прикладна психологія службово-бойової діяльності сил охорони правопорядку : підручник /

І.І. Приходько, І.І. Липатов, Л.Ф. Шестопалова та ін. ; за заг. ред. проф. І.І. Приходька, 2-ге вид. Харків : НА НГУ, 2016. - 334 с.

8. Караяни А. Г. Информационно-психологическое противоборство в войне: история, методология, практика / А. Г. Караяни, Ю. П. Зинченко. — М. : Изд-во МГУ, 2007. — 130 с.

9. Осьодло В.І. // Матеріали наук.-практ. конф. „Соціально-психологічне забезпечення правоохоронної діяльності: в особливих умовах” (16-17 березня 2010 р.). – Харків: ХНУВС, 2010. – С.51–56. 7.

10. Осьодло В.І. Критерії суб'єкта військово-професійної діяльності / В.І. Осьодло // Право і безпека. – 2009. – №2. – С.228–233.

11. Морально-психологічне забезпечення у Збройних Силах України: підруч. [для студ. вищ. військ. навч. закл.] / [Н.А. Агаєв, В.Г. Дикун, В.С. Чорний та ін.]. – К.: НУОУ, 2020. – 754 с.

12. Городнов В.П. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) / В.П. Городнов [та ін.] ; Харківський військ. ун-т. - Харків. : ХВУ, 2004. - 410 с. - ISBN 966-601-071-2.

13. Кравченко С. О. Вплив психогенних втрат на ефективність функціонування системи протиповітряної оборони загальновійськових формувань [Текст] / С. О. Кравченко, К. М. Горбачов // 17 міжнародна наукова конференція: Тез. доп. – Харків: ХНУПС, 2021. – С. 377

14. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб.пособие для ВУЗов/ В.Е.Гмурман – М:Высш.шк., - 2003. – 479 с.

<sup>1</sup>Коваленко Сергій Петрович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-5843-6235>

<sup>1</sup>Волков Андрій Федорович

<https://orcid.org/0000-0003-4529-261X>

<sup>1</sup>Литовченко Дмитро Михайлович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0001-5154-6060>

<sup>2</sup>Яненко Олександр Анатолійович

<https://orcid.org/0000-0002-8552-7543>

<sup>3</sup>Овчаренко В'ячеслав Володимирович (доктор військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-0953-6050>

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

<sup>2</sup>Національний університет оборони України ім. Івана Черняхівського, Київ, Україна

<sup>3</sup>Київський інститут Національної гвардії України, Київ, Україна

## **ПРОПОЗИЦІЇ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ ПРИКРИТТЯ ОКРЕМИХ МЕХАНІЗОВАНИХ (МОТОПІХОТНИХ, ТАНКОВИХ) БРИГАД ПІДРОЗДІЛАМИ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК ПРИ ВЕДЕННІ ЛОКАЛЬНИХ БОЙОВИХ ДІЙ**

*Актуальним питанням сьогодення є обґрунтування спроможності підрозділів протиповітряної оборони (ППО) виконувати свої безпосередні завдання по прикриттю механізованих, мотопіхотних та танкових бригад з повітря особливо в локальних конфліктах, коли простір, на якому необхідно виконувати поставлене завдання розтягнутий по фронту та в глибину. В статті пропонується модель, яка дозволяє оцінити ефективність прикриття підрозділів бригади типу рота (батарея) підрозділами ППО, вона допомагає військовому командирові підрозділів ППО оцінювати варіанти своєї структури, вибрати з них раціональні, з кращою ефективністю прикриття. Запропонована модель дозволяє оцінити ефективність прикриття всієї бригади та підказує спроможні чи не спроможні підрозділи ППО прикрити сухопутні підрозділи бригади з повітря.*

**Ключові слова:** *розрахунок ефективності, локальні конфлікти, протиповітряна оборона, дуельні ситуації, модель бою, повітряний простір.*

### **Вступ**

Своє основне завдання підрозділи протиповітряної оборони Сухопутних військ виконують прикриваючи загальновійськові частини та підрозділи від ударів з повітря, – безпосередньо у їх складі. Збройні конфлікти все частіше pojawiaються в світі через неспроможність вирішити критичну ситуацію між двома противниками мирним шляхом, залучаючи політичні та дипломатичні сили для урегулювання. Це призводить до ситуації, яку необхідно вирішувати військовим командирам в короткий термін часу заздалегідь не знаючи фронту та глибини територіального простору, на якому необхідно буде приймати рішення з прикриття дій наземних сил з повітря. Як правило, в невідомому районі, простір, на якому необхідно виконувати поставлене завдання, розтягнутий по фронту, що призведе до збільшення позиційних районів дій загальновійськових частин та підрозділів, як по фронту, так і в глибину. Це, в свою чергу, призведе до збільшення навантаження на підрозділи ППО СВ з прикриття дій загальновійськових частин та підрозділів від ударів з повітря. А за короткий термін часу військовим командирам складно

прийняти правильне рішення, через те, що вони не знають здатні, чи не здатні їх підрозділи ППО СВ прикрити загальновійськові частини та підрозділи від ударів з повітря в новому позиційному районі. Для прийняття правильного рішення командир підрозділу ППО СВ різного рівня ієрархії необхідно обґрунтувати можливість ефективного виконання ними бойового завдання.

Все частіше в багатьох джерелах проводять аналіз ефективності застосування різних підрозділів в збройних конфліктах останніх десяти років. Актуальним питанням на сьогоднішній день є й заходи ППО, які повинні забезпечувати прикриття з повітря усі підрозділи, які залучаються в конфліктних ситуаціях. Успіх будь-яких бойових дій залежить від вміння управління та наявності засобів автоматизації процесу управління, у яких алгоритми та математичний апарат дозволить за дуже короткий час вирішувати питання збору, обробки інформації та цілерозподілу цілей між підрозділами ППО, які прикривають район дій з повітря.

В новому сторіччі зовсім змінився підхід до ведення бойових дій через широке застосування комп'ютерних технологій та роботизацію усіх



процесів в бойовому застосуванні будь якого роду Збройних Сил, включаючи і Сухопутні війська. В цій непростій ситуації стоїть завдання по дослідженню можливостей підрозділів ППО механізованих (мотопіхотних), танкових бригад прикрити площинні об'єкти типу рота (батарея) при збільшенні їх позиційних районів. Тому це завдання є актуальним на сьогодні.

Однією з умов успіху дій загальновійськових частин та підрозділів стає їх надійна протиповітряна оборона, завдання якої доводиться вирішувати в типових умовах інформаційного та вогневого протистояння з повітряним противником в умовах жорсткого ліміту часу.

У складі завдань управління протиповітряною обороною основними є: організація системи ППО під час дій загальновійськових частин та підрозділів як до, так і у ході протиповітряного бою; своєчасне виявлення ЗПН противника та забезпечення засобів ППО бойовою інформацією; управління вогнем різномірних засобів ППО.

Кожне з відмічених завдань є багатопараметричним, вирішується в реальному масштабі часу та в умовах неповної, неточної інформації та дезінформації з боку противника. Якість рішення будь-якого з цих завдань істотно впливає на результати ППО, тому для їх швидкого вирішення необхідно використовувати засоби автоматизації, які ще недосконалі на даний час в ППО наземних військ. В автоматизованих засобах необхідні алгоритмічні та апаратні засоби, які б могли вирішувати: синтез елементів раціональної структури інформаційних і вогневих засобів ППО; рішення завдань цілерозподілу та цілевказівки за даними про цілі; автоматичні передачі команд управління на вогневі засоби ППО; отримання від вогневих засобів ППО доповідей і даних про цілі; документування процесів бойової роботи та тренажу.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Для вирішення поставленого завдання перед підрозділами ППО загальновійськових частин потрібні моделі, які б дозволяли оцінювати ефективність бойового застосування з урахуванням варіанту організації та структури, а також модель прогнозу ефективності бойових дій системи ППО в динаміці умов очікуваних і поточних бойових дій, та з урахуванням параметрів структури інформаційних зв'язків системи ППО. Такого комплексу моделей для системи ППО дій наземних сил ще немає, але є часткові аналітико-стохастичні моделі прогнозу ефективності бойових дій засобів ППО. Тому, використовуючи їх, пропонується методика, яка все це враховує й допомагає командирам підрозділів ППО оцінювати варіанти своєї структури, вибирати раціональні, з кращою ефективністю прикриття та допомагає прийняти правильне рішення на відбиття ударів з повітря.

Визначивши показник спроможності виконання чи невиконання підрозділами ППО бригади поставленого завдання необхідно з'ясувати математичний апарат, за допомогою якого можливо провести ці розрахунки.

Для вирішення поставленого перед нами завдання пропонується використовувати теорію ймовірностей. При використанні теорії ймовірностей зробимо припущення, що площі зон ураження зенітних комплексів (площа прикриття об'єкту) відносяться до площі смуги дій наземних сил, як відношення ймовірності знищення цілі в зоні ураження зенітних комплексів до ймовірності прикриття підрозділами ППО дій наземних сил типу рота-батарея. Виходячи з цього припущення можна розрахувати ймовірність прикриття підрозділами ППО дій наземних сил типу рота-батарея. Тоді будемо рахувати, що відношення площини зон ураження зенітних комплексів (площина прикриття об'єкту), відноситься до площини смуги омбр (омпбр), отбр, як відношення ймовірностей знищення цілей в зоні ураження зенітних комплексів до ймовірності прикриття підрозділами ППО омбр (омпбр), отбр підрозділів типу рота (батарея) всієї бригади.

Сформовані пропозиції по забезпеченню прикриття бригади з повітря, та графічна схема смуги дій бригади будувалась при певних обмеженнях і умовах:

максимального прикриття усіх підрозділів типу рота (батарея) всієї бригади від повітряного противника підрозділами ППО бригади;

прикриття підрозділів типу рота (батарея) всієї бригади повинно здійснювати мінімальний підрозділ – цільовий канал (ЦК) зенітного комплексу, який спроможний ефективно вести бойові дії з повітряним противником, а розміщуватися на місцевості він повинен, виходячи з максимальних ТТХ його вогневих засобів;

розташування на місцевості зенітних комплексів по фронту, та в глибину один від одного, всередині ЦК, не повинно перевищувати його максимальний курсовий параметр зони ураження, для забезпечення вогневого зв'язку з сусідніми комплексами та ЦК;

при відкритті вогню по цілям необхідно тільки забезпечувати вогневий зв'язок між зенітними комплексами та ЦК, без подвійного (потрійного) перекриття їх зон вогневого ураження.

Для підтвердження математичних розрахунків було проведено моделювання бойових дій визначених конкретних бригад на моделі "Аргумент", яка зарекомендувала себе в Збройних Силах України в моделі "Віраж Планшет". Ця модель спроможна:

розрахувати зони ураження зенітних комплексів підрозділів ППО бригади від ударів з повітря відносно рельєфу місцевості;

розрахувати ймовірність знищення цілей підрозділами ППО бригади в цих зонах прикриття;

розрахувати ймовірність прикриття визначених об'єктів від усього нальоту повітряного противника.

Можливість застосування даної моделі дозволяє нам вирішити поставлене перед нами завдання і з'ясувати – спроможні, чи не спроможні засоби ППО бригади виконати поставлене перед ними завдання по прикриттю механізованих (танкових) підрозділів бригади від ударів з повітря.

Виходячи з проведеного математичного моделювання протиповітряного бою на моделі “Аргумент” були отримані наступні результати:

по прикриттю омбр (отбр):

прикриття бригади можливе часткове до 65%, тільки з дотриманням вище перерахованих пропозицій, по цілям, які будуть налітати на висотах не більше 3500 м і швидкостях не більше 300 м/с;

управління вогнем при такій побудові системи вогню засобів ППО можливе тільки в середині ЦК;

управління вогнем можливе лише командиром найменшого підрозділу частково, а основне управління вогнем буде здійснюватися тільки командиром відділення, командиром БМ, або ЗСУ;

централізоване управління вогнем не можливе, а лише можлива видача цілевказівок по цілям визначеному ЦК з вищого командирського пункту управління чи командного пункту, з обов'язковою інформацією про ціль – азимут і дальність.

по прикриттю омпбр:

прикриття можливе часткове до 45%, тільки з дотриманням вище перерахованих пропозицій, по цілям, які будуть налітати на висотах не більше 1500 м і швидкостях не більше 250 м/с;

розміщення зенітних артилерійських підрозділів на місцевості, озброєних ЗУ 23, необхідно в одну лінію не ближче за курсовий параметр однієї ЗУ, для максимальної площі прикриття визначених підрозділів;

управління вогнем при такій побудові системи вогню засобів ППО можливе тільки в середині ЦК і окремими зенітними установками;

управління вогнем можливе лише командиром найменшого підрозділу частково, а основне управління вогнем буде здійснюватися тільки командиром розрахунку, командиром відділення.

централізоване управління вогнем не можливе, а лише можлива видача цілевказівок по цілям визначеному ЦК з вищого командирського пункту управління чи командного пункту, з обов'язковою інформацією про ціль – азимут і дальність;

пропозиції по прикриттю омбр (отбр) та омпбр:

оповіщення усіх ЦК необхідно проводити в єдиному інформаційному полі ВІРАЖ, забезпечуючи цими комплектами усі цільові канали;

ймовірність ураження цілей при такій побудові системи вогню засобів ППО бригади не буде перевищувати ймовірність ураження окремих вогневих засобів;

знищення (обстріл) повітряних цілей можливе лише при умові їх візуальної видимості та згідно

ТТХ кожного з комплексів, а з погіршенням метеорологічних умов (туман, дощ, мряка, сніг) чи тактичних маскувань цілей (димова завеса, аерозоль, світлові завади) усі показники зменшуються;

вогнева протидія можлива лише в відповідальному секторі кожного цільового каналу (ЦК);

із збільшенням висоти польоту до 3500 м (1500 м для омпбр) і швидкостей цілей до 500 м/с (400 м/с для омпбр) тільки основні зенітні підрозділи, згідно ТТХ, спроможні обстрілювати такі цілі, тому зона прикриття бригад засобами ППО зменшиться до 15%;

із збільшенням швидкостей цілей більше 500 м/с (400 м/с для омпбр) усі зенітні підрозділи, згідно ТТХ, не спроможні обстрілювати такі цілі, тому зона прикриття бригад засобами ППО взагалі майже не буде існувати і складатиме близько 0%.

### **Висновок**

Виходячи з аналізу механізованих бригад і зенітних підрозділів при збільшенні позиційних районів по фронту та в глибину, проведених математичних моделюваннях протиповітряного бою на програмних моделях «Аргумент» та «Віраж Планшет», та забезпечення тактичних нормативів для прикриття площинних об'єктів цих підрозділів бригади, були сформовані пропозиції по забезпеченню прикриття механізованих (мотопіхотних), танкових бригад.

При дотриманні перерахованих пропозицій, виконання завдання підрозділами ППО бригади можливо лише частково, прикриваючи основні сили бригади, з малою ймовірністю ураження, по мало швидкісним цілям і на малих висотах їх польоту. Зі збільшенням висоти та швидкості польоту засобів повітряного нападу, виконання завдання підрозділами ППО механізованої (танкової) та мотопіхотної бригади майже неможливе.

### **Список використаних джерел**

1. С. І. Корсунов, О. В. Лезік, Ю. О. Галкін, М. І. Оборонов, С. П. Коваленко, та Ю. М. Оборонов, “Аналіз застосування угруповання повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці”, *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 4(66), с. 7-18, 2020. doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01.
2. С. П. Коваленко, С. В. Герасимов, А. Ф. Волков, С. І. Корсунов, та М. І. Оборонов, “Модель оцінювання ефективності підрозділів протиповітряної оборони”, *Сучасні інформаційні системи*, т. 5, № 2, с. 21-28, 2021. doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.03.
3. В. П. Варакута, О. О. Кумпан, Т. В. Хліманцов, В. О. Іванов, та Г. В. Заверуха, “Визначення критеріїв і показників ефективності оборонної системи та розроблення моделі сил і

засобів оперативного-тактичного угруповання для обґрунтування пропозицій щодо прийняття рішення на оборону”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1(38), с. 13-30, 2020. [doi.org/10.30748/nitps.2020.38.02](https://doi.org/10.30748/nitps.2020.38.02).

4. А.Ф. Волков, О.В. Лезік, К.М. Горбачов, та С.М. Базіло, “Тактичне мистецтво військ Протиповітряної оборони Сухопутних військ та його розвиток за досвідом сучасних збройних конфліктів”, *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 4(62), с. 40-45, 2019. [doi.org/10.30748/zhups.2019.62.05](https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.05).

5. Р. Б. Хомчак “Метод визначення внесків видів (родів) військ у потрібний рівень боєздатності Збройних Сил України під час їх застосування (відбиття збройної агресії)”, *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 4(66), с. 35-39, 2020. [doi.org/10.30748/zhups.2020.66.04](https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.04).

6. O. Zahorka, P. Shchipanskyi, A. Pavlikovskyi, O. Oksiiuk, and V. Vialkova, “Development of methodical provisions regarding the substantiation of the combat structure of forces for activities in the airspace”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 3 (98), p. 6–15, 2019. [doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163082](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163082).

7. А. Ф. Волков, О. А. Яненко, та С. А. Кравченко, “Критерії оцінювання ефективності організації взаємодії під час ведення протиповітряної оборони військ”, *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 3(61), с. 7-11, 2019. [doi.org/10.30748/zhups.2019.61.01](https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.01).

8. С. П. Коваленко, А. Ф. Волков, та С. І. Корсунов, “Методика розрахунку ефективності прикриття наземних сил підрозділами ППО при веденні локальних конфліктів”, *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*, № 1, с. 12-23, 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpsv\\_2021\\_1\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpsv_2021_1_4).

9. V. V. Kutsenko, S. P. Kovalenko, and D. D. Dobrowolski, “Parameters numerical values of errors distribution law in coordinate measuring process at the difference-distancemeasuring passive location method”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1 (26), p. 82-84, 2017. [doi.org/10.30748/nitps.2017.26.17](https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.17).

10. С. П. Коваленко, В. В. Куценко, та С. О. Кравченко, “Метод виключення зайвої та хибної

інформації в алгоритмах управління на ПУ ППО СВ”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 1(57), с. 20-26, 2019.

11. С. П. Коваленко, О. В. Коломійцев, В. В. Обрядін, та К. І. Хударковський, “Метод ефективного розподілу цілей при управлінні вогнем підрозділу”, *Системи обробки інформації*, № 3(16), с. 41-43, 2007.

12. С. П. Коваленко, О. В. Коломійцев, та Г. А. Левагін, “Ефективний розподіл цілей між підрозділами ППО СВ – показник відверненого збитку військам”, *Системи озброєння і військова техніка*, № 2(22), с. 211-215, 2010.

13. С. П. Коваленко, В. М. Цвігун, І. В. Конєва, та С. Г. Леушин, “Метод автоматизованої обробки інформації на ПУ ППО механізованої (танкової) бригади при паралельних та послідовних потоках інформації”, *Системи обробки інформації*, № 7(35), с. 71-76, 2004.

14. В. П. Городнов, Г. А. Дробаха, та М. О. Єрмошин, *Моделювання та оцінка ефективності бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони: теорія, практика, історія розвитку*, Харків, Україна: ХВУ, 2004.

15. В. П. Городнов, *Методика прогнозу ефективності угруповань родів військ ППО*, Харків, Україна: ХВУ, 1999.

16. С. П. Ярош, М. О. Єрмошин, та Г. А. Дробаха, *Моделювання бойових дій зенітного ракетного підрозділу*, Харків, Україна: ХУПС, 2014.

17. В. Є. Шамко, О. М. Жарик, та В. В. Коваль, “Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних умовах ведення збройної боротьби”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 2(31), с. 9-15, 2018. [doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01](https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01).

18. О. М. Жарик, “Показники і критерії оцінки ефективності прикриття важливих державних об’єктів і угруповань військ (сил)”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3(9), с. 18-26, 2012.

19. А. Б. Скорик, В. В. Воронин, А. А. Зверев, та О. Ф. Галицкий, “Актуальные вопросы оценки эффективности противовоздушного боя”, *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 3(25), с. 8-14, 2010.

20. І. С. Романченко, В. О. Шуєнкін, та В. М. Можаровський, *Теорія відверненого збитку*, Львів, Україна: НАСВ, 2017.

<sup>1</sup>Волков Андрій Федорович  
<https://orcid.org/0000-0003-4529-261X>

<sup>1</sup>Левагін Геннадій Андрійович (кандидат технічних наук, доцент)  
<https://orcid.org/0000-0001-6047-3561>

<sup>2</sup>Мужук Микола Васильович  
<https://orcid.org/0000-0003-3384-0818>

<sup>2</sup>Базіло Сергій Михайлович  
<https://orcid.org/0000-0002-1597-3724>

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

<sup>2</sup>Національний університет оборони України ім. Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ШЛЯХИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ППО СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК ЩОДО ПРОТИДІЇ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТАМ

*Актуальним питанням сьогодення є протидія загрозам з повітря. Розвиток засобів повітряного нападу та тактики їх застосування поступово змістився в бік протистояння з безпілотною авіацією. Досвід бойових дій на сході України виявив ряд проблемних питань у протиборстві засобів протиповітряної оборони і засобів повітряного нападу. У доповіді розглядаються основні шляхи розвитку засобів протиповітряної оборони Сухопутних військ та напрямки протидії безпілотним літальним апаратам для підвищення ефективності боротьби з ними.*

**Ключові слова:** протиповітряна оборона, безпілотний літальний апарат, бойовий досвід, дальність ураження, ефективність, протидія.

### Вступ

Досвід останніх локальних війн і збройних конфліктів у світі, в першу чергу, на сході України свідчить про бурхливий розвиток безпілотних літальних апаратів (БпЛА) і стрімке зростання ефективності їх застосування. У роботі проведено аналіз можливостей засобів вогневого ураження військ протиповітряної оборони Сухопутних військ (ППО СВ) щодо знищення БпЛА та узагальнені пропозиції щодо підвищення ефективності засобів ППО СВ при їх застосуванні по БпЛА [1-2].

На початку ХХІ століття основні способи та прийоми застосування засобів ППО СВ були спрямовані на боротьбу з типовими засобами повітряного нападу (ЗПН), а саме, з літаками і вертольотами та, частково, з крилатими ракетами. Завдання з протидії БпЛА війська ППО СВ розпочали вирішувати, фактично, з початку агресії Російської Федерації на сході України.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо особливості застосування засобів ППО СВ для знищення БпЛА і, в першу чергу тих, які, за бойовим досвідом або за результатами досліджень, можуть протидіяти БпЛА: ЗРС “Тор”, ЗРК “Оса-АКМ”, ЗРК “Стріла-10М”, ЗГРК “Тунгуска”, ЗАК “Шилка” та ЗУ-23.

Існуючі засоби ППО СВ спроможні підтвердити заявлені показники ураження лише деяких типів БпЛА. Так, бойові машини ЗРК “Оса-АКМ” здатні виявити малорозмірні безпілотні ЛА на дальності до 6 км, при цьому бойові розрахунки мають достатньо часу на підготовку стрільби та обстріл цілі, але досвід бойового застосування по БпЛА

“Орлан-10” свідчить про низьку ефективність їх ураження [3-6]. Основні причини - недосконалість системи управління підривом бойової частини ракети та помилки супроводження цілі і наведення ракети на БпЛА.

Застосування ЗРК “Стріла-10М” на сході України свідчить, що цей комплекс здатний вражати БпЛА “Орлан-10” і “Застава”, але тільки в світлий час доби. Можливість стрільби ЗРК “Стріла-10М” по таким цілям визначається, головним чином, можливістю виявлення цілі оператором. Малі геометричні розміри БпЛА дозволяють оператору бойової машини ЗРК “Стріла-10М” виявити ціль на дальності до 2,7 км, чого недостатньо для ведення ефективної стрільби. Результати бойових пусків по БпЛА показали, що стрільба “Стріла-10М” забезпечується в фотоконтрастному діапазоні на зустрічному курсі, в обмеженій частині зони пуску, при цьому дальність пуску ракети складала 1,2-2 км.

Результати оцінювання стрільб зенітного гарматно-ракетного комплексу “Тунгуска” по малорозмірним БпЛА свідчать, що стрільба ракетним озброєнням по цілям такого типу практично неможлива. Це обумовлено тим, що дальність виявлення БпЛА оптичним візором становить лише 2-3 км, що фактично дорівнює дальності до ближньої межі зони ураження комплексу. Стрільба ЗСУ “Тунгуска” по БпЛА гарматним озброєнням принципово можлива, але, з урахуванням малих геометричних розмірів цілі, її ефективність буде низькою. Досвід бойових дій підтвердив, що при своєчасному виявленні БпЛА “Застава”, “Тахіон” і обстрілі їх гарматним озброєнням з дальності до 2 км для досягнення

результату слід витратити велику кількість снарядів [6-10].

Спроби використання ПЗРК "Ігла" для боротьби з БПЛА свідчать про складність виявлення цілі та неможливість проведення пуску ракети через низький рівень акустичного шуму двигуна БПЛА (близько 50 дБ на дальності 1000 м, що нижче порога чутливості органів слуху людини) та неможливість захоплення цілі головкою самонаведення ракети, через те, що теплова контрастність БПЛА на два порядки нижче граничної чутливості приймача голівки самонаведення ракети [11-13]. Крім того, мала ефективність стрільби ПЗРК "Ігла" по БПЛА пояснюється відсутністю системи дистанційного підриву бойової частини ракети.

### **Висновок**

Найбільш ефективною у протистоянні з БПЛА, за результатами досліджень, є ЗРС "Тор", яка створювалась для боротьби з крилатими ракетами з ефективною площею розсіювання (ЕПР) до 0,1 м<sup>2</sup>. За непідтвердженими офіційними джерелами даними засобів масової інформації, ефективність модернізованої ЗРС "Тор-М2У" в Сирії склала до 80%. У той же час за досвідом вірмено-азербайджанського збройного конфлікту наявні бойові машини ЗРС "Тор" ЗС Вірменії не знищили жодного БПЛА [14-17].

Таким чином, низькі значення показників ефективності ураження малорозмірних БПЛА засобами ППО СВ обумовлюють необхідність визначення і проведення комплексу заходів технічного та тактичного характеру для протидії БПЛА, деякими з яких можуть бути [18-21]:

створення багатфункціональної системи протидії БПЛА, яка включає в себе підсистему розвідки та оповіщення підрозділів про появу БПЛА, підсистему вогневого ураження БПЛА та підсистему радіоелектронного придушення, орієнтовану на придушення командних радіоліній управління і сигналів поширених супутникових радіонавігаційних систем (GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo);

виконання комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на підвищення скритності своїх сил і засобів, а також зниження ефективності застосування БПЛА;

модернізацію існуючих та розробку новітніх засобів ППО СВ в інтересах підвищення ефективності боротьби з БПЛА за наступними напрямками:

створення нових зенітних ракет, які будуть мати менші вагові характеристики та меншу вартість, застосовувати концепцію "здійснив пуск і забув", що дозволить збільшити каналність ЗРК по БПЛА;

збільшення смуги випромінюваних частот з наступною оптимальною обробкою прийнятого радіосигналу;

використання оптичної панорамної станції, яка може працювати в декількох діапазонах (вбудованого оптичного візира в ЗРК "Стріла-10М");

використання лазерного каналу управління ракетами;

встановлення неконтактного датчику цілі в ракету ПЗРК "Ігла".

### **Список використаних джерел**

1. А. Михненко, "Турецькі дрони змінили тактику війни. Які висновки для України", *Військовий навігатор України*, 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://surl.li/inuyq>. Дата звернення: жовт. 01, 2020.
2. С.І. Корсунов, О.В. Лезік, Ю.О. Галкін, М.І. Оборонов, С.П. Коваленко, та Ю.М. Оборонов, "Аналіз застосування угруповання ПКС РФ у Сирійській Арабській Республіці", *Збірник наукових праць ХНУПС*, № 4(66), с. 7-18, 2020. doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01.
3. А.Ф. Волков, О.В. Лезік, С.І. Корсунов, Г.А. Левагін, О.В. Яновський, та К.В. Івахненко, "Аналіз застосування БПЛА у вірмено-азербайджанському воєнному конфлікті та можливі шляхи боротьби з ними", *Системи озброєння і військова техніка*, № 4(64), с. 7-17, 2020. doi.org/10.30748/soivt.2020.64.01.
4. С.І. Макаренко, А.В. Тимошенко, та А.С. Васильченко, "Аналіз средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Ч. 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения". *Системы управления, связи и безопасности*, № 1, с. 109-146, 2020. doi.org/10.24411/2410-9916-2020-10105.
5. Ю.Ф. Кучеренко, М.В. Науменко, та М.Ю. Кузнецова, "Аналіз досвіду застосування безпілотних літальних апаратів та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій". *Системи озброєння і військова техніка*, № 1(53), с. 25-30, 2018. doi.org/10.30748/soivt.2018.53.03.
6. А.Ф. Волков, О.В. Лезік, К.М. Горбачов, та С.М. Базіло, "Тактичне мистецтво військ ППО СВ та його розвиток за досвідом сучасних збройних конфліктів". *Збірник наукових праць ХНУПС*, № 4(62), с. 40-45, 2019. doi.org/10.30748/zhups.2019.62.05.
7. В.А. Лупандін, Г.В. Мегельбей, О.Й. Мацько, Т.Л. Куртсеїтов, та П.О. Міроненко, "Основні тенденції створення та застосування груп безпілотних літальних апаратів". *Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України*, № 2(35), с. 88-96, 2019. doi.org/10.30748/nitps.2019.35.11.
8. С.П. Коваленко, А.Ф. Волков та С.І. Корсунов. "Методика розрахунку ефективності прикриття наземних сил підрозділами ППО при веденні локальних конфліктів". *Збірник наукових праць НАНГУ*, № 1, с. 12-23, 2021. [Електронний ресурс]. Доступно: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpavs\\_2021\\_1\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpavs_2021_1_4). Дата звернення: жовт. 01, 2021.
9. В.С. Шамко, О.М. Жарик та В.В. Коваль, "Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил ЗС України в сучасних умовах ведення збройної боротьби". *Наука і техніка*

*Повітряних Сил ЗС України*, № 2(31), с. 9-15, 2018.  
doi.org/10.30748/nitps.2018.31.01.

10. А.Ф. Волков, О.А. Яненко, та С.А. Кравченко, “Критерії оцінювання ефективності організації взаємодії під час ведення протиповітряної оборони військ”. *Збірник наукових праць ХНУПС*, №3(61), с. 7-11, 2019.  
doi.org/10.30748/zhups. 2019.61.01.

11. І. С. Романченко, В. О. Шуєнкін, та В. М. Можаровський, *Теорія відверненого збитку*, Львів, Україна: НАСВ, 2017.

12. M. Kratky and V. Minarik, “The non-destructive methods of fight against UAVs”, in *International Conference on Military Technologies*, Vrnо, 2017, pp. 690-694.

13. М.О. Єрмошин, О.В. Кулешов, О.В. Коломійцев, та В.В. Шулежко, “Пропозиції щодо оцінювання бойових дій зенітної мобільної вогневої групи.” *Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України*, № 1(26), с. 58-60, 2017.

14. О.І. Сухаревський, В. О. Василець, та І.Є. Ряполов, “Оцінювання параметрів зон виявлення безпілотного літального апарату “Орлан-10” радіолокаційними засобами самохідного зенітного ракетного комплексу 9К33МЗ “Оса-АКМ”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 4(25), с. 33-38, 2016.

15. A. Volkov, S. Oriekhov, Yu. Oboronov, M. Oboronov and V. Megelbey, “Mathematical modeling of diagrams of reverse secondary radiation of air-to-

ground missiles for a centimeterwavelength range”, *6th International Symposium on Microwaves, Radar and Remote Sensing*, Kharkiv, 2020, pp. 482-485.

16. Беспилотники Азербайджана, *офіційний сайт militarizm.su*, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://militarizm.su/vojna-v-karabahe/bespilotniki-azerbajdzhana-orbiter-i-aerostar.html>. Дата звернення: Жовт. 08, 2020.

17. Армянские БЛА “Крунк”, *офіційний сайт bmpd.livejournal*, 2020. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://bmpd.livejournal.com / 1218690.html>. Дата звернення: Жовт. 10, 2020.

18. В. І. Ткаченко, Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу. *Кн. 1. Безпілотні засоби повітряного нападу. Застосування та перспективи розвитку. Виявлення малопомітних засобів повітряного нападу*, Харків, Україна: ХВУ, 2002.

19. Р.В. Корольов, Н.О. Королюк, О.В. Петров, та К.В. Сюлев, “Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів”, *Збірник наукових праць ХНУПС*, № 4(53), с. 17-21, 2017.

20. А. Краснов, та А. Путилин, “Беспилотные летательные аппараты: от разведки к боевым действиям”, *Зарубежное военное обозрение*, № 4, с. 44-49, 2004.

21. Н. Новичков, та В. Барковский, “Основные направления развития беспилотных авиационных комплексов”, *Рынки вооружений*, т. 8, № 1, с. 66-72, 2008.

## **ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ**

**Pawel Bernat (PhD)**

<https://orcid.org/0000-0002-8150-9794>

*Military University of Aviation, Poland*

### **RUSSIA AND CHINA'S NEW ALLIANCE FOR OUTER SPACE COOPERATION: STRATEGIC SECURITY ANALYSIS**

#### **Introduction**

At the beginning of the third decade of the 21<sup>st</sup> century, it is clear that a new space race is a fact. Along with the rapid development of space technologies and their democratization, the militarization and weaponization of space, especially Low Earth Orbit (LEO), seem inevitable [1] – [3]. The two above concepts, although they may appear similar in meaning, should not be confused. The former refers to the use of space equipment for defense and military purposes, while the latter – to placing in outer space any device which purpose is to attack human-made targets, both in space and on the surface of the planet [4]. The growing potential for the LEO to become a theater and a place of confrontation is not limited solely to traditionally strong actors, like the US, Russia, or China, but can also be used by more minor actors, e.g., the so-called rogue states or terrorist groups [5].

The leading international legal document regulating the use of outer space – “The Outer Space Treaty” [6], signed in 1967, for decades successfully played a role of a shield, and the two mega-powers of the second half of the 21<sup>st</sup> century mutually deterred themselves from the weaponization of outer space. Nowadays, however, in a new geopolitical situation, where the People's Republic of China entered the race, also in space exploration, Russia's long-lasting alliance with the west in space seems to be coming to an end.

#### **Russian shift of space policy and redefinition of the space program**

There are, roughly speaking, two sets of reasons why the Kremlin has changed its space policy.

The first one comes down to the fact that the position of Roscosmos in the global space sector has significantly diminished. When confronted with state-of-the-art space systems developed by American private companies, like SpaceX or Blue Origin, lack of innovation and relying on good but obsolete launching technologies must necessarily lead to a competitive defeat. Russian well-proven but designed in the 1960ies launch systems – Soyuz and Proton rocket families cannot compete with SpaceX's semi-reusable Falcon 9 rocket in terms of price and launch-readiness [7]. The Angara rocket system that was supposed to replace the

old systems has been in development since 2004 and, so far, it has been launched just three times for testing [8].

Apart from technological lagging, Russian Federation had to deal with many financial, political, and social problems in the last several years. International sanctions imposed after the occupation of Crimea in 2014, relatively low global oil and natural gas prices, and the Covid-19 pandemic have all strongly contributed to the country's financial capabilities. Roscosmos' budget has been on the decrease as well. In 2016, the budget for 2016-2026 was established at the level of 2.3 trillion rubles annually, although year by year, it was reduced and in 2020 reached 1.4 trillion rubles until 2025 [9]. However, in December 2021, another cut was announced – Russia's space activities program was reduced by 16% [10]. Moreover, recent financial results point at substantial losses. Roscosmos' net profit plummeted 42 times last year. In 2019 it earned 12. billion rubles, while in 2020, only 291.6 million rubles [11]. Many reasons contributed to that state of affairs, including a significantly lower number of internationally commissioned satellite launch missions due to cheaper competition (recently, the UK government has terminated the contract with Roscosmos for launching OneWeb satellite constellation – since 2022, it will use Indian services and its GSLV MK III launching system [12]), and overwhelming corruption, especially manifesting at the construction of the Vostochny Cosmodrome [13].

Despite the above-listed problems, one should remember that Roscosmos is still a key player in the global space market. Its budget still comes as third in the world, it is still one of few contractors able to launch satellites to Earth's orbits, and it continues to participate in many international space programs, including International Space Station (ISS), ExoMars mission jointly with the European Space Agency.

However, a progressively tighter budget has made Kremlin and Roscosmos reevaluate and redefine Russia's space program, also from the strategic point of view. Dmitry Rogozin, the Director-General of Roscosmos, announced in October 2020 that the agency's involvement in the lunar international

Gateway project would be very limited and said that “, lunar Gateway, in its current form, is too U.S.-centric” [14]. Russia's position regarding continuing cooperation on the ISS has been changing in the last couple of years, although there were withdrawal announcements. In June 2021, Rogozin said that the decision would be based on whether Americans lift the sanctions on Russia – “Either we are working together and then sanctions should be lifted immediately, or we won't work together and then national systems will be deployed” [15].

The reasons for the redefinition of the space program are not only political. International projects have become too expensive for Roscosmos, which is especially the case with the low-value ruble. The technological gap between Russia and two other key players – the US and China- seems to be growing. Once the leader of the space race, it has now become one of many second-row participants, next to Europe, Japan, and India.

The successes of space exploration have always been a source of pride for the Russian people and, at the same time, a great propaganda tool for the government. It is crucial in times of financial crisis. In order to stay relevant, Russia had to change the objectives of its space program. That change can be summarized by the will and declarations of loosening the cooperation with the west, carrying out space projects independently, and finally seeking closer cooperation with China.

### Russian turn to China for space cooperation

The Chinese space program has been developed in isolation. The main reason for that was discovering China's cover operations in the 1980-is and 1990ies and stealing many secret weapon designs, including space technology. The results of the internal US investigation were published in the so-called Cox report in 1998 [16]. In the overview of the report, there are, i.a., the following claims: “The People's Republic of China (PRC) has stolen design information on the United States' most advanced thermonuclear weapons” [16, p. ii]; and further on: “The PRC has stolen or otherwise illegally obtained US missile and space technology that improves PRC military and intelligence capabilities” [16, p. xii].

Despite the international isolation and late start, the Chinese space program has been very successful. Among its most significant achievements there were sending a man into space in 2003, the first EVA in 2007, the completion of the global navigation satellite constellation Beidou in 2020, the soft landing of a rover on Mars in 2021, and successful placing a crewed space station Tiangong on the Earth's orbit. China's space budget comes as second in the world – in 2019, the Chinese government spent \$9.596 billion, US \$47,169 billion, and Russia came as fourth (behind ESA) with \$3.978 billion [17, p. 9].

From the Russian perspective, China seems to be a great partner for carrying out future joint space programs. In the undertaken Russian-Chinese cooperation, Russia's position is strong despite a smaller budget due to its decades of experience. As

both parties believe, the alliance will generate a synergy that will strengthen their position in the race against the US. It will be a qualitative leap for Russia in terms of the internal and international perception of its role in space exploration. There is no doubt that it will be a co-leader of the future Russian-Chinese programs, unlike today, occupying the second row. For China, on the other hand, it is a unique opportunity to finally and definitely close the international isolation period. There is probably hope for Russian technology transfer, as well.

The cooperation is already in the works. In June 2021, at the Global Space Exploration Conference (GLEXP), Rogozin announced that “We are planning to send our astronauts to the Chinese station” [18], which, as it seems, may have a lot of to do with the Russian plans to withdraw from the ISS in 2025. Moreover, in March 2021, China and Russia signed the memorandum of understanding on building a joint International Lunar Research Station [19], which is a follow-up of an agreement of joint exploration of the Moon from September 2019 [20].

### Conclusions

It is evident that Russia is on the course of changing alliance and cooperation partners in space programs. It does not mean, however, a total termination of whatever form of collaboration with western institutions. The latter will be substantially reduced, especially if the Russian-Chinese cooperation further develops and flourishes. The decision of Russia to side with China in the current geopolitical situation and internal financial problems seems rational. International projects carried out with the countries from the west, especially the US, which leading role is unquestioned, is a "hard sell" from the propaganda point of view.

From the perspective of geopolitics and geostrategy, this Russia's shift away from the west and towards China may bear significant consequences for the future.

### References

1. Department of Defense, USA. Defense Space Strategy: Summary, June 2020. [Online]. Available: [https://media.defense.gov/2020/Jun/17/2002317391/-1/-1/1/2020\\_DEFENSE\\_SPACE\\_STRATEGY\\_SUMMARY.PDF](https://media.defense.gov/2020/Jun/17/2002317391/-1/-1/1/2020_DEFENSE_SPACE_STRATEGY_SUMMARY.PDF)
2. A. Sheer, L. Shouping, “Emergence of the International Threat of Space Weaponization and Militarization: Harmonizing International Community for Safety and Security of Space,” *Frontiers in Management Research*, vol. 3, no 3, pp. 100–114, July 2019. Accessed: October, 25, 2021, DOI: 10.22606/fmr.2019.33003. [Online]. Available: [http://www.isaacpub.org/images/PaperPDF/FMR\\_100061\\_2019070115495115229.pdf](http://www.isaacpub.org/images/PaperPDF/FMR_100061_2019070115495115229.pdf)
3. P. Bernat, “The Inevitability of Militarization of Outer Space,” *Safety & Defense*, vol. 5, no. 1, 2019, DOI: 10.37105/sd.43
4. I. A. Vlasic, “Space Law and the Military Applications of Space Technology,” in *Perspectives on*



*International Law*, N. Jasentuliyana, Ed., London, UK: Kluwer Law International, 1995, pp. 385–410.

5. P. Bernat and E. Posluszna, “The Threat of Space Terrorism in the Context of Irregular Warfare Strategies,” in *Evaluation of Social Changes and Historical Events Based on Health, Economy and Communication in a Globalizing World*, L. Aydemir, Ed., Bursa, Turkey: Dora, 2019, pp. 25–37.

6. United National Office for Outer Space Affairs, “Treaty on Principles Governing the Activities of States in the Exploration and Use of Outer Space, including the Moon and Other Celestial Bodies,” 1967. [Online]. Available: <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/spacelaw/treaties/outerspacetreaty.html>

7. SpaceX, “Falcon User’s Guide,” SpaceX, April 2020. [Online]. Available: [https://www.spacex.com/media/falcon\\_users\\_guide\\_042020.pdf](https://www.spacex.com/media/falcon_users_guide_042020.pdf)

8. A. Zak, “Angara-5 takes to the sky: The first space rocket developed in the post-Soviet Russia finally flies,” Russian Space Web, 2021. [Online]. Available: <http://www.russianspaceweb.com/angara.html>

9. F. Vidal, “Russia’s Space Policy: The Path of Decline?” DGAP, January 2021, Accessed: October 28, 2021. [Online]. Available: [https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/vidal\\_russia\\_space\\_policy\\_2021\\_.pdf](https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/vidal_russia_space_policy_2021_.pdf)

10. “«Roskosmos» pereedet na francuzskij kosmodrom posle sokrashhenija finansirovaniya.” *Finanz.ru*. <https://www.finanz.ru/novosti/aktsii/roskosmos-pereedet-na-francuzskiy-kosmodrom-posle-sokrashcheniya-finansirovaniya-1030901096> (accessed October 28, 2021).

11. “Pribyl’ «Roskosmosa» ruhнула v 42 raza.” *Finanz.ru*. <https://www.finanz.ru/novosti/aktsii/pribyl-roskosmosa-rukhnula-v-42-raza-1030834750> (accessed October 28, 2021).

12. N. Kumar. “OneWeb refuses services to Russia: who will now launch satellites into space.” *The Times Hub*. [https://thetimeshub.in/oneweb-refuses-services-](https://thetimeshub.in/oneweb-refuses-services-to-russia-who-will-now-launch-satellites-into-space/)

[to-russia-who-will-now-launch-satellites-into-space/6702/](https://thetimeshub.in/oneweb-refuses-services-to-russia-who-will-now-launch-satellites-into-space/6702/) (accessed October 28, 2021).

13. “Russia Shields Fraud-Plagued Space Agency From Foreign Scrutiny.” *The Moscow Times*, July 20, 2021.

<https://www.themoscowtimes.com/2021/07/20/russia-shields-fraud-plagued-space-agency-from-foreign-scrutiny-a74561> (accessed October 28, 2021).

14. S. Clark. “Russia’s space agency unlikely to join NASA-led lunar program.” *Spaceflight Now*, October 14, 2020. <https://spaceflightnow.com/2020/10/14/russias-space-agency-unlikely-to-join-nasa-led-lunar-program/> (accessed October 28, 2021).

15. “Russia’s decision about ISS participation depends on US sanctions on Roscosmos.” *Tass: Russian News Agency*, June 7, 2021. <https://tass.com/science/1299745> (accessed October 28, 2021).

16. US House of Representatives, 105th Congress, 2nd session (1999, Jan. 3). Report of the Select Committee on US National Security and Military/Commercial Concerns with The People’s Republic Of China. [Online]. Available: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/GPO-CRPT-105hrpt851/pdf/GPO-CRPT-105hrpt851.pdf>

17. B. Yukman, “The Space Economy,” *The Space Report*, 2020, Q 2, pp. 2–20. [Online]. Available: <https://www.thespacereport.org/wp-content/uploads/2020/07/The-Space-Report-2020-Q2-Book.pdf>

18. A. Jones. “Russia wants to send cosmonauts to China space station.” *Space.com*, June 22, 2021. <https://www.space.com/russia-cosmonauts-may-visit-china-space-station>

19. The State Council of the People’s Republic of China. “China plans to build research station on moon’s south pole,” March 14, 2021. [http://english.www.gov.cn/news/topnews/202103/14/content\\_WS604da72cc6d0719374afad02.html](http://english.www.gov.cn/news/topnews/202103/14/content_WS604da72cc6d0719374afad02.html)

20. A. Jones. “China, Russia to cooperate on lunar orbiter, landing missions.” *Space News*, September 19, 2019. <https://spacenews.com/china-russia-to-cooperate-on-lunar-orbiter-landing-missions/>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ 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)

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

**Блискун Олександр Євгенійович**

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

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

### КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАВДАНЬ СПІЛЬНОГО БОЙОВОГО ПОРЯДКУ ПІЛОТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ В ОПЕРАЦІЯХ

*У даній статті розглянуті сучасні погляди на застосування пілотованої та безпілотної авіації в майбутніх військових операціях. Проведено порівняння завдань, які може виконувати пілотована та безпілотно авіація. Здійснено класифікацію завдань для спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації. За допомогою метода аналізу ієрархії визначено завдання, які за поглядами експертів найбільш доцільно виконувати у спільному бойовому порядку. Проведено короткий огляд щодо можливого економічного ефекту від застосування спільних авіаційних груп. Надано рекомендації щодо подальших досліджень у даній області.*

**Ключові слова:** пілотована та безпілотно авіація; спільний бойовий порядок; бойове застосування.

#### Вступ

Розвиток сучасних технологій у галузі авіації та інформаційних технологій передбачає постійні зміни в мистецтві ведення операцій. У [1] визначено основні риси збройної боротьби в майбутньому і кожна з цих рис притаманна безпілотної авіації. Так, зокрема поява безпілотних літальних апаратів (БпЛА) призвела до необхідності спільного застосування пілотованої та безпілотної авіації в ході бойових дій. Першим важливим завданням, яке покладалося на безпілотну авіацію стала розвідка. По мірі розвитку технологій розвідка в операціях переросла в систему безпілотних розвідувальних засобів, яка включає в себе різні рівні застосування від тактичного до стратегічного. Якщо у війнах ХХ ст. переважну більшість розвідувальних завдань виконувала пілотована авіація, то вже з початку ХХІ ст. ця функція поступово перейшла до безпілотних авіаційних комплексів (БпАК). Безпілотники стали складовою системи оперативного (бойового) управління, зв'язку, розвідки та спостереження (С4ISR), а також без них неможливе впровадження концепції мережецентричних війн [2]. Також, з початку ХХІ ст. у США успішно проведена робота щодо створення ударних БпЛА, що започаткувало новий етап у їхнього розвитку та спровокувало зміни у

мистецтві ведення сучасних війн. Крім того продовжують з'являтися нові типи БпЛА, наприклад дозаправники в повітрі, які вже успішно проходять льотні випробування [4,5], продовжуються роботи щодо розроблення безпілотних винищувачів [6,7,8,9,10]. Тому актуальними питаннями на сьогодні залишаються, які ж завдання зможуть виконувати спільні авіаційні групи пілотованих та безпілотних літальних апаратів?

Сучасна пілотована авіація призначена для виконання значної кількості завдань [11,12,13,14], проте розвиток засобів протиповітряної оборони, які можуть виявляти та знищувати повітряні цілі на великих дальностях привів науковців та військових провідних країн світу до висновку, що необхідність збереження пілота є пріоритетною у майбутніх війнах. Саме тому, наприкінці ХХ ст. провідні країни світу задля збереження життя льотного складу та високовартісної авіаційної техніки почали застосовувати безпілотні літальні апарати для виконання у повітряних операціях завдань які не передбачали застосування зброї. Саме тоді почалась ера безпілотної авіації, на теперішній час жоден збройний конфлікт не обходиться без безпілотників. Виникає питання як ефективно поєднати пілотовану та безпілотну авіацію у сучасних збройних конфліктах та які функції вони

повинні виконувати, щоб у повній мірі реалізувати бойовий потенціал і перших, і других?

На даний час можна з впевненістю сказати, що на безпілотну авіацію покладаються значна кількість завдань, які виконує пілотована авіація [15,16], крім найбільш складної та перспективної у майбутньому місії – це повітряний бій з пілотованими та безпілотними літаками противника. Для вирішення цієї проблеми у США, наприклад, розроблено перспективні концепції Manned and Unmanned aircraft teaming (MuM-T)[17], Loyal Wingman [19,20], Next Generation Aircraft Dominance [21,22]. Також, ще не освоєний напрям повітряних перевезень особового складу безпілотниками, оскільки людина в психологічному плані ще не готова довірити себе роботизованій системі й для вирішення даного питання необхідно провести ще низку досліджень та випробувань.

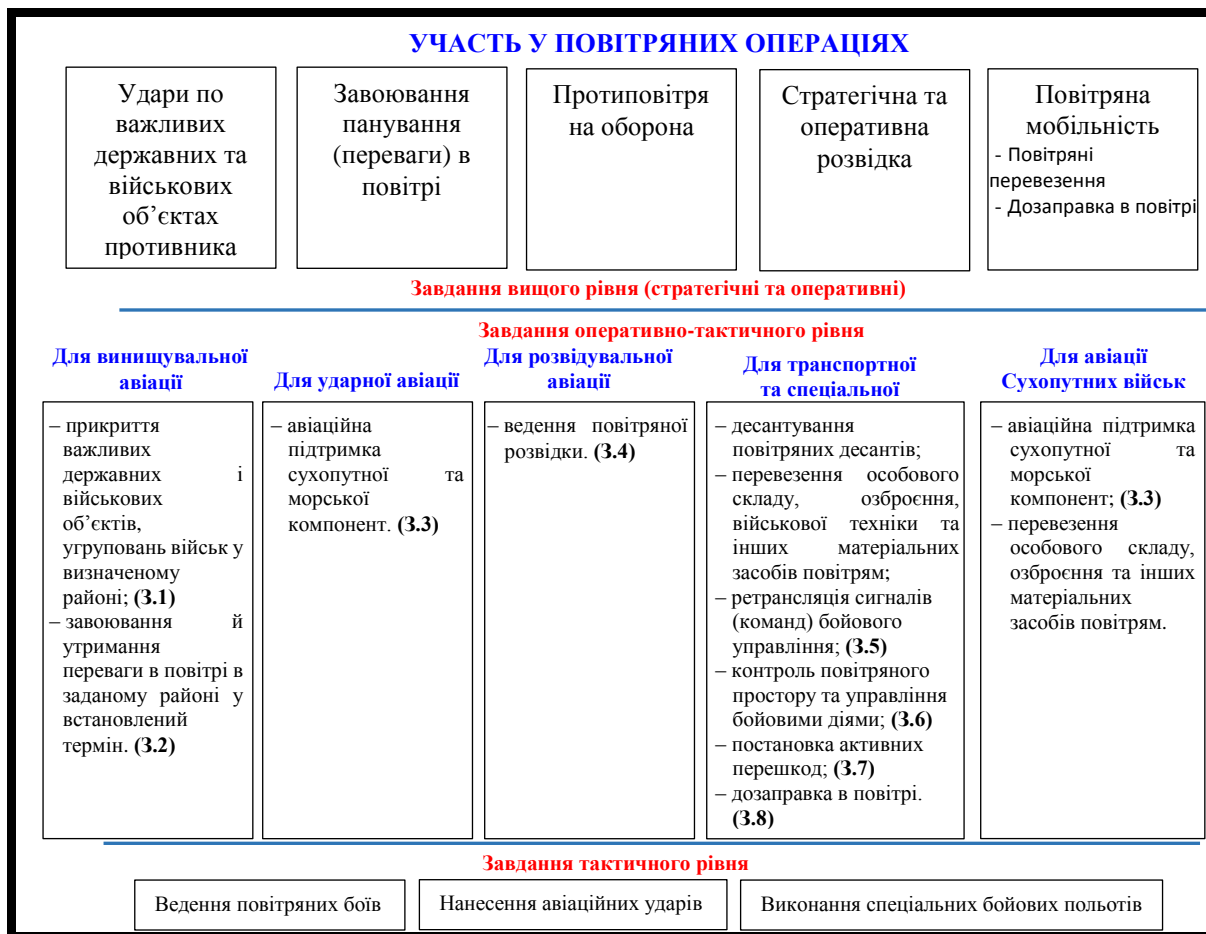
Класифікація даних завдань за групами важливості дозволить науковій спільноті зосередити увагу на перевагах та проблемах такого застосування у майбутніх операціях.

### Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу, синтезу та метод аналізу ієрархій Томаса Сааті [23].

### Результати

Розподілимо завдання, які може виконувати спільна авіаційна група пілотованих та безпілотних літальних апаратів (Спільна авіаційна група) в операціях на завдання вищого рівня (оперативні та стратегічні), оперативно-тактичні завдання та завдання тактичного рівня (Рис.1).



**Рисунок 1.** Класифікація завдань спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації в операціях

Розглянемо більш докладно завдання оперативно-тактичного рівня в наступальній операції, оскільки спільна авіаційна група – це різноманітне угруповання і їх завдання значно ширші за тактичні.

За допомогою методу аналізу ієрархій визначимо завдання, яке найбільш ефективно може виконати спільна авіаційна група.

Умовно позначимо завдання, які може вирішувати авіація в наступальній операції присвоївши їм порядковий номер (див. рис. 1). Завдання, які притаманні транспортній авіації (десантування повітряних десантів та перевезення особового складу, озброєння, військової техніки та інших матеріальних засобів повітрям) винесемо в

обмеження та під час дослідження розглядати не будемо.

За 9-ти бальною шкалою порівнянь завдань [23,23, с.102] побудуємо матрицю пріоритету завдань (Табл.1). Заповнення комірок таблиці здійснюється шляхом парного порівняння параметрів відповідно до оцінок. Далі розраховуємо вектор пріоритету завдань за наступним алгоритмом: знаходимо середнє геометричне кожного рядка і записуємо їх у стовпчик 9; знаходимо суму стовпчика 9; нормуємо отриманий стовпчик до 1 (ділимо кожен його елемент у сумі і записуємо в стовпчик 10). Отримуємо вагові коефіцієнти ( $K_{важл.}$ ) прийнятих параметрів стосовно 1. Далі, для оцінки достовірності експертних оцінок необхідно розрахувати індекс узгодженості оцінок ( $EN$ ), який встановлює ступінь порушення числової та порядкової узгодженості експертних оцінок (1) [23,24]

$$EN = \frac{\lambda - n}{n - 1}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – число, що перевищує  $n$ , залежно від грубості експертних оцінок, тому завжди  $\lambda > n$ . При абсолютній узгодженості матриці  $\lambda = n$ .

$n$  – кількість порівнюваних елементів.

для цього: підсумовуємо елементи стовпчиків завдань та записуємо у рядок 9; перемножуємо елементи рядка 9 та стовпчика 10 та записуємо результат у стовпчик 11; підсумовуємо елементи стовпчика 11 та отримуємо  $\lambda = 8,76692$ ; знаходимо індекс узгодженості  $EN = 0.11$ . Узгодженість може бути випадковою. Її величина залежатиме від розміру матриці. Середня величина випадкової узгодженості для матриці розміром  $8 \times 8$  буде рівна  $NN = 1,41$  [23, с.107]. Розраховуємо відношення узгодженості (2)

$$IN = \frac{EN}{NN} = 0,07 \quad (2)$$

У нашому випадку ставлення узгодженості складає 7%. Вважають, що при оптимальному узгодженні  $IN$  не має перевищувати 10%, при задовільному - 20%. [24]

Таблиця 1

Матриця пріоритету завдань

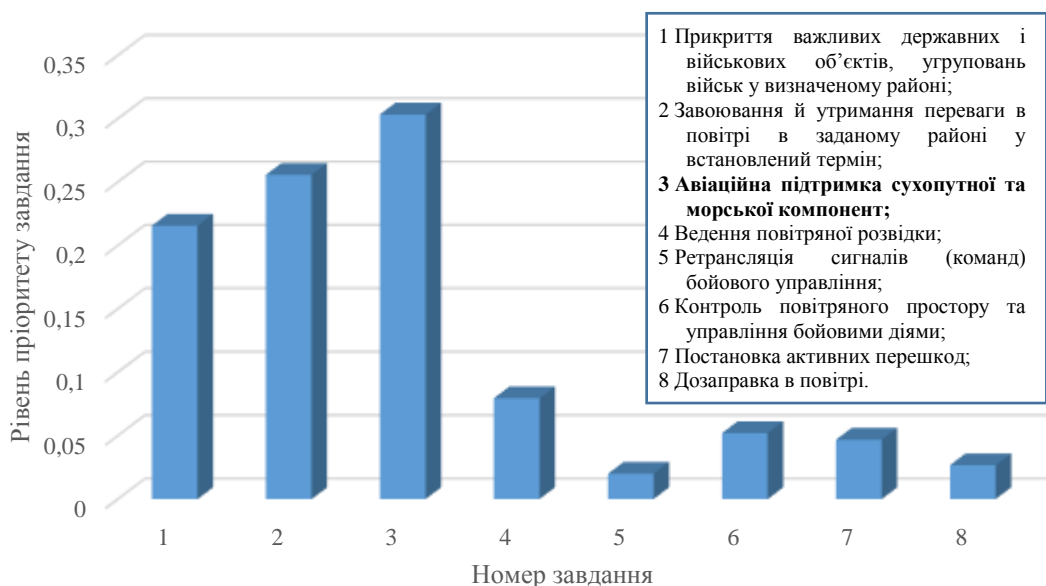
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Завдання	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	$\Sigma$ рядків	$K_{важл.}$	$\lambda$
3.1	1	0,33	0,2	3	5	1	3	7	2,9	0,21561	2,37175
3.2	3	1	1	3	9	7	5	7	3,44	0,25576	0,83123
3.3	5	1	1	5	9	7	7	7	4,08	0,30335	0,8888
3.4	0,33	0,33	0,2	1	9	1	3	3	1,07	0,07955	1,09546
3.5	0,2	0,11	0,11	0,11	1	0,33	0,33	1	0,27	0,02007	0,80297
3.6	1	0,14	0,14	1	3	1	1	1	0,7	0,05204	1,00602
3.7	0,33	0,2	0,14	0,33	3	1	1	3	0,63	0,04684	0,96772
3.8	0,14	0,14	0,14	0,33	1	1	0,33	1	0,36	0,02677	0,80297
$\Sigma$ стовпчиків	11	3,25	2,93	13,77	40	19,33	20,66	30	13,45	1	8,76692

Як видно з розрахунків найбільший пріоритет у виконанні завдань спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації мають: авіаційна підтримка військ; завоювання й утримання переваги в повітрі в заданому районі у встановлений термін; прикриття важливих державних і військових об'єктів, угруповань військ у визначеному районі. Найменший пріоритет має завдання щодо ретрансляції сигналів (команд) бойового управління. (Рис. 2).

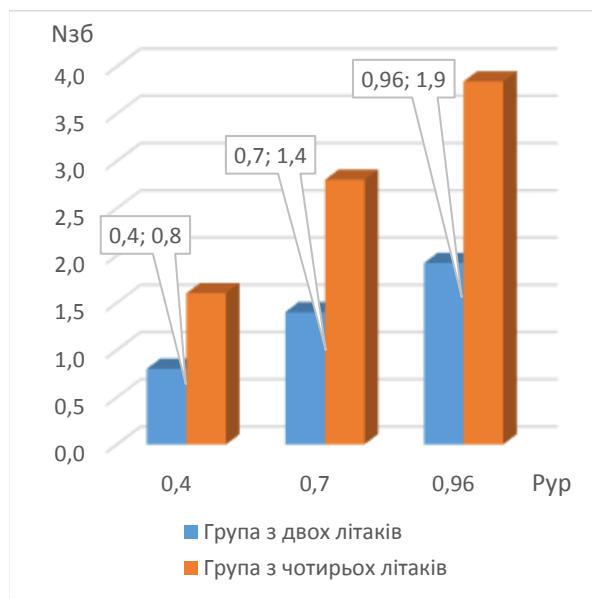
Розглянемо переваги застосування спільних авіаційних груп під час виконання завдань авіаційної підтримки. Припустимо, що нашій повітряній компоненті поставлено завдання щодо знищення командного пункту (КП) мотострілкової бригади (мсбр) противника, який імовірно буде розташований у глибині побудови бойового порядку бригади до 10 км. Припустимо, що для знищення КП мсбр умовно нам знадобиться 12 літаків Су-25, які будуть розподілені за групами

тактичного призначення (група придушення ППО – 2 літака, група дорозвідки та позначення цілей – 2 літака, ударна група – 4 літака, демонстраційна група – 2 літака, резерв – 2 літака). Крім того для ураження об'єктів переднього краю противника може залучатися авіація Сухопутних військ.

Для прикладу допустимо, що для виходу на ціль групам придушення ППО, дорозвідки та позначення цілі та ударній групі буде протистояти одна зенітна ракетна батарея ЗРК "Оса-АКМ". Даний комплекс за своїми ТТХ має ймовірність ураження цілі однією ракетою  $P_{ур} = 0,4 \dots 0,96$  [25], оскільки як правило стрільбу виконують двома ракетами, то ймовірність ураження наших літаків відповідно збільшується. Розрахуємо математичне сподівання кількості збитих літаків для вищезазначених трьох груп тактичного призначення, чотирма бойовими машинами ЗРК "Оса-АКМ", які мають кожна по 6 зенітних керованих ракет [26].



**Рисунок 2.** Діаграма пріоритетів завдань, які може виконувати спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації



**Рисунок 3.** Діаграма залежності математичного сподівання кількості збитих літаків (у групах з двох і чотирьох літаків) від ймовірності ураження ЗРК “Оса-АКМ” однією ракетою

Як видно з Рис.3, закономірно, що при збільшенні ймовірності ураження літака однією ЗРК, математичне сподівання кількості збитих літаків збільшується і буде близьке до максимальної кількості літаків у групі. Якщо розглядати це питання з економічної точки зору, то втрата навіть одного літака типу Су-25 призведе до збитку орієнтовно у 25-30 млн доларів. І можливості щоб швидко замінити таке

високовартісне озброєння та підготувати у скорочені терміни льотний склад в Україні обмежені.

Тому пропонується альтернативний варіант побудови бойових порядків, який буде включати в себе пілотовану та безпілотну авіацію[27]. Безпілотники будуть виконувати, як розвідувальні так і розвідувально-ударні функції, що зменшує ймовірність втрат пілотованих літаків та льотного складу. Крім того, вартість БпЛА Bayraktar TB2 орієнтовно складає 6-7 млн доларів, що значно зменшує збиток держави у разі його втрати, зберігає високовартісну станцію управління та зовнішнього пілота. Також даний безпілотник завдяки сучасним технологіям має на озброєнні високоточну зброю і захист від впливу засобів РЕБ, що навпаки збільшує ймовірність ураження засобів ППО противника [28].

Для Збройних Сил України, які мають на озброєнні пілотовані літаки типу Су-25, ударні вертольоти Мі-24 та розвідувально-ударні безпілотні авіаційні комплекси Bayraktar TB-2 найбільш ефективним, з економічної точки зору, буде використовувати їх у спільних бойових порядках для виконання завдань авіаційної підтримки.

### Обговорення

За результатами проведених досліджень можемо дійти висновку, що в сучасних операціях існує необхідність застосування пілотованих та безпілотних літальних апаратів у спільних бойових порядках. Розвиток технологій продовжує впроваджувати у війська роботизовані системи, і в майбутньому вони будуть автономні та приймати рішення з використанням технологій штучного

інтелекту. За допомогою метода аналізу ієрархій ми виділили завдання, які вже на даний час можуть виконуватися спільними авіаційними групами пілотованої та безпілотної авіації з більшою ефективністю, за рахунок зменшення числа втрат високовартісної техніки та льотного складу. Проблемними питаннями дослідження є те, що безпілотні літальні апарати функціонально обмежені для проведення певних завдань, оскільки, наприклад, такі функції як боротьба з повітряним противником, ще на стадії вивчення та розробки. Ці проблемні питання накладають певні обмеження у дослідженнях та не дають можливості щодо повної оцінки та виділення пріоритетних завдань для спільних авіаційних груп. Проте, як видно з дослідження завдання щодо завоювання переваги в повітрі та прикриття важливих державних та військових об'єктів, угруповань військ в майбутньому будуть мати високий пріоритет важливості. В цій області є ще місце для проведення досліджень та розвитку у майбутньому. На практиці вже в найближчих операціях та навчаннях доцільно застосовувати спільні авіаційні групи для виконання завдань авіаційної підтримки військ, що не повинно понести додаткових фінансових витрат на такі операції. Проте науковцям необхідно продовжувати досліджувати дані питання шляхом імітаційного моделювання спільних операцій та відпрацювання тактики дій таких спільних груп.

### **Висновки**

У даному дослідженні проведено об'єднання завдань, що покладаються на пілотовану та безпілотну авіацію та викладено погляди на їх спільне застосування. Їх можна застосовувати під час проведення досліджень сучасних військових операцій, особливо в частині, що стосується їх повітряних складових. Практично дані питання можливо застосовувати в ході майбутніх військових навчань та операцій, що дозволить значно розширити варіанти бойового застосування авіації Збройних Сил України. В подальшому необхідно провести більш детальний воєнно-економічний аналіз щодо економічного ефекту, який буде отриманий при застосуванні спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації в ході бойових дій.

### **Список використаних джерел**

1. Об'єднана оперативна концепція сил оборони 2030. – Київ, ГШ ЗСУ. – 2021. – 34 с.
2. Теоретичні основи управління угрупованням військ (сил) у сучасних умовах збройної боротьби: монографія / [О.М. Загорка, А.А. Корецький, А.К. Павліковський, І.О.Загорка]; за заг. Ред. І.С. Руснака. – К. НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2020. – 248 с.
3. Close Air Support. Joint Publication 3-09.3. – 361 p.

4. Stefano D'urso. MQ-25 Stingray Tests Move Forward With First F-35C Lightning II Air-To-Air Refueling, 2021 <https://theaviationist.com/2021/09/17/mq-25-refuels-f-35/>
5. David Cenciotti. Boeing MQ-25 Stingray Tanker Drone Achieves Another First: Air-to-Air Refueling With An E-2D, 2021 <https://theaviationist.com/2021/08/19/mq-25-aar-e-2d/>
6. Безпілотний стелс Ace One: як екс-очільник ДП "Антонов" створює британсько-український ударний БПЛА, 2021 [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/bezpilotnij\\_stels\\_ace\\_one\\_jak\\_eks\\_ochilnik\\_dp\\_antonov\\_stvorjuje\\_britansko\\_ukrajinskij\\_udarnij\\_bppla-4031.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/bezpilotnij_stels_ace_one_jak_eks_ochilnik_dp_antonov_stvorjuje_britansko_ukrajinskij_udarnij_bppla-4031.html)
7. В Україні вперше показали розроблений спільно з Туреччиною безпілотний винищувач, 2020. <https://www.unian.ua/weapons/10818008-v-ukrajini-vpershe-pokazali-rozrobleniy-spilno-z-turechchinyu-bezpilotniy-vinishchuvach-foto-video.html>
8. Безпілотні винищувачі в Японії планують взяти на озброєння в 2035 році, 2021. <https://portaltele.com.ua/news/technology/bezpilotni-vynyshhuvachi-v-yaponiyi-planuyut-vzyaty-na-ozbroyennya-v-2035-rotsi.html>
9. У Туреччині аносували безпілотний літак «субвизю» винищувачів, 2021. <https://texty.org.ua/fragments/104162/u-turechchyni-anonsuvaly-bezpilotnyj-litak-ubyvcyu-vynyshuvachiv/>
10. Винищувач шостого покоління, 2021. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Винищувач\\_шостого\\_покоління](https://uk.wikipedia.org/wiki/Винищувач_шостого_покоління)
11. Герасименко О.І. Тактика авіації Повітряних Сил. Навчальний посібник. -К.: НАУ, 2006. – 134 с. <https://studfile.net/preview/5376215/>
12. Збройна боротьба у повітрі та космосі : підручник / М. О. Єрмошин, С. П. Ярош, Є. І. Ряполов та ін. ; за заг. ред. М. О. Єрмошина. – Х.: ХНУПС, 2019. – 496 с. : іл.
13. Доктрина Повітряні Сили Збройних Сил України. – Вінниця, КПС ЗС України, 2020. – 40 с.
14. NATO STANDARD AJP-3.3. Allied Joint Doctrine For Air And Space Operations. Edition B Version 1. - April 2016. - 100 p.
15. Радецький В. Г., Руснак І. С., Даник Ю. Г. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі: Монографія. - К.: НАОУ, 2008. -224 с.
16. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. Монографія / С.П. Мосов, М.В. Погорецький, С.М. Салій, О.В. Селюков, А.Л. Фещенко; за ред. проф. С.П. Мосова. - Київ: Інтерсервіс, 2019. - 324 с.
17. Livio Rossetti, 2020. Manned-Unmanned Teaming. <https://www.japcc.org/manned-unmanned-teaming/>
18. Beth Stevenson. Loyal Wingman Part of the Future of Air Combat, 2019. <https://www.ainonline.com/aviation-news/defense/2019-06-13/loyal-wingman-part-future-air-combat>
19. Jamie Freed, 2019. Boeing unveils unmanned combat jet developed in Australia.

- <https://www.reuters.com/article/us-australia-airshow-boeing-unmanned/boeing-unveils-unmanned-combat-jet-developed-in-australia-idUSKCN1QF2XT>
20. Garrett Reim, 2021. Northrop Grumman unveils Model 437 loyal wingman concept <https://www.flightglobal.com/military-uavs/northrop-grumman-unveils-model-437-loyal-wingman-concept/145407.article>
21. John A. Tirpak, 2009. The Sixth Generation Fighter <https://www.airforcemag.com/article/1009fighter/>
22. Air Force Next-Generation Air Dominance Program: An Introduction <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11659>
23. Т. Саати. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М. Радио и связь, 1993. 278 с.
24. Беспилотные авиационные комплексы: Методика сравнительной оценки боевых возможностей / М.М. Митрахович, В.И. Силков, А.В. Самков, Х.В. Бурштынская, С.А. Станкевич, В.Б. Семенов. Под общей редакцией В.И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2012. – 288 с.; 102 рис; 73 табл.
25. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.:іл.
26. Тактика бомбардувальної авіації. Ч. 1. Основи тактики підрозділів бомбардувальної авіації : навч. посіб. / О. Б. Котов, О. І. Лагузов, С. А. Калкаманов, П. М. Онипченко. – Х. : ХНУПС, 2018. – 164 с.
27. В.М. Петров, А.А. Шалигін, А.Ф. Кудрявцев. Погляди на спільне застосування пілотованої та безпілотної авіації при веденні бойових дій. *Повітряна міць держави № 1(1)*. – К. НУОУ, 2021. С.126-129.
28. Я.В. Ярошенко, В.В. Герасименко, О.Є. Блискун, С.М. Базіло, Д.Р. Ікаєв. Досвід застосування безпілотної авіації у вірмено-азербайджанському конфлікті восени 2020 року. Уроки для України. *Военно-історичний вісник 2(40)*. – К.: НУОУ, 2021. – с.53-71. DOI: 10.33099/2707-1383-2021-40-2-53-71

Герасименко Володимир Вікторович (кандидат військових наук)

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

Титатренко Олександр Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-3523-9519>

Ковба Орест Петрович

<https://orcid.org/0000-0001-5154-7151>

Бобров Сергій Васильович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-09647-9700>

Обозненко Євген Георгійович

<https://orcid.org/0000-0003-3617-8604>

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ КОНФІГУРАЦІЇ СПІЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРУПИ ПІЛІТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛІТНОЇ АВІАЦІЇ

У статті розглянуто теоретичні аспекти формування конфігурації складної механічної системи, як прототипу спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації. Вони розкриваються з позицій представлення рівнянь руху складної механічної системи, конструювання її руху та розв'язання зворотних задач динаміки керованих складних механічних систем.

Описано порядок задавання або збереження потрібної конфігурації складної механічної системи за рахунок системи керованих впливів та структуру зв'язків елементів, які б при усіх відхиленнях характеристик від бажаних, супроводжують зміну конфігурації, продукуючи відповідні керуючі сили. Наведена логічна залежність зміни конфігурації від мети руху системи.

При розв'язанні задачі управління конфігурацією складної механічної системи, виокремлено два взаємопов'язаних, але самостійних етапи: пошук системи керуючих сил та спосіб реалізації потрібної системи сил.

Також у статті сформульовано задачу управління конфігурацією складної механічної системи у загальному вигляді і розглянуто рівняння руху великої технічної системи, як спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації, з точки зору складної механічної системи.

У статті доведено, що елементи складної механічної системи (літальні апарати) утворюють велику технічну систему (спільну авіаційну групу), що розташована на декількох об'єктах. Особливостями функціонування таких систем є наявність принципів поєднання елементів в систему, тобто сукупність заданих умов та обмежень, що накладаються на положення та рух елементів цієї системи. Сукупність таких умов та обмежень прийнято називати зв'язками, до яких також віднесено і взаємодію між елементами системи.

В статті, зв'язки аналітично описані рівняннями, що відображають залежність між координатами елементів системи, їх швидкостями і часом та об'єднуються у дві великі групи: утримуючі та неутримуючі. Це у подальшому використовується для заміни результату дії зв'язків на силу реакції зв'язків. Зазначається, що задача розв'язання рівнянь руху складних механічних систем є нетривіальною задачею та вимагає відомої винахідливості, що спирається на коректну математичну ідеалізацію зв'язків у відповідності з дійсною фізичною картиною.

Одержані рівняння руху елементів складної механічної системи ускладнюються із збільшенням числа тіл, що входять до складу цієї системи. Таким чином, задача управління системою тіл, як спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації, не може бути зведена до класичних задач механіки, а її інформаційні аспекти найчастіше мають визначне значення, що потребує окремого дослідження.

**Ключові слова:** складна механічна система, конфігурація, управління, спільна авіаційна група, пілотована та безпілотної авіація.

### Вступ

**Постановка завдання.** Розглянемо завдання, що пов'язані з описом та вивченням великої технічної системи (ВТС) бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації у вигляді керованої складної механічної системи (СМС). Як механіка польоту є основою для створення систем управління літальними апаратами, так і механіка спільного руху групи літальних апаратів є основою

для синтезу відповідних систем управління. Розглянемо такі питання:

- представлення рівнянь руху СМС;
- конструювання руху СМС;
- розв'язання зворотних задач динаміки керованих СМС.

У аналітичній механіці під СМС розуміють будь-яку сукупність матеріальних точок, що знаходяться під дією заданих сил та підкорених



різного роду механічним зв'язкам [1]. Причому тверде тіло розглядається, як сукупність матеріальних точок, закріплених на жорсткому невагомому "каркасі". Довільне тіло у будь-якій задачі механіки можна замінити еквівалентною йому жорсткою системою координат [2]. Тому у загальному випадку немає необхідності деталізувати, що є предметом дослідження чи то система точок, чи то система тіл. Розв'язуючи задачі управління СМС, необхідно, перш за все, визначитися з параметрами управління, по-друге, здійснити декомпозицію системи на керовані елементи.

Положення всіх точок та тіл СМС у просторі [3] будемо називати конфігурацією. Визначення конфігурації означає разом з тим і визначення взаємного розташування точок і тіл СМС, що назвемо відносною конфігурацією. Комплекс задач, пов'язаних з управлінням конфігурацією, містить у собі: формування, управління рухом СМС як єдиного цілого.

У ряді випадків вимагається, щоб у процесі руху характеристики взаємного положення елементів системи змінювались у функції параметрів їх руху (швидкості, прискорення тощо). Природньо, що ця вимога повинна бути сформульована у вигляді мети управління рухом, тобто вказання тих якостей, якими повинен володіти рух усієї системи та її елементів.

При визначенні конфігурації системи, слід охарактеризувати зв'язки між елементами та самі елементи у тій мірі, в якій це має відношення до структурних особливостей системи, розташованої на певній кількості об'єктів. Мова йде про те, що необхідно визначити: рух саме яких елементів є незалежним від руху решти елементів, а яких залежним. Задля використання загальнозживаної термінології, перші елементи будемо називати ведучими, другі – веденими. При цьому, у в межах спільного бойового застосування у складі спільної авіаційної групи (САГ), під ведучими розуміються літаки пілотованої авіації, під веденими – безпілотні літальні апарати, які управляються з борту пілотованих літаків. Поставлене завдання у системі ведучих та ведених елементів СМС визначає структуру зав'язків. Під зв'язком будемо розуміти саме загальне визначення різних з'єднань між елементами. За своєю сутністю, зв'язки можуть бути голономними та неголономними, реономними та склерономними, а за способом реалізації – матеріальними (механічними) та інформаційними.

Якщо необхідно задати або зберегти потрібну конфігурацію, то слід забезпечити таку систему керованих впливів та структуру зав'язків елементів, які б при усіх відхиленнях характеристик від бажаних, супроводжують зміну конфігурації, продукувати відповідні керуючі сили. Зміни конфігурації обумовлені метою руху системи.

Природньо, що спосіб представлення руху повинен забезпечити отримання інформації у вигляді, доступному для розв'язання теоретичних

та практичних питань, пов'язаних з управлінням системою. Вибір способу представлення диктується стратегічною ціллю – створенням системи управління та повинен забезпечувати уявлення її конструктивних особливостей. У першу чергу, це стосується датчиків первинної інформації.

Розв'язуючи задачу управління конфігурацією складної механічної системи, слід виокремити два, хоч і взаємопов'язаних, але самостійних етапи: пошук системи керуючих сил; спосіб реалізації потрібної системи сил.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Сформулюємо задачу управління конфігурацією у загальному вигляді. Нехай  $R$  – множина усіх дійсних чисел. Через  $R^N$  позначимо  $N$ -мірний дійсний лінійний простір. Рух в  $R^N$  визначимо як диференційоване відображення  $X: I \rightarrow R^N$  інтервалу дійсної осі у  $R^N$ . Образ відображення  $X: I \rightarrow R^N$  назвемо траєкторією у  $R^N$ . При розгляді руху системи, що складається з  $n$  твердих тіл, слід мати на увазі сумісний розгляд  $n$  траєкторій,  $x_i: I \rightarrow R^N$ , де  $i = 1, \dots, n$ ,  $N$  – число ступенів свободи твердого тіла складної механічної системи.

Прямий добуток  $n$  екземплярів  $R^N$  називається конфігураційним простором системи  $n$  твердих тіл [4]. Сукупність відображень  $x_i: R \rightarrow R^N$  визначає одне відображення  $X: R \rightarrow R^K$ ,  $K = Nn$ , осі часу у конфігураційному просторі. Таке відображення і буде визначати рух системи  $n$  твердих тіл у системі координат  $R \times R^N$ . Задача управління конфігурацією, полягає у пошуку функції  $F$ , що відображає  $(R^K \times R^N \times R)$ -мірний простір у потрібний конфігураційний простір.

Рух системи визначається її початковим положенням  $(x(t_0) \in R^K)$  та початковими швидкостями  $(\dot{x}(t_0) \in R^K)$ . Початкові положення та швидкість визначають прискорення, тобто існує така функція  $F: R^K \times R^N \times R \rightarrow R^K$ , що  $\ddot{x} = F(x, \dot{x}, t)$ .

Відповідно до теореми існування та єдиності розв'язку задачі Коші теорії звичайних диференціальних рівнянь, функція  $F$  та початкові умови  $x(t_0)$ ,  $\dot{x}(t_0)$  визначають рух СМС (передбачається дотримання умов гладкості у визначений термін часу). Вигляд функції  $F$  для кожної конкретної механічної системи визначається особливостями побудови цієї системи. З точки зору математики, вигляд функції  $F$  для СМС складає визначення цієї системи. Задача управління СМС буде розв'язана, якщо буде визначена  $F = F(x, \dot{x}, t)$ .

Припустимо, що задача управління полягає у забезпеченні у сумісного управління системою, що складається з  $n$  тіл. Позначимо їх поточні координати через  $x_{vj}$  ( $v = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, N}$ ), де  $v$  – номер тіла,  $j$  – номер координат. Необхідно записати програму управління заданою конфігурацією. З цією метою задаємо  $K = Nn$  функції часу. Якщо координати СМС у кожний момент часу дорівнюють цим функціям, то система має бажану

конфігурацію. Нехай ці функції будуть  $\varphi_{vj}$ , тоді програма управління конфігурацією описується системою  $K$  рівнянь:

$$x_{vj} = \varphi_{vj}(t), \quad (v = \overline{1, n}; j = \overline{1, N}) \quad (1)$$

На прикладі руху центру мас одного з тіл системи опишемо схему знаходження сил, що забезпечують рух з потрібною конфігурацією. Припустимо, що рух заданий у вигляді

$$x = x(t, x_0, \dot{x}_0) \quad (2)$$

де  $x$  – радіус-вектор центру мас у заданій системі координат;  
 $x_0 = (x_{01}, x_{02}, x_{03})$  та  $\dot{x}_0 = (\dot{x}_{01}, \dot{x}_{02}, \dot{x}_{03})$  – постійні вектори початкового положення та початкової швидкості центру мас відповідно.

Диференціюючи співвідношення (2) по  $t$ , одержимо

$$\dot{x} = \dot{x}(t, x_0, \dot{x}_0) \quad (3)$$

$$\ddot{x} = \ddot{x}(t, x_0, \dot{x}_0) \quad (4)$$

З векторних рівнянь (2) та (3) знайдемо вектори

$$x_0 = x_0(t, x, \dot{x}) \quad (5)$$

$$\dot{x}_0 = \dot{x}_0(t, x, \dot{x}) \quad (6)$$

З виразу (4), урахувавши (5) та (6) та з виключенням векторів  $x_0$  та  $\dot{x}_0$ , одержимо вираз для сукупної сили, що діє на тіло СМС

$$\begin{aligned} \Psi_1 = (x_{1j}, t) = 0, & \quad \Psi_5 = (x_{5j}, t) = 0, & \quad x_{1j} - x_{9j} = q(t), \\ x_{1j} - x_{2j} = \alpha(t), & \quad x_{5j} - x_{6j} = \alpha^{(t)}, & \quad x_{9j} - x_{10j} = \alpha^{(t)}, \\ x_{1j} - x_{3j} = \beta(t), & \quad x_{5j} - x_{7j} = \beta^{(t)}, & \quad x_{9j} - x_{11j} = \beta^{(t)}, \\ x_{1j} - x_{4j} = \gamma(t), & \quad x_{5j} - x_{8j} = \gamma^{(t)}, & \quad x_{9j} - x_{12j} = \gamma^{(t)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Схема пошуку системи сил елементів СМС, що рухаються у відповідності з програмами (9), аналогічна описаній вище: задається бажаний рух, після чого винаходяться сили та моменти, що його забезпечують.

Специфіка руху конкретної конфігурації принципів відмінностей у процедуру визначення керуючих сил не вносить. Але це один бік розв'язання задачі управління конфігурацією. Відмінності у способах завдання конфігурації позначаються при розв'язанні питань реалізації систем управління об'єктами системи, через керуючі сили, що створюються у системах управління шляхом співставлення дійсних та бажаних характеристик руху, які для різних програм відмінні. Іншими словами, кожний спосіб завдання конфігурації передбачає свою систему

$$m\ddot{x} = A \quad (7)$$

де  $F = m\ddot{x}(t, x_0(t, x, \dot{x}), \dot{x}_0(t, x, \dot{x})) = F(t, x, \dot{x})$ .

Одержано відповідь на питання, як забезпечити рух (2). Перейдемо до опису забезпечення потрібного закону зміни сили, що діє на тіло СМС, з урахуванням як можливостей кожного з тіл системи, так і специфіки системи як одного цілого.

У СМС з великою кількістю елементів схеми зав'язків можуть бути самими різноманітними, наприклад, може бути декілька ведучих та декілька ведених (декілька пілотованих літаків та декілька безпілотних літальних апаратів, що управляються з борту цих пілотованих літаків). Найвні зв'язки дозволяють запрограмувати рух СМС у відмінній від (1) формі. Для ведучих (пілотованих літаків зі складу спільної авіаційної групи) – програма руху задається у вигляді

$$\Psi_l = (x_{lj}, t) = 0, \quad \text{при } l = 1, 2, \dots, m; \quad l < n; \quad j = \overline{1, N}; \quad (8)$$

де  $m$  – кількість ведених у системі.

Рівняння (8) повинно бути розв'язане відносно  $x_{lj}$ . Для ведених (безпілотних літаків у складі спільної авіаційної групи) – задається відносна конфігурація. Наприклад, для СМС, до складу якої входять три підсистеми (спільні авіаційні групи) по чотири елементи в кожній, програма руху може бути задана наступним чином

отримання та переробки інформації, свої специфічні закони управління.

Усі попередні міркування спрямовані на те, що задача управління конфігурацією СМС не може бути зведена до класичних задач механіки. Її інформаційні аспекти найчастіше мають визначне значення та у деяких випадках можуть розглядатися автономно. Разом з тим, дослідження механіки системи твердих тіл є базою для вирішення задач управління. Органічне поєднання методів теорії механіки з методами теорії управління можуть надати конструктивні результати.

Опишемо порядок розв'язання задачі управління конфігурацією СМС. Сукупність значень узагальнених координат  $(q_1, \dots, q_N)$ , яка єдина визначає положення тіл складної механічної

системи у просторі у даний момент часу, описує конфігурацію системи.

Припустимо, що кожне з тіл системи має автономну систему управління. Нехай механічна система з  $L$  ступенями свободи рухається під управлінням у відповідності до диференціальних рівнянь

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i + \sum_{j=1}^m S_{ij} U_j. \quad (10)$$

Застосовуючи загальноприйняті у механіці визначення для матриць коефіцієнтів у визначенні кінетичної енергії матеріальної системи [5]

$$T = \frac{1}{2} \sum_{v=1}^L \sum_{p=1}^L A_{vp} \dot{q}_v \dot{q}_p + \sum_{v=1}^L B_v \dot{q}_v + T_0,$$

тобто, позначення через  $A$  квадратну матрицю розмірності  $L$  у квадратичній формі узагальнених швидкостей  $\dot{q}_i$  систему (10) можна представити у вигляді

$$A\ddot{q} = \text{grad } W + R + SU, \quad (11)$$

де  $W$  – деяка функція змінних  $t, q_1, \dots, q_L$ ;  $q_1, \dots, q_L$  у виразі для узагальненої сили  $Q_i = \frac{\partial W}{\partial q_i} + R_i$ ;  $q = (q_1, \dots, q_L)$ ;

$$\left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}} \right\} A^{-1} \text{grad } W + \left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}} \right\} A^{-1} R + \left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}} \right\} \dot{q} + \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial \Theta}{\partial \dot{q}} \right\} A^{-1} S U = 0. \quad (16)$$

Якщо тепер винайти управління, що задовольняє (16), то у процесі руху СМС рівняння (10) буде забезпеченим. Шуканий вектор управління позначимо через  $U^*$ .

Уведемо у розгляд функцію  $\Psi$ , яка характеризує зміни узагальнених координат та їх швидкостей, а також їх взаємні поєднання, та дорівнює 0 при умові збереження заданої конфігурації ( $\Theta = 0, \Theta^* = 0$ )

$$\Psi = \Psi(t, q, \dot{q}, \Theta, \Theta^*) = 0.$$

Наведено, що існує управління  $U$ , при якому СМС буде зберігати задану конфігурацію при умові, коли  $\eta, \Psi = 0$ .

При русі системи (10) початкова конфігурація задовольняє співвідношення  $\Theta(t_0, q_0) = 0$ , та буде зберігатися множина конфігурацій (12). При цьому слід пам'ятати про умови, що покладаються на узагальнені швидкості складної механічної системи необхідністю задовольняти рівнянням (15).

Отже, обґрунтованим буде припущення щодо необхідності реалізації ієрархічної структури управління складною механічною системою з

$R$  – сукупність таких гіроскопічних сил, що  $(\dot{q}^T, R) = 0$ ;

$S$  – матриця розмірності  $l \times m$ ;  $U = (u_1, u_2, \dots, u_m)$  – вектор управління.

Необхідно винайти закони управління, що забезпечують збереження конфігурації системи у процесі її руху, тобто

$$\vartheta_j(t, q_1, \dots, q_L) = 0, j = 1, \dots, n. \quad (12)$$

Якщо визначена задача вирішується, то у результаті диференціювання (12) одержимо

$$\frac{\partial \vartheta_j}{\partial t} + \frac{\partial \vartheta_j}{\partial q_i} \dot{q}_i = 0, \quad \begin{matrix} j=1, \dots, n; \\ i=1, \dots, L. \end{matrix} \quad (13)$$

Переходимо до векторного запису, одержимо

$$\Theta(t, q) = 0; \quad (14)$$

$$\Theta^*(t, q, \dot{q}) = 0 \quad (15)$$

Диференціюємо (15) з урахуванням (11), одержимо

визначенням контурів управління узагальненими координатами (положеннями), швидкістю та прискоренням (першими та другими похідними).

Значний інтерес представляють питання управління системами, що складаються з елементів, які володіють певним ступенем автономності та поєднаних у єдину систему посередництвом внутрішньосистемних зв'язків. Зазвичай ці елементи представляють автономні, рухомі з власними системами управління, що реалізують необхідну стратегію управління, яка поєднує локальні (підсистеми) та глобальні (загальносистемні) цілі.

Один з варіантів (способів) управління такими системами полягає у тому, що в системі виокремлюються базові та супідрядні елементи. Базовими вважаються елементи, рух яких не залежить від руху решти елементів системи; базовий елемент може бути як керованим, так і некерованим. Супідрядними вважаються елементи, рух яких залежить хоча б від одного з елементів системи.

Дослідимо наведену задачу управління з точки зору класичної механіки, спираючись на запис руху у вигляді рівнянь Лагранжу 2-го роду для базової та супідрядної систем

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_{2q}}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T_{2q}}{\partial q_j} + \frac{d}{dt} \frac{\partial T_{1qs}}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T_{1qs}}{\partial q_j} + \frac{d}{dt} \frac{\partial T_{1q}}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T_{1q}}{\partial q_j} - \frac{\partial (T_{2s} + T_{1s} + T_0)}{\partial q_j} = Q_j, \quad j = \overline{1, K}, \quad (17)$$

де  $Q$  – узагальнені сили, що віднесені до координат  $q_1, \dots, q_k$ ;

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T_{2s}}{\partial \dot{s}_l} - \frac{\partial T_{2s}}{\partial s_l} + \frac{d}{dt} \frac{\partial T_{1qs}}{\partial \dot{s}_l} - \frac{\partial T_{1qs}}{\partial s_l} + \frac{d}{dt} \frac{\partial T_{1s}}{\partial \dot{s}_l} - \frac{\partial T_{1s}}{\partial s_l} - \frac{\partial (T_{2s} + T_{1s} + T_0)}{\partial s_l} = U_l, \quad l = \overline{1, m}, \quad (18)$$

де  $U$  – вектор управління узагальненими силами віднесених до координат  $s_1, \dots, s_m$ .

Розв'язання систем рівнянь (17) і (18) дає відповідь щодо можливості реалізації заданого програмного руху. Якщо є можливість реалізувати вказаний рух, то управлінські впливи  $u_1, \dots, u_m$  вимагається вибирати за умов стійкості процесів управління, із забезпеченням їх оптимальності.

У законах руху кожного з елементів відображена мета функціонування СМС. Локальні рухи визначаються з аналізу руху системи як одного цілого. Тобто, задачі руху СМС декомпонуються залежно від руху елементів, які визначаються з загального математичного опису системи. Тому, якщо задані співвідношення

$$q_i = \varphi_i(t), \quad i = \overline{1, k}, \quad (19)$$

де  $\varphi_1(t), \dots, \varphi_k(t)$  – дійсні, двічі безперервно диференційовані функції, задані при  $t \in [t_0, t_1]$ , будемо вважати закон зміни конфігурації у часі. Причому точне дотримання законів (19) обумовлює збереження заданої відносної конфігурації.

Матеріальну систему будемо називати керованою, якщо існує керований вплив, що забезпечує приведення системи до заданої конфігурації та її збереження. Підставивши вираз для кінетичної енергії

$$T = \frac{1}{2} (\dot{q}^T A_0 \dot{q} + \dot{q}^T B_0 \dot{s} + \dot{s}^T C_0 \dot{s} + \dot{s}^T B_0^T \dot{q}) + A_1 \dot{q} + C_1 \dot{s} + T_0, \quad (20)$$

де  $\dot{q}, \dot{s}$  – вектори похідних координат  $\dot{q} = (\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_k)$ ,  $\dot{s} = (\dot{s}_1, \dot{s}_2, \dots, \dot{s}_m)$ ;

$A_0$  – квадратна матриця розміру  $K \times K$ ;

у рівнянні Лагранжу, одержимо диференційні рівняння руху базової (пілотованих літаків) та руху супідрядної (безпілотної літальних апаратів) систем

$$A_0 \ddot{q} + B_0 \ddot{s} = Q - N; \quad (21)$$

$$C_0 \ddot{s} + B_0^T \ddot{q} = U - M. \quad (22)$$

Вектори  $N$  та  $M$  відображають взаємозв'язок між базовою (пілотованими літаками) та супідрядною (безпілотною літальними апаратами) системами. Враховуючі залежність (19), маємо можливість виключити з системи (21) величини  $\dot{q}_1, \dots, \dot{q}_k$ . Одержана система має рішення

$$S_1 = S_1(t), \quad l = \overline{1, m}. \quad (23)$$

При відомих залежностях (19) та (23) з рівняння (22) знайдемо єдину систему функції

$$U_1 = U_1(t). \quad (24)$$

Системи (21), (22) при початкових умовах

$$q_{i0} = \varphi_i(t_0), \quad \dot{q}_{i0} = \dot{\varphi}_i(t_0), \quad s_{l0} = s_l(t_0), \quad \dot{s}_{l0} = \dot{s}_l(t_0)$$

та управлінні (24) має єдине рішення. З доказу зрозуміло, що це рішення має співпадати з (19).

Розглянемо рівняння руху великої технічної системи (спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації), як складної механічної системи. Коли йдеться щодо сумісного руху декількох твердих тіл (пілотованих та безпілотної літаків), слід вважати, як це відмічено у 1, що ці тіла (літальні апарати) утворюють велику технічну систему (спільну авіаційну групу), що розташована на декількох об'єктах. Особливості функціонування систем визначаються принципами поєднання елементів в систему, тобто сукупністю заданих умов та обмежень, що накладаються на положення та рух елементів системи. Ці умови та обмеження прийнято називати зв'язками [6]. До зв'язків необхідно віднести також і взаємодію між елементами системи.

В механіці зв'язки аналітично описуються рівняннями, що відображають залежність між координатами елементів системи, їх швидкостями і часом та об'єднуються у дві великі групи: утримуючі та неутримуючі. Аналітично ці групи описуються рівняннями

$$f_j = (x_1, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n, t) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, N. \quad (25)$$

$$f_j = (x_1, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dots, \dot{x}_n, t) \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, N.. \quad (26)$$

Умовами стаціонарності зв'язків є

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = 0, \quad j=1,2,\dots,N.$$

Залежно від того чи є вирази (25) та (26) кінцевими співвідношеннями або диференціальними рівняннями, зв'язки поділяються на кінцеві (геометричні) та диференціальні (кінематичні). Диференціальні зв'язки накладають явні обмеження на координати та швидкості, та опосередковані – на прискорення. Кінцеві та диференціальні інтегровані зв'язки, що можна описати кінцевими виразами, що містять константи інтегрування, називаються голономними, а неінтегруємі зв'язки – неголономними.

Зв'язки, що накладаються на тіла (літальні апарати) системи, обмежують свободу руху цих тіл (ЛА), відхиляючи їх рух від того, який вони мали б під дією тих же сил, перебуваючи вільними від зв'язків. Тому, цілком обґрунтовано вважати, що результат дії зв'язків такий же, що і результат дії інших сил. Відповідно до аксіоми зв'язків [7], їх дію можна замінити силами реакції зв'язків.

Реакції зв'язків за сутністю відрізняються від інших діючих на систему (спільну авіаційну групу) сил. Ця відмінність полягає у тому, що реакція зв'язку визначається не самим зв'язком, а ще залежить від інших сил, що діють на систему (спільну авіаційну групу), та від руху системи тіл (літальних апаратів).

Окремо розглянемо характеристики сил, що діють на кожне з тіл (літальний апарат) системи (спільної авіаційної групи). Їх доцільно об'єднати у дві групи: внутрішньосистемні та несистемні [6]. До внутрішньосистемних віднесемо сили взаємодії елементів системи (ЛА САГ) та реакції зв'язків і позначимо їх  $F_{ji}$ . До несистемних віднесемо решту сил та позначимо їх  $F_i$ .

Тоді для поступового руху тіла (ЛА) можна записати

$$m_i \ddot{x}_i = \sum_{j=1}^n F_{ji} + F_i, \quad (27)$$

де  $F_{ji}$  – сила, з якою  $j$ -те тіло ( $j$ -й ЛА) діє на  $i$ -те тіло ( $i$ -й ЛА) системи (спільної авіаційної групи) ( $F_{ii}=0$ ).

В класичній механіці [6,7] зазвичай передбачається, що сили підпорядковуються третьому закону Ньютона, тобто закону щодо рівності сил дії та протидії, згідно якого сили взаємодії двох тіл дорівнюють за величиною, протилежні за напрямком та діють вздовж прямої, що їх з'єднує.

При цьому припущенні для системи з  $n$  матеріальних тіл справедливе співвідношення

$$m_i \ddot{x}_i = F_i + \sum_{j=1}^n F_{ji}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,n, \quad i \neq j. \quad (28)$$

Перший член у правій частині рівняння (28) визначає головний вектор зовнішніх сил, лінія дії яких проходить через центр маси тіл, а другий член обертається у 0, через закон рівності сил дії та протидії кожна сума  $F_{ji} + F_{ij} = 0$ .

Але у багатьох завданнях вказані припущення несправедливі, тому рух слід описувати виразом (28), конкретизуючи спосіб представлення другої суми правої частини. Фізичною основою є внутрішньосистемні зв'язки між її елементами (тілами).

Математичні вирази неголономних зв'язків не можуть бути використані для виключення залежних координат. Тому, для задачі з такого роду зв'язками, загального методу розв'язання не існує. Щоб подолати труднощі пов'язані з відсутністю інформації щодо обумовлених зв'язками сил, слід визначити задачу таким чином, щоб реакції зв'язків у ній не фігурували. При цьому, справу будемо мати лише з відомими нам силами. Необхідно діяти методично подібно до випадку розгляду твердого тіла у вигляді системи точок, відстані між якими незмінні. Реакціями зв'язків тут слугують внутрішні сили, робота яких дорівнює 0. Розглянемо випадок поступового руху  $n$  твердих тіл, надавши їм номери 1, 2, ...,  $n$ . Координати центрів мас відносно деякої нерухомої прямокутної системи позначимо через  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , де  $N = 3n$ . Тоді центр мас тіла з номером  $i$  буде мати координати  $x_{3i-2}, x_{3i-1}, x_{3i}$ .

Припустимо, на систему накладено  $K$  зв'язків, що описуються рівняннями

$$\sum_{s=1}^N A_{is} dx_s + A_i dt = 0, \quad i=1,2,\dots,k < N. \quad (29)$$

Коефіцієнти  $A_{is}, A_i$  – функції, що мають першу похідну та безперервну у області значень  $x_1, x_2, \dots, x_N; t$ . Рівняння (29) передбачаються незалежними, а їх число – найменшим. Це означає, що ранг матриці з коефіцієнтів дорівнює  $K$ . У рівняннях

$$\sum_{s=1}^N A_{is} \dot{x}_s + A_i = 0, \quad i=1,2,\dots,k. \quad (30)$$

можна задати  $N - k$  значень  $\dot{x}_i$ ; решта  $K$  значень  $\dot{x}$  визначаються з рівнянь. Значення різності  $N - k$  визначає число ступенів свободи системи.

Найбільш часто в класичних задачах зустрічається випадок, коли система рівнянь (30) цілком інтегрована, тобто може бути представлена  $K$  рівняннями виду  $df_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$ , де  $f_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_N; t)$ . Такі системи називаються голономними, а рівняння зв'язку можуть бути записані у вигляді

$$f_i = C_i. \quad (31)$$

У подальшому будемо оперувати рівняннями зв'язку у формі (31), причому константи  $C_i$  мають

задані значення. Математично рівняння зв'язку для незмінних відстаней між центрами мас  $i$ -го і  $j$ -го тіла системи запишеться у вигляді

$$(x_{3j-2}-x_{3i-2})^2+(x_{3j-1}-x_{3i-1})^2+(x_{3j}-x_{3i})^2=C_{ji}$$

Уведемо реакції зв'язків  $F_{ji1}, F_{ji2}, \dots, F_{jiN}$ , сумарна робота яких на будь-якому віртуальному переміщенні системи дорівнює 0. Віртуальне переміщення визначається як будь-яке переміщення  $\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_N$ , що задовольняє рівнянням

$$\sum_{s=1}^N A_{is} \delta x_s = 0, \quad i=1, 2, \dots, k. \quad (32)$$

Як слідство

$$\sum_{s=1}^N F_{jis} \delta x_s = 0. \quad (33)$$

для будь-якого  $(\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_N)$ , що задовольняє (32). Реакції зв'язку отримуються такими, що рух під дією сукупної системи сил задовольняє рівнянням (32).

Записані рівняння дозволяють виразити величини  $F_{ji1}, F_{ji2}, \dots, F_{jiN}$ , за допомогою  $K$  множників  $\lambda_i$

$$F_{ji} = \sum_{i=1}^K \lambda_i A_{is}, \quad s=1, 2, \dots, N. \quad (34)$$

Рівняння руху (28) приймають вид

$$m_s \ddot{x}_s = F_s + \sum_{i=1}^K \lambda_i A_{is}, \quad s=1, 2, \dots, N, \quad (35)$$

які необхідно розглядати у сукупності з  $K$  рівняннями зв'язку

$$\sum_{s=1}^N A_{is} \dot{x}_s + A_i = 0, \quad i=1, 2, \dots, k.$$

Однак слід мати на увазі, що реальні складні системи мають різномірні зв'язки як за природою, так і за способами реалізації. Одержано систему з  $N+k$  рівнянь (27) та (30), що визначає  $N+k$  змінних  $x_1, x_2, \dots, x_N; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$  як функції від  $t$ . Таким чином, є можливість визначення руху кожного з тіл системи у деякому інтервалі часу, що містить  $t=0$ , якщо відомі значення змінних  $x$  та  $\dot{x}$  при  $t=0$ .

Задача розв'язання рівнянь руху складних механічних систем нетривіальна та вимагає відомої винахідливості, що спирається на коректну математичну ідеалізацію зв'язків у відповідності з дійсною фізичною картиною.

Значивши кількість зв'язків у системі та способи з'єднання тіл, тим самим визначаємо структуру системи. Питання формалізації даного опису структури (САГ) вимагають самостійного дослідження [8-9]. У даному дослідженні розглянемо тільки ті зміни у рівняннях динаміки, які обумовлені принципами об'єднання елементів (пілотованих та безпілотових ЛА) в систему (спільну авіаційну групу). Якщо структуру системи представити у вигляді  $n \times n$  матриці  $S$  з елементами  $S_{ij}$ , то рівняння руху системи  $n$  твердих тіл будуть мати вигляд

$$m_i \ddot{r}_i = F_i + \sum_{j=1}^n S_{ij} F_j, \quad (36)$$

$$\dot{G}_i = M_i + \sum_{j=1}^n S_{ij} (Q_{ij} \times F_j + L_j), \quad i=1, 2, \dots, n,$$

де  $r_i$  – радіус-вектор центру мас тіла у інерційній системі координат;

$\sum_{j=1}^n S_{ij} F_j$  – головний вектор внутрішньосистемних сил;

$Q_{ij}$  – радіус-вектор точок прикладення внутрішньосистемних сил відносно центру мас  $i$ -го тіла (ЛА);

$M_i$  – головний момент зовнішніх сил;

$G_i$  – момент кількості руху  $i$ -го тіла (ЛА) відносно центру мас.

Одержані рівняння руху (спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації) складні навіть для відносно простих систем. Їх складність значно зростає зі збільшенням числа тіл (ЛА), що входять до складу системи (САГ) [10].

### Висновки

Безумовно, система запису (36) не є єдиною, можливо запропонувати інші форми представлення рівнянь механічних систем [2,7]. Уведення у (36) оператора  $S_{ij}$ , на відміну від (28), принципово змінює характер задачі, привносить у опис руху інформаційну складову [10]. Таким чином, задача управління системою тіл (спільною авіаційною групою пілотованої та безпілотної авіації) не може бути зведена до класичних задач механіки та її інформаційні аспекти найчастіше мають визначне значення. Вказаним аспектам, вочевидь, можна надати досить змістовне тлумачення з позицій загальної теорії систем, що є напрямом подальших досліджень.

### Список використаних джерел

1. Парс А.А. Аналитическая динамика. – М.: Наука, 1971. – 635 с.
2. Раус Э. Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. в 2-х томах. Том 1/ Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г.Дёмина. – М.: Наука.

Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 464 с.

3. Корнев В.Г. Цель и приспособляемость движения. – М.: Наука, 1974. – 528 с.

4. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. М.: Наука, 1974. – 431 с.

5. Бурков В.Н. Основы математической теории активных систем. – М.: Наука, 1977. – 250 с.

6. Голдстейн Г. Классическая механика. – М.: Наука, 1975. – 415 с.

7. Иванов В.А., Ситарский Ю.С. Динамика полета системы гибко связанных космических объектов. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

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

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

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

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

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

**Шкурат Богдан Жоржович**

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

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

### **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ НАЗЕМНИХ ТА ПОВІТРЯНИХ ВОГНЕВИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС ПРОТИДІЇ ЗАГРОЗАМ З ПОВІТРЯ**

*В статті запропоновано математичну модель, яка враховує факторів ризику між угрупованнями наземних та повітряних вогневих засобів вплив на сукупний результат протидії загрозам з повітря, в основу якої покладено використання векторного простору. Описана модель в подальшому може бути реалізована в алгоритмах, що закладені в системах імітаційного моделювання бойових дій. Через те, що в сучасних системах імітаційного моделювання бойових дій не враховується залежність кінцевого результату від способів взаємодії сил і засобів родів військ в угрупованні, виникає необхідність створення математичної моделі, яка би враховувала вплив спільних дій взаємодіючих сил та засобів на ефективність бойових дій в умовах загальної невизначеності ситуації. Тому метою статті є опис удосконаленої математичної моделі взаємодії між військовими частинами (підрозділами) наземних та повітряних вогневих засобів під час виконання завдань протиповітряної оборони для подальшого її використання в сучасних та перспективних системах імітаційного моделювання бойових дій Збройних Сил. В залежності від потрібної точності результатів, наявних обчислювальних потужностей систем імітаційного моделювання, розглянута модель може враховувати велику кількість факторів, або навпаки, може бути спрощена для отримання більш швидкого прогнозу результатів спільних дій наземних та повітряних вогневих засобів під час протидії загрозам з повітря.*

***Ключові слова:** взаємодія, протидія загрозам з повітря, моделювання бойових дій*

#### **Вступ**

Під час планування бойових дій угруповань військ (сил), зазвичай приділяють досить велику увагу розробці різних варіантів способів ведення бойових дій з метою подальшого вибору найкращого (або оптимального) з них за тим або іншим критерієм. При цьому, питання організації взаємодії зазвичай визначаються після затвердження загального замислу бойових дій (операції), не зважаючи на те, що ефективність здійснення взаємодії між родами військ може вагомо вплинути на загальний кінцевий результат [1]. Тому питання взаємодії мають бути включені та розіграні ще під час вироблення замислу бойових дій (операції).

Методики оцінювання ефективності взаємодії між видами (родами) військ, в тому числі під час організації протиповітряної оборони, описані ще 80-х–90-х роках минулого століття [1,4]. Вони

дозволяють якісно оцінити ефективність здійснення самої взаємодії, але мають ряд недоліків:

- не враховують впливу взаємодії на сукупний результат бойових дій;

- не враховано особливостей сучасних бойових дій, таких як появлення нових форм та способів застосування військ, широке поширення застосування безпілотних засобів повітряного нападу, високоточної зброї, зброї на нових фізичних принципах та ін;

- не повністю висвітлено вплив багаточисельних факторів як на ефективність бойових дій в цілому, так, зокрема, і на ефективність взаємодії;

- не враховуються загальні тенденції ускладнення обстановки, в тому числі повітряної та перешкодової, розширення сфери бойових дій на інші простори (космічний, інформаційний тощо).

#### **Методи**



Оскільки взаємодія відбувається не тільки в фізичному просторі та часі, але і в інформаційному просторі [2], а кожен з факторів, що виражений у вигляді певного показника, має залежність від багатьох змінних, то виникає необхідність при математичній формалізації взаємодії застосовувати функції декількох змінних, а саме вектор-функції в векторному просторі.

Враховуючи те, що кожен з показників може приймати не тільки безперервні, але й дискретні значення, в якості інструменту для математичної моделі доцільно використовувати теорію множин [3].

Виходячи з вище наведеного, удосконалення математичної моделі взаємодії з використанням зазначеного інструментарію дозволить в подальшому формалізувати взаємодію між родами військ в різних угрупованнях. Отже, метою роботи є удосконалення математичної моделі взаємодії військ на прикладі спільних дій наземних та повітряних вогневих засобів (НВЗ та ПВЗ відповідно) під час протидії загрозам з повітря для подальшої її реалізації в алгоритмах, що закладені в системах імітаційного моделювання бойових дій.

Інтереси об'єктів взаємодії визначаються прагненням до досягнення наступних основних результатів:

1) підвищення ефективності дій угруповань НВЗ та ПВЗ у бойових діях угруповання;

2) мінімізації ризику можливих втрат взаємодіючих угруповань в умовах невизначеності, в тому числі від так званого "дружнього вогню".

Найбільш важливі принципи для організації та здійснення взаємодії:

- максимізація власних цільових функцій, узгоджених із взаємодіючими силами та засобами, на основі раціонального вибору відповідних власних та спільних рішень;

- прагнення до раціонального компромісу дій і узгодженості внесків угруповань НВЗ та ПВЗ в кінцевий результат бойових дій;

- прагнення до пріоритетного вирішення завдань щодо досягнення мети угрупованням ППО в операції;

- розумне обмеження в діях при виконанні своїх завдань в умовах невизначеності ситуації або неповноти інформації про дії взаємодіючих військових частин (підрозділів);

- здійснення узгоджених дій в інтересах мінімізації ступеня і рівня ризику кожної військової частини і угруповання в цілому.

Одним з шляхів втілення цих принципів використання евристичних методів підтримки прийняття рішень командувачем, зокрема для вирішення таких завдань:

1) визначення рівня гранично допустимих втрат;

2) визначення рівня досягнення можливого граничного результату – максимально можливого (бажаного) і мінімально можливого (прийняттого) результатів прогнозованих ситуацій.

Тому при вирішенні завдання моделювання взаємодії угруповань НВЗ та ПВЗ для його спрощення доцільно прийняти ряд обмежень: кожна цільова

вектор-функція взаємодії обмежена зверху і знизу; існують ситуації, коли цільова вектор-функція взаємодіючих військових частин (підрозділів) та угруповань досягає за всіма компонентами максимального значення; і навпаки, існують ситуації, коли цільова вектор-функція досягає мінімального значення; зростання цільової вектор-функції угруповання ППО викликає

зменшення значення цільової вектор-функції повітряного противника; цільові вектор-функції взаємодії залишаються кінцевими і обмеженими за будь-яких природних та інших явищах; для позаштатних ситуацій, чисельні значення вектор-функцій взаємодії виходять за межі інтервалу штатних ситуацій і можуть (але не обов'язково) вийти за межі гранично допустимих втрат; для критичних ситуацій, вектор-функції взаємодії можуть втратити фізичний зміст і стають неприйнятними для опису процесів, що відбуваються.

Надалі приводиться математичний апарат формалізації та рішення задачі оптимізації цільових функцій військових частин (підрозділів) угруповань НВЗ та ПВЗ в умовах їх активної взаємодії.

### Результати

В загальному випадку угруповання ППО, можливо представити об'єднанням двох угруповань:

$$X_{\text{ППО}} = X_{\text{НВЗ}} \cup X_{\text{ПВЗ}}$$

де  $X_{\text{НВЗ}}$  – підмножина військових частин (підрозділів) НВЗ, які взаємодіють між собою, та виконують завдання (мають цілі) для досягнення спільної мети операції;

$X_{\text{ПВЗ}}$  – підмножина угруповань військових частин (підрозділів) ПВЗ, які взаємодіють між собою, та виконують завдання для досягнення спільної мети операції.

Угруповання НВЗ та ПВЗ взаємодіють між собою, завдання їх можуть відрізнятися, але не суперечать одне одному.

Кількісну характеристику цих підмножин представимо у вигляді об'єднання кінцевої кількості військових частин (підрозділів), що входять до їх складу:

$$\begin{aligned} X_{\text{НВЗ}} &= \bigcup_{n_{\text{НВЗ}}=1}^{K_{\text{НВЗ}}} X_{\text{НВЗ}n_{\text{НВЗ}}}; \\ X_{\text{ПВЗ}} &= \bigcup_{n_{\text{ПВЗ}}=1}^{K_{\text{ПВЗ}}} X_{\text{ПВЗ}n_{\text{ПВЗ}}}; \end{aligned} \quad (1)$$

де  $n_{\text{НВЗ}}$  та  $n_{\text{ВА}}$  – визначають місце військової частини (підрозділу) в угрупованні  $X_{\text{НВЗ}}$  та  $X_{\text{ВА}}$  відповідно, за певною ознакою, наприклад, за

кількістю вогневих засобів (цільових каналів).

де  $i_{\text{НВЗ(ПВЗ)}}$  – порядковий номер військової частини в угрупованні НВЗ (ПВЗ) відповідно, що визначається його вкладом в досягнення мети угруповання;

$n_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}}$ ,  $n_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}}$  – загальна кількість вогневих одиниць (цільових каналів)  $r_{\text{НВЗ}}$ ,  $r_{\text{ПВЗ}}$  військової частини угрупованні НВЗ та ПВЗ відповідно.

Якісний склад угруповань обумовлений багатьма чинниками. Серед них найважливішими є мета та завдання військових частин в угрупованні.

Вочевидь, можливості військових частин кожного угруповання розрізняються за багатьма показниками, зокрема, бойовими можливостями, а також матеріальним, кадровим та іншими ресурсами. Як наслідок, розрізняються розміри внесків військових частин у досягнення поставленого угрупованню завдання. Тому місце кожної військової частини в угрупованні доцільно впорядкувати за даним показником.

Склад військової частини кожного угруповання  $X_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}} \in X_{\text{НВЗ}}$  та  $X_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}} \in X_{\text{ПВЗ}}$ . Тоді множини  $Y_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}i_{\text{НВЗ}}}$  та  $Y_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}i_{\text{ПВЗ}}}$  вогневих одиниць (цільових каналів) військових частин кожного угруповання представимо в формі

$$\begin{aligned} X_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}} &= \langle Y_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}i_{\text{НВЗ}}} | i_{\text{НВЗ}} = \overline{1, n_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}}} \rangle, \\ X_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}} &= \langle Y_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}i_{\text{ПВЗ}}} | i_{\text{ПВЗ}} = \overline{1, n_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}}} \rangle \end{aligned} \quad (2)$$

Загальна кількість вогневих одиниць (цільових каналів)  $N_{0\text{НВЗ}}$  и  $N_{0\text{ПВЗ}}$  військових частин в угрупованнях  $X_{\text{НВЗ}}$  та  $X_{\text{ПВЗ}}$  визначаються відповідно сумою:

$$\begin{aligned} N_{0\text{НВЗ}} &= \sum_{r_{\text{НВЗ}}=1}^{R_{\text{НВЗ}}} n_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}}, \\ N_{0\text{ПВЗ}} &= \sum_{r_{\text{ПВЗ}}=1}^{R_{\text{ПВЗ}}} n_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}}. \end{aligned} \quad (3)$$

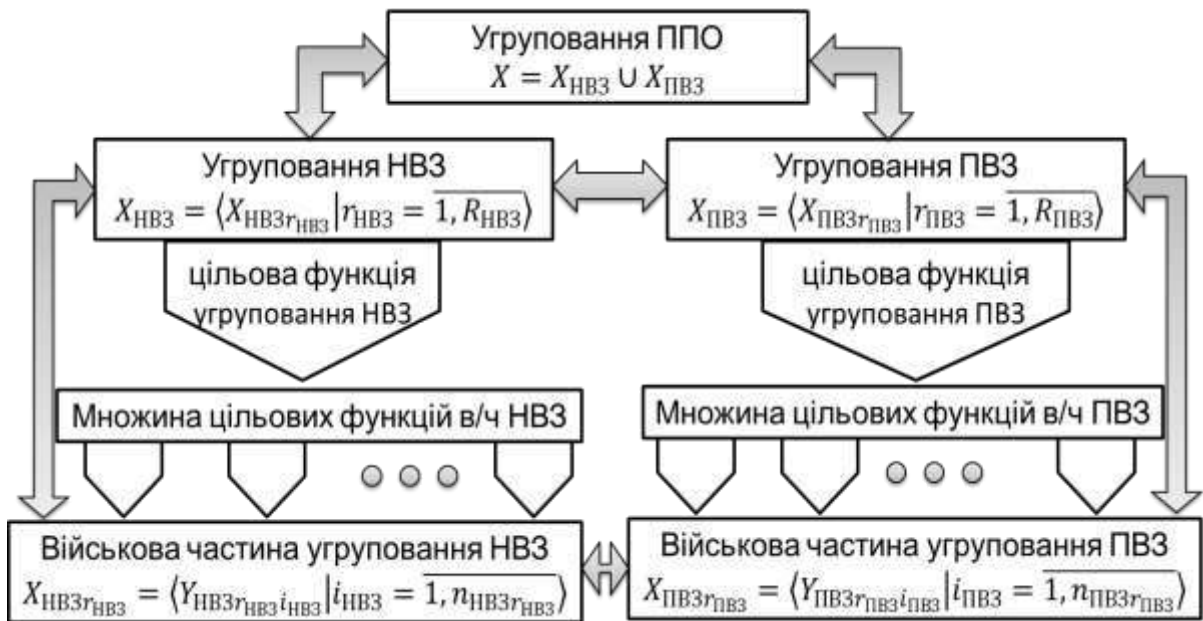


Рисунок 1. Блок-схема формалізації взаємодії НВЗ та ПВЗ в угрупованні ППО

Математичний опис завдань угруповань починається з формалізації завдань взаємодії військових частин. Кожна військова частина (підрозділ) має свою цільову вектор-функцію. Множина часткових цільових вектор-функцій усіх військових частин (підрозділів) угруповань НВЗ та ПВЗ описується у вигляді:

$$\begin{aligned} \overline{f_{\text{НВЗ}}} &= \{ \overline{f_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}}} | r_{\text{НВЗ}} = \overline{1, R_{\text{НВЗ}}} \}, \\ \overline{f_{\text{ПВЗ}}} &= \{ \overline{f_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}}} | r_{\text{ПВЗ}} = \overline{1, R_{\text{ПВЗ}}} \} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\overline{f_{\text{НВЗ}r_{\text{НВЗ}}}}$  ( $\overline{f_{\text{ПВЗ}r_{\text{ПВЗ}}}}$ ) – цільова вектор-функція  $r_{\text{НВЗ}}$  ( $r_{\text{ПВЗ}}$ )-ї військової частини (підрозділу) угруповання НВЗ (ПВЗ).

Аргумент цільової вектор-функції кожної військової частини (підрозділу) угруповань НВЗ (ПВЗ) визначається двома векторами: вектором часткових рішень військової частини (підрозділу) та вектором рішень угруповання, котрий є загальним для усіх військових частин (підрозділів) даного угруповання.

Вектор  $\bar{x}_{r_i}$  часткових рішень  $i_r$ -ї військової частини (підрозділу)  $r$ -го угруповання, значення котрого  $i_r$  військова частина (підрозділ) змінює самостійно, визначається у вигляді:

$$\begin{aligned} x_{\text{НВЗ}i_{\text{НВЗ}}} &= \left\{ x_{\text{НВЗ}i_{\text{НВЗ}}}^{(j)} \mid j = \overline{1, n_{\text{НВЗ}i_{\text{НВЗ}}}} \right\}; \\ x_{\text{ПВЗ}i_{\text{ПВЗ}}} &= \left\{ x_{\text{ПВЗ}i_{\text{ПВЗ}}}^{(j)} \mid j = \overline{1, n_{\text{ПВЗ}i_{\text{ПВЗ}}}} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

де  $j$  – порядковий номер компонента вектора часткових рішень  $i_r$ -ї військової частини (підрозділу) угруповань НВЗ та ПВЗ.

Вектор загальних рішень для угруповань НВЗ та ПВЗ визначається формулами:

$$\begin{aligned} \bar{X}_{\text{НВЗ}} &= \left\{ X_{\text{НВЗ}i_{\text{НВЗ}}} \mid i_{\text{НВЗ}} = \overline{1, \rho_{\text{НВЗ}}} \right\}; \\ \bar{X}_{\text{ПВЗ}} &= \left\{ X_{\text{ПВЗ}i_{\text{ПВЗ}}} \mid i_{\text{ПВЗ}} = \overline{1, \rho_{\text{ПВЗ}}} \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\bar{X}_{\text{НВЗ}}, \bar{X}_{\text{ПВЗ}}$  – вектор загальних рішень угруповань НВЗ, ПВЗ;  
 $X_{\text{НВЗ}i_{\text{НВЗ}}}, X_{\text{ПВЗ}i_{\text{ПВЗ}}}$  –  $i_{\text{НВЗ,ПВЗ}}$  компонента вектора загальних рішень;  
 $i_{\text{НВЗ,ПВЗ}}$  – порядковий номер компоненти вектора загальних рішень;  
 $\rho_{\text{НВЗ,ПВЗ}}$  – загальна кількість компонентів вектора загальних рішень.

Завдання  $i_r$ -ї військової частини (підрозділу)  $r$ -го угруповання визначається наступною вектор-функцією:

$$\bar{f}_{r_i}(\bar{x}_{r_i}, \bar{X}_r) = \left\{ f_{r_i, k_r}(\bar{x}_{r_i}, \bar{X}_r) \mid k_r = \overline{1, L_{r_i}} \right\}, \quad (7)$$

аргументами якої є вектор часткових стратегій та вектор загальних рішень угруповання.

Для  $i_1$ -ї військової частини (підрозділу) угруповання НВЗ ( $r=1$ ) маємо:

$$\bar{f}_{1i_1}(\bar{x}_{1i_1}, \bar{X}_1) = \left\{ f_{1i_1, k_1}(\bar{x}_{1i_1}, \bar{X}_1) \mid k_1 = \overline{1, L_{1i_1}} \right\}$$

Аналогічно, для  $i_2$ -ї військової частини (підрозділу) угруповання ПВЗ ( $r=2$ ):

$$\bar{f}_{2i_2}(\bar{x}_{2i_2}, \bar{X}_2) = \left\{ f_{2i_2, k_2}(\bar{x}_{2i_2}, \bar{X}_2) \mid k_2 = \overline{1, L_{2i_2}} \right\}$$

Кожне угруповання формує **загальну вектор-функцію завдань взаємодії** військових частин (підрозділів) як партнерів [5,6]. Для  $r$ -го угруповання вектор-функція завдань взаємодії військових частин (підрозділів) записується у вигляді:

$$\bar{F}_r = \left\{ F_{r\gamma_r}(\bar{\varphi}_r, \bar{f}_r) \mid \gamma_r = \overline{1, \Gamma_r} \right\}, \quad (8)$$

де  $F_{r\gamma_r}$  –  $\gamma_r$ -я компонента вектор-функції завдань взаємодіючих військових частин  $r$ -го угруповання;

$\Gamma_r$  – загальна кількість компонентів вектор-функції  $\bar{F}_r$ ;

$\bar{\varphi}_r$  – вектор-функція загальних завдань  $r$ -го угруповання;

$\bar{f}_r$  – вектор-функція часткових завдань військових частин (підрозділів)  $r$ -го угруповання, визначається співвідношенням (4).

Для угруповання НВЗ та ПВЗ ( $r=1;2$ ) вектор-функцію завдань взаємодії військових частин (підрозділів) відповідно з (8) можливо визначити в наступній формі:

$$\begin{aligned} \bar{F}_1 &= \left\{ F_{1\gamma_1}(\bar{\varphi}_1, \bar{f}_1) \mid \gamma_1 = \overline{1, \Gamma_1} \right\}, \\ \bar{F}_2 &= \left\{ F_{2\gamma_2}(\bar{\varphi}_2, \bar{f}_2) \mid \gamma_2 = \overline{1, \Gamma_2} \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

**Вектор-функція загальної мети** кожного угруповання залежить як від загальних рішень угруповань, так і від часткових рішень усіх військових частин (підрозділів) угруповання [7,8]. Для  $r$ -го угруповання вона розраховується:

$$\bar{\varphi}_r(\bar{x}_r, \bar{X}_r) = \left\{ \varphi_{r s_r}(\bar{x}_r, \bar{X}_r) \mid s_r = \overline{1, S_{0r}} \right\}, \quad (10)$$

де  $\bar{x}_r$  – вектор часткових рішень усіх військових частин (підрозділів)  $r$ -го угруповання, який визначається:

$$\bar{x}_r = \left\{ \bar{x}_{r_i} \mid i_r = \overline{1, m_r} \right\}. \quad (11)$$

Для угруповань НВЗ та ПВЗ ( $r=1;2$ ) вектор-функції загальних завдань визначаються у вигляді:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}_1(\bar{x}_1, \bar{X}_1) &= \left\{ \varphi_{1s_1}(\bar{x}_1, \bar{X}_1) \mid s_1 = \overline{1, S_{01}} \right\}; \\ \bar{\varphi}_2(\bar{x}_2, \bar{X}_2) &= \left\{ \varphi_{2s_2}(\bar{x}_2, \bar{X}_2) \mid s_2 = \overline{1, S_{02}} \right\}. \end{aligned}$$

де  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  – вектор часткових рішень для усіх військових частин (підрозділів) для угруповань НВЗ та ПВЗ відповідно;

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  – вектори загальних рішень угруповань НВЗ та ПВЗ відповідно.

**Вектор-функції загальної мети угруповання ППО** формуються за аналогією з співвідношенням (10) і мають вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{\Phi}_{X_1}^0 &= \left\{ \Phi_{s_{X_1}}^0(\bar{X}, \bar{E}) \mid s_{X_1} = \overline{1, S_{0X_1}} \right\}, \\ \bar{\Phi}_{X_1}^\alpha &= \left\{ \Phi_{s_{X_1}}^\alpha(\bar{X}, \bar{E}, \bar{A}) \mid s_{X_1} = \overline{1, S_{0X_1}} \right\}. \end{aligned}$$

Тут вектор  $\bar{X}$  твизначає всі власні рішення учасників угруповання ППО:

$$\bar{X} = \left\{ \bar{X}_{X_{jk}} \mid k = \overline{1, p_2}, j = \overline{1, p_1} \right\}, \quad (12)$$

де  $\bar{X}_{X_{ijk}}$  – вектор власних рішень  $k$ -ї військової частини (підрозділу)  $X_{ijk}$ -го угруповання.

$\tilde{\eta}_{1L_1}, \tilde{\eta}_{2L_2}$  – імовірність появи  $L_1$  та  $L_2$  прогнозованих ситуацій відповідно з множин  $S_{01}$  та  $S_{02}$ .

Вектор  $\bar{\Xi}$  є вектором спільних рішень угруповання ППО і описується у вигляді:

$$\bar{\Xi} = \{\bar{\Xi}_{l_0} | l_0 = \overline{1, N_0}\}, \quad (13)$$

де  $\bar{\Xi}_{l_0}$  –  $l_0$ -я компонента спільних рішень угруповання ППО, узгоджено прийнята всіма учасниками.

Вектор  $\bar{A}$  визначає вплив факторів невизначеності ситуацій на діяльність угруповання ППО і формується у вигляді: [8,9]

$$\bar{A} = \{\bar{\alpha}_{X_{ijk}} | k = \overline{1, p_2}, j = \overline{1, p_1}\}, \quad (14)$$

де  $\bar{\alpha}_{X_{ijk}}$  – характеризує кількісний вплив  $k$ -го фактора невизначеності ситуації на діяльність  $X_{ijk}$  угруповання.

Для **формалізації факторів ризику** будемо вважати, що природа ризику обумовлена дією наступних груп факторів:

- 1) факторами ризику непрогнозованих ситуацій при протидії угруповань;
- 2) факторами форс-мажорного ризику;
- 3) факторами інформаційного ризику, обумовленого неточністю, неповнотою і недостовірністю вихідної інформації про наміри і завдання протидійоючої сторони.

**Перша група факторів ризику:** з урахуванням певного порогу імовірності появи найбільш характерної ситуації і виключення з розгляду всіх інших, імовірна поява яких нижче встановленого рівня порога, множини можна представити у вигляді:

$$S_{01} = \left\{ S_{1L_1} \Rightarrow \left\langle \eta_{1L_1}, \bar{\alpha}_{1L_1} \right\rangle \left| \begin{array}{l} \eta_{1L_1} \geq \eta_{01}, \\ L_1 = \overline{1, L_{01}} \end{array} \right. \right\}, \quad (15)$$

$$S_{02} = \left\{ S_{2L_2} \Rightarrow \left\langle \eta_{2L_2}, \bar{\alpha}_{2L_2} \right\rangle \left| \begin{array}{l} \eta_{2L_2} \geq \eta_{02}, \\ L_2 = \overline{1, L_{02}} \end{array} \right. \right\}.$$

де  $\eta_{01}, \eta_{02}$  – порогові значення ймовірностей, що задаються відповідно угрупованнями 1 і 2:

$$\eta_{1ps} = 1 - \prod_{L_1=1}^{L_{1ps}} (1 - \tilde{\eta}_{1L_1}), \quad (16)$$

$$\eta_{2ps} = 1 - \prod_{L_2=1}^{L_{2ps}} (1 - \tilde{\eta}_{2L_2}),$$

де  $L_{1ps}, L_{2ps}$  – число прогнозованих ситуацій відповідно в  $S_{01}$  і  $S_{02}$ ;

У цьому випадку імовірність  $\eta_{1ns}$  та  $\eta_{2ns}$  непрогнозованих ситуацій з  $S_{01}$  та  $S_{02}$  визначаються співвідношенням:

$$\eta_{1ns} = 1 - \eta_{1ps}, \quad (17)$$

$$\eta_{2ns} = 1 - \eta_{2ps}.$$

**Друга група факторів ризику:** ступінь ризику факторів непереборної сили характеризується ймовірністю появи цих подій, яку позначимо  $\eta_{fm}$ .

**Третя група факторів ризику:** обумовлена неповнотою, неточністю, недостовірністю інформації про завдання та дії угруповання противника. Даний вид ризику обумовлений також недостатністю інформованості кожної протиборчої сторони про завдання та дії іншого угруповання.

Якісна відмінність визначається різницею структури вектор-функцій  $\bar{F}_2(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01})$  та  $\tilde{F}_2^{(1)}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02})$ , а саме розходженням виду та кількості компонентів цих функцій, а також виду та кількості компонентів  $\bar{\phi}_2$  та  $\tilde{\phi}_2, \tilde{f}_2$  та  $\tilde{f}_2$ . Тобто в умові  $n_{2i_2} \neq n_{2i_2}, \rho_{2i_2} \neq \rho_{2i_2}$ .

Кількісно відмінність можна виразити в розходженні чисельних значень зазначених функцій

$$\{\bar{x}_{2i_2}, i_2 = \overline{1, n_{2i_2}}\}, \{\tilde{x}_{2i_2}, i_2 = \overline{1, n_{2i_2}}\};$$

$$\{\bar{X}_{2i_2}, i_2 = \overline{1, \rho_{2i_2}}\}, \{\tilde{X}_{2i_2}, i_2 = \overline{1, \rho_{2i_2}}\}.$$

Звідси виникає ряд практично важливих задач:

- як оцінити в даних умовах ступінь відмінності вектор-функцій  $\bar{F}_2(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01})$  та  $\tilde{F}_2^{(1)}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02})$ ;

- яким чином кількісно виразити ступінь ризику як міру впливу неповноти, неточності, невизначеності інформації про завдання та дії протиборчої сторони, коли зазначений дефіцит інформації виражається в настільки багатогранній відмінності  $\bar{F}_2(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01})$  та  $\tilde{F}_2^{(1)}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02})$ ;

- як визначити зміни ступеня ризику при уточненні якихось даних про завдання та дії протиборчої сторони, тобто, підвищенні рівня інформованості.

**Імовірність здійснення небажаної події, пов'язаної з впливом факторів хоча б однієї з перерахованих груп** в силу незалежності подій різних груп, визначається відношенням:

$$\eta_{1\Sigma} = 1 - (1 - \eta_{1ns})(1 - \eta_{1fm})(1 - \eta_{1in}) \quad (18)$$

де  $\eta_{1ns}, \eta_{1fm}, \eta_{1in}$  – ступінь ризику для угруповання 1 відповідно непрогнозованих ситуацій протидії, форс-мажорних подій і інформаційної невизначеності.

**Імовірність здійснення небажаної події, яка пов'язана з одночасною дією факторів всіх груп ризику**, в силу незалежності подій різних груп, визначається для угруповання 1 співвідношенням:

$$\eta_{1I} = \eta_{1ns} \cdot \eta_{1fm} \cdot \eta_{1in} \quad (19)$$

Співвідношення (18) і (19) для угруповання 2 мають аналогічний вигляд.

У загальному випадку кількість груп факторів ризику для  $r$ -ого угруповання може бути одне –  $N_f$ . У цьому випадку співвідношення (18) і (19) перетворюються до виду:

$$\eta_{1\Sigma} = 1 - \prod_{k_1=1}^{N_f} (1 - \eta_{k_1}); \quad (20)$$

$$\eta_{1II} = \prod_{k_1=1}^{N_f} \eta_{k_1}. \quad (21)$$

Для формалізації ризиків в моделі взаємодії слід врахувати прямий, та непрямий збитки, заподіяні цими ризиками.

**Прямий збиток** – безпосереднє зменшення рівня досягнення мети, **непрямий збиток** – погіршення умов функціонування, які призводять до зменшення значень цільових функцій по відношенню до їх значень в штатних ситуаціях.

Рівень прямого збитку будемо визначати в вигляді

$$J_{12\eta_1}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_1) = \frac{\bar{\Phi}_{12\eta_1}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_1) - \bar{\Phi}_{12\eta_1}}{\bar{\Phi}_{12\eta_1}^+ - \bar{\Phi}_{12\eta_1}} \quad (22)$$

Тоді визначення рівня збитку для дії різних груп факторів ризику матиме вигляд

$$J_{12ns}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{ns}) = \frac{\bar{\Phi}_{12ns}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{ns}) - \bar{\Phi}_{12ns}}{\bar{\Phi}_{12ns}^+ - \bar{\Phi}_{12ns}} \quad (23)$$

$$J_{12fm}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{fm}) = \frac{\bar{\Phi}_{12fm}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{fm}) - \bar{\Phi}_{12fm}}{\bar{\Phi}_{12fm}^+ - \bar{\Phi}_{12fm}} \quad (24)$$

$$J_{12in}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{in}) = \frac{\bar{\Phi}_{12in}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \bar{\eta}_{in}) - \bar{\Phi}_{12in}}{\bar{\Phi}_{12in}^+ - \bar{\Phi}_{12in}} \quad (25)$$

Внаслідок незалежності впливу факторів різних груп ризику, **підсумкову оцінку ризику** можна отримати, базуючись на різних підходах:

$$\bar{F}_{\Sigma 12}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \eta_{\Sigma}) = \bar{I}'_{12}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}) \cdot \prod_{k=1}^{N'_f} (1 - \eta_k) - \sum_{k=1}^{N'_f} (\eta_k \cdot \bar{J}_{12k}(\bar{x}_{01}, \bar{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \eta_k)), \quad (30)$$

де  $\bar{x}_{0r}$  – вектор узагальненого рішення  $r$ -го угруповання, який

- враховуючи вплив факторів кожної групи ризику роздільно;
- враховуючи вплив факторів хоча б однієї групи;
- враховуючи спільний вплив факторів всіх груп ризику.

Найбільш доцільно оцінювати вплив факторів незалежно, а підсумковий рівень ризику у разі спільного впливу факторів декількох груп ризику, внаслідок незалежності впливу факторів різних груп, знаходити підсумовуванням можливого збитку.

Оскільки ступінь ризику від впливу факторів різних груп різна, то узагальнений рівень ризику від впливу факторів кожної групи будемо враховувати в наступній формі.

**Узагальнений рівень ризику від впливу факторів кожної групи** матиме вигляд

$$\bar{U}_{1ns} = \bar{f}_{1ns}(\eta_{ns}) \cdot \bar{J}_{12ns}; \quad (26)$$

$$\bar{U}_{1fm} = \bar{f}_{1fm}(\eta_{fm}) \cdot \bar{J}_{12fm}; \quad (27)$$

$$\bar{U}_{1in} = \bar{f}_{1in}(\eta_{in}) \cdot \bar{J}_{12in}. \quad (28)$$

де  $\bar{U}_{1ns}, \bar{U}_{1fm}, \bar{U}_{1in}$  – рівень ризику для угруповання 1;

$\bar{J}_{12ns}, \bar{J}_{12fm}, \bar{J}_{12in}$  – величини збитку (23)-(25);

$\bar{f}_{1ns}(\eta_{ns}), \bar{f}_{1fm}(\eta_{fm}), \bar{f}_{1in}(\eta_{in})$  – вектор-функції, які враховують вид залежностей рівня збитку від ступеня ризику відповідно факторів непрогнозованих ситуацій, форс-мажорних подій, інформаційної невизначеності.

Для визначення цільових функцій угруповань з урахуванням факторів ризику У найпростішому випадку будемо вважати, що:

$$\begin{aligned} \bar{f}_{1ns}(\eta_{ns}) &= \eta_{ns}; \\ \bar{f}_{1fm}(\eta_{fm}) &= \eta_{fm}; \\ \bar{f}_{1in}(\eta_{in}) &= \eta_{in}. \end{aligned} \quad (29)$$

При одночасному впливі факторів  $N'_f$  груп факторів ризику вектор-функція завдань угруповання НВЗ ( $r=1$ ) в умовах невизначеності ситуації буде мати загальний вигляд:

	визначається як кортеж $\bar{x}_{0r} = (\bar{x}_r, \bar{X}_r)$ , що складається з послідовно розміщених компонентів векторів $\bar{x}_r$ та $\bar{X}_r$ ;	неповнотою і недостовірністю інформації про дії іншого угруповання;
$\tilde{x}_{02}$	– наближені значення вектора узагальнених рішень угруповання ПВЗ у формі наближеної інтерпретації угруповання НВЗ;	$\eta_k$
$\bar{\alpha}_1 = \begin{bmatrix} \alpha_{11}, \dots, \\ \alpha_{1k_1}, \dots, \\ \alpha_{1k_0} \end{bmatrix}$	– фактори природних, кліматичних та інших невизначеностей ситуацій, що впливають на дії угруповання НВЗ;	$I'_{12}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02})$
$\eta_\Sigma$	– сумарна імовірність виникнення небажаної ситуації, викликаної впливом факторів непрогнозованих ситуацій, форс-мажору, а також ризику, пов'язаного з	$J_{12k}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \eta_k)$
		– імовірність виникнення небажаної ситуації, викликаної впливом $k$ -ї групи факторів ризику;
		– інтервальна оцінка ступеню досягнення інтересів угруповання НВЗ в угрупованні ППО, ( $I'_{12} \rightarrow \max$ );
		– величина рівня прямого збитку від впливу факторів $k$ -групи ризику.

В силу однотипності підходів до побудови цільових функцій для угруповань НВЗ та ВА, можна одержати аналогічне співвідношення, для угруповання ПВЗ ( $r=2$ )

$$\hat{F}_{\Sigma 21}(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01}, \bar{\alpha}_2, \eta_\Sigma) = \hat{f}_2(\eta_\Sigma) \cdot \bar{I}'_{12}(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01}) - \sum_{k=1}^{N_f \Sigma} \hat{f}_{2k}(\eta_k) \cdot \bar{J}_{21k}(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01}, \bar{\alpha}_2, \eta_k) \rightarrow \max \quad (31)$$

Таким чином, отримані цільові вектор-функції угруповано НВЗ та ПВЗ з урахуванням факторів ризику та ситуації взаємної протидії необхідно максимізувати для підвищення ефективності бойових дій угруповання ППО при спільних діях НВЗ та ВА. Отже:

$$\begin{aligned} \bar{F}_{\Sigma 12}(\bar{x}_{01}, \tilde{x}_{02}, \bar{\alpha}_1, \eta_\Sigma) &\rightarrow \max; \\ \bar{F}_{\Sigma 21}(\bar{x}_{02}, \tilde{x}_{01}, \bar{\alpha}_2, \eta_\Sigma) &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (32)$$

Дана умова може бути досягнута різними засобами (на прикладі угруповання НВЗ ( $r=1$ )):

1) оптимізацією власних рішень для учасників угруповання  $\bar{x}_1 = \{\bar{x}_{1i} | i_1 = \bar{1}, \bar{m}_1\}$ , загальних рішень угруповання виду:  $\bar{X}_1 = \{\bar{X}_{1i} | l_1 = \bar{1}, \bar{\rho}_1\}$  з використанням умови:

$$\bar{x}_{01}^0 = \text{Arg } \max I'_{12}(\bar{x}_{01}); \quad (33)$$

2) мінімізацією ступеня ризику  $\eta \{ \eta_k | k = \bar{1}, \bar{N}_k \}$  на основі підвищення рівня інформованості про фактори ризику:

$$\bar{\eta}_k^0 = \text{Arg } \min_{\eta_k} \bar{J}_{12k}; \quad (34)$$

3) системним узгодженням і максимізацією власної вектор-функції завдань  $\bar{I}'_{12}$  і мінімізацією рівня ризику  $\bar{J}_{12k}$  за рахунок оптимізації множини рішень угруповання і узгоджених рішень його учасників при певному заданому ступені ризику;

4) одночасною узгодженою максимізацією  $\bar{I}'_{12}$  і мінімізацією  $\bar{J}_{12k}$  за рахунок реалізації двох умов: по-перше, оптимізації колективних рішень угруповання, по-друге, підвищення рівня

інформованості кожного учасника угруповання про фактори ризику.

### Обговорення

Для подальшої формалізації взаємодії з використанням запропонованої поділі необхідно визначитися із доцільними показниками, які можуть бути використані для формалізації цільових функцій як складових угруповання, так і угруповань і системи ППО в цілому. Також потребують уточнення показники для різних груп факторів ризику.

### Висновки

Запропонована математична модель взаємодії НВЗ з ПВЗ в угрупованні ППО може бути покладена в основу математичного апарату моделювання бойових дій угруповань військ (сил), що мають в своєму складі угруповання протиповітряної оборони. Для цього в запропонованій моделі:

- враховано значну кількість факторів, що можуть вплинути на взаємодію НВЗ з ПВЗ під час виконання завдань протиповітряної оборони;
- забезпечено можливість прогнозування кінцевого результату з урахуванням впливу прийнятих варіантів організації взаємодії на дії окремих складових угруповання (військових частин, вогневих підрозділів, вогневих одиниць), з метою вибору оптимального варіанту;
- визначено ступінь впливу своєчасності прийняття та виконання рішень на результат, що може буде досягнутий;
- оцінено ступінь впливу факторів ризику в умовах ситуаційної невизначеності на рівень досягнення мети угруповання (мети бойових дій).

В залежності від потрібної точності результатів, наявних обчислювальних потужностей систем

імітаційного моделювання, розглянута модель може враховувати більшу кількість факторів, або навпаки, може бути спрощена для отримання отримати більш грубого, але швидкого прогнозу результатів спільних дій НВЗ та ПВЗ під час виконання завдань ППО.

Запропонована модель, крім того, може враховувати тенденцію щодо ускладнення загальної, повітряної та перешкодової обстановки, збільшення числа факторів, що впливають на ефективність бойових дій, а також бути гнучкою та придатною до нарощення або коригування в залежності від результатів майбутніх досліджень.

### **Список використаних джерел**

1. Микрюков В.Ю. Теория взаимодействия войск. Москва :Вузовская книга, 2002. 240 с.
2. Дидук Н.Н. Пространства неопределенности и изоморфизм. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2002. №4.
3. Чернов, В. Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив: учеб. пособие. Владимир: Издательство Владимирского государственного университета. 2005. 100 с.
4. Неупокоев Ф.К. Противовоздушный бой. Москва :Воениздат. 1989. 172 с.
5. Полумієнко С.К., Горда С.Є. Корпоративна ресурсна модель збалансованого розвитку. *Математичне моделювання в економіці*, 2017. № 1-2. С. 62–73.
6. Смирнов А.В., Шереметов Л.Б. Модели формирования коалиций между кооперативными агентами: состояние и перспективы исследований. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2011. №1. С.36-48.
7. Степанов Л.В. Моделирование конкуренции в условиях рынка. Москва. 2009.
8. Ткаченко Д.Д. Моделирование сотрудничества конкурирующих фирм в разработке инноваций с учетом неопределенности и экстерналиных факторов //Ciberleninka :веб-сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/modelirovanie-sotrudnichestva-konkuriruyuschih-firm-v-razrabotke-innovatsiy-s-uchetom-neopredelennosti-i-eksternalnyh-effektov/> (Дата звернення 29.09.2021).
9. Ткаченко Д.Д. Модели конкуренции и сотрудничества предприятий в разработке инноваций в условиях свободного входа и выхода в рынок инноваций и товарный рынок// Ciberleninka : веб-сайт. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-konkurentsii-i-sotrudnichestva-predpriyatij-v-razrabotke-innovatsiy-v-usloviyah-svobodnogo-vhoda-i-vyhoda-v-rynok-innovatsiy-i/> (Дата звернення 29.09.2021)

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

<sup>1</sup>**Volodymyr Mirnenko** (doctor of technical sciences, professor)

<https://orcid.org/0000-0002-7484-1035>

<sup>2</sup>**Anatolii Sali** (PhD, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>

<sup>2</sup>**Pavlo Open'ko** (PhD, senior researcher)

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

<sup>2</sup>**Oleksandr Avramenko** (doctor of technical sciences)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

<sup>2</sup>**Maksym Tyshchenko** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0003-1266-4106>

<sup>3</sup>**Ihor Sachuk** (PhD, senior researcher, associate professor)

<https://orcid.org/0000-0002-0110-8297>

<sup>3</sup>**Oleksandr Kalyta**

<https://orcid.org/0000-0001-6591-6720>

<sup>1</sup>*Department of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

### **PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF LOGISTIC SUPPORT FOR USING OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**

*The main aim of the report is creation an unified theory of logistics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine based on the existing theories of armament and the logistics of the Armed Forces, the general laws and determined trends, principles, forms and methods of the use of the logistics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine and impact Unmanned Aerial Vehicles (UAV) on this theory. Based on the information analysis on critical UAV maintenance tasks including tasks unique to UAV operations, and the facilities and personnel involved in maintenance, the issues of UAV maintenance were grouped into three categories.*

*The objective function of the logistics system of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine is formulated, which is to achieve compliance of the capabilities of this system with the predicted volume of tasks of the logistics given the use of UAV. In order to implement this compliance it is necessary to ensure the convergence of requirements and capabilities at all levels of logistics management.*

*The assessment of the functioning of the Air Forces logistics system of the Armed Forces of Ukraine is proposed on the basis of the stated views on the logistics theory of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine by assessing the set of real capabilities of each subsystem that is the part of its structure and system as a whole.*

*At the same time, the assessment of the quality of the logistic support of the military units (formations) of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine should be related to the level of implementation of the potential capabilities of the logistics system when solving problems of each subsystem at the stages of combat training, unblocking and operational deployment, preparation and conduct of operations (combat actions), restoration of combat capability of troops (forces).*

**Keywords** – *Unmanned Aerial Vehicles (UAV), logistics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, logistic system of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, logistics*

#### **Introduction**

The organizational structure of the logistics management bodies, the list of necessary assets of logistics, their functional duties and tasks were basically determined in pursuance of the measures of the State Program for the Development of the Armed Forces of Ukraine up to 2020 (approved by the Decree of the President of Ukraine - Supreme Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine dated March 22, 2017, No. 73/2017) concerning the creation of a unified logistics system of the Armed Forces of Ukraine as a

result of the joint work of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine and the interested military authorities.

The maintenance peculiarities of UAV while developing the perspective logistics system of the Armed Forces of Ukraine (UAF) related to the needs to take into account that UAV operators must ensure the reliability of an entire system that comprises the vehicle, the ground station, and communication equipment. It is due to that the accident rate for UAVs is higher than for conventional aircraft. A significant proportion of these accidents are associated with



human error and it will be necessary to understand the human factors associated with UAV.

Throughout the history of aviation, human error has presented a significant challenge to the operation of manned aircraft [1]. Given the fact that maintenance and ground support activities appear to be responsible for a growing proportion of airline accidents [2], this human factor element will be a critically important part of UAV operations. To enable the operation of UAVs in UAF it is necessary to understand the human factors of unmanned aviation and to identify human factors that will apply in the maintenance of UAV systems.

The perspective logistics system of the Armed Forces of Ukraine (UAF) provides for vertical division: planning (determination and planning of meeting troops' requirements) and executive (maintenance of necessary material resources and provision of troops with material resources and services). Therefore, a set of measures are planned to be taken in the Air Forces (AF) of the UAF in order to improve the logistic system by creating a planning and executive authority for managing logistics, providing air commanders with satisfying functions for providing logistical facilities, forming airbases (with UAV) for the provision of aviation brigades, transfer of certain military units of logistics to the air commands.

The current integrated logistic system of the AF of the UAF is a set of combined logistic command units of the command of the AF of the UAF, departments of logistics of air commands, services and units of the logistics and combat service support of military units (subdivisions) with subordinated assets of logistics, the number of which is determined by the combat composition, structure, tasks of the military units (subunits) of the AF of Ukraine and intended for solving the tasks of planning and the logistical support of the forces (forces), as well as the implementation of logistics measures of the military units (divisions) of the AF of Ukraine in their daily activities, during combat training, mobilization, operational deployment and combat readiness, preparation and conduct of hostilities, restoration of combat capability of military units (subunits) [3].

To provide the UAV operation it's necessary to understand the features of combat use and logistic of UAVs. At the same time the maintenance like a kind of logistic is the activities which are performed on the land before and after the UAV flying for providing of successful and safely use of UAV. According to this general definition the UAVs logistic consists of storage, fueling, pre-flying check, repair and software update. The maintenance activities of UAVs also contain the use of UAV transporter vehicle and UAV land control station [1]. As it follows from the analysis of accidents in the USA Army [2] 32 % of accidents are the results of human error and 45 % of accidents are the results of failures of technical means (either singly or in combination with other factors). So the reliability of UAVs logistic system is essentially more important than in case of manned aerial vehicles. Independent of the features of combat use and logistic of UAVs they can be integrated in the Informational Support System for Technical State Control of Military Equipment [4].

The logistic system of the AF of the UAF is designed to fulfill the tasks of logistics of military units

(subunits) in the conduct of operations (combat actions) under any conditions of the situation.

The objective function of the logistic system of the AF of the UAF is formulated as the achievement of the compliance of the capabilities of this system with the predicted volume of tasks of logistics. In order to implement this condition it is necessary to ensure that the requirements and capabilities are consistent across all levels of logistic management (including UAV management). Deviations from these conditions must be compensated within the set limits by the reserve of opportunities at each level of the hierarchy. In order to achieve this goal the logistic system of the higher level, which is the logistics of the command of the AF of the UAF, must have a reserve of abilities to influence the lower level in case of critical situations appear. In this case, the scope and timing of the measures in the interests of air commands and units (subunits) of the UAF are determined.

### **Analysis of recent research and publications**

The analysis of the logistic support systems of the leading countries of the world, NATO-member states (partner countries) [5-8] was carried out to determine the main views on the logistics theory of the AF of the UAF, and logistic systems of the UAF [9] has been carried out and all elements of this system which participate in the combat service support of operations (combat actions) of military units (subunits) were examined. The approach of the decomposition of the logistic system of the AF of the UAF allowed revealing the influence of each element on the implementation of its logistics functions.

Considering the relevance and importance of using UAV during combat operations the main factors affecting accident rate for UAVs were analyzed and they were arranged in three sections. Hardware issues are human factors that relate to the interaction of maintenance personnel with the physical structures of the UAV system. Software/documentation issues concern the interaction of maintenance personnel with computer systems and written documentation. The last section deals with personnel issues including the skill levels of maintenance staff [1].

The optimal composition and logistics structure of the AF of the UAF, improvement of forms and methods of logistic support, development of logistics' principles, management and interaction methods elaboration contributed to the successful solution of tasks. At the same time, the subsystem of the technical support of the AF of the UAF (under the nomenclature of logistics) requires to be improved, as at present stage separate technical support tasks are organized within different chains of command (there is no single authority who organizes the implementation of all kinds of logistics technical support).

The development of the theoretical elaboration of the issues of logistic support for conducting operations (combat actions) is based on solving logistic problems of the UAF, namely the search for ways to resolve the discrepancy between the desirable and the actual state of logistics, which is considered in the publications of Romanchenko I.S. [10, 13], Khazanovich O.I. [10],

Tarasenko A.V. [11], Shuenkin V.O. [12, 13], Rolin I.F. [14], Servatyuk V.M. [15] and Krizhny A.V. [16].

In today's conditions of conducting operations (combat actions) existing separately the theory of armament and the theory of the rear services of the AF, as components of military science, lose their functional purpose as partial theories.

Taking into consideration modern forms and methods of conducting operations (combat actions), as well as requirements for forming a unified logistics system of the UAF and logistics, created management bodies, forces and means of logistic support of military units (subunits) of the UAF, maintenance peculiarities of UAV the purpose of the report is to define the main provisions of the new the unified logistic theory of the AF of the UAF. In this context the basis of the unified theory of logistics is the following methodologies: the methodology of system logistic analysis; the methodology of the cybernetic approach to the management of logistics systems; the methodology of operations research and the forecasting methodology.

### **Presentation of the main research material**

On the basis of the analysis of the logistic support of the AF of the leading countries of the world and NATO member-states (partner countries) [5-8], certain types of activities, requirements and tasks of logistic support [3], created logistic structures of military units (subunits) of the UAF, scientific methods of research of logistics, a unified theory of logistics of the AF of the UAF is proposed, which includes the following main components:

the conceptual apparatus and the empirical basis of logistics of the AF of the UAF, which are based on the forms of scientific knowledge and contain scientific positions and results, as well as the mechanism of their implementation;

initial conceptual provisions according to the types of logistics activities of the UAF, which consider and provide the development of the necessary methods for calculating the needs of forces and assets of logistics of the AF of the UAF;

the main provisions for the preparation of the logistics infrastructure for the accumulation, separation and conservation of material resources, the use and replenishment of stocks, the operation of weapons and military equipment; increase of efficiency of logistics by activities;

rules of logical conclusions which are based on the generalization of experience of creation and functioning of the logistics management bodies of the Armed Forces of the leading countries of the world and NATO member-states (partner countries), determine the directions of the long-term development of logistic support of military units (subunits) of the UAF providing the ability to integrate logistics systems while performing compliant operations.

That is, as for its structure, the theory of logistics of the AF of the UAF is an internally differentiated integral system of knowledge about material, transport, evacuation, information and financial flow processes according to types of activity, which characterizes the logical dependence on some elements from others, the derivation of the content of the theory of logistics from

a certain set of statements and concepts according to the defined logical and methodological principles and rules.

The analysis of the logistic support of military units (subunits) of the UAF indicates the availability of approaches as for the use of the proposed logistics theory.

The main of these approaches are the following:

solving tasks according to the types of activity of logistics of the AF during the conduct of operations (combat actions) in the established scope of tasks and in interaction with the logistics systems of the Land Forces of the UAF, the Naval Forces of the UAF, other military formations and law-enforcement agencies of special assignment, defence industry, and other branches of the national economy of Ukraine;

logistic maintenance of high autonomy of conducting operations (combat actions) of military units (subunits) of the UAF;

maintenance of high maneuverability and mobility of military units (subunits) of the UAF in the conduct of operations (combat operations), which is provided by resettlement, transfer and promotion of military units (subdivisions) of the Airborne, development of the aerodrome network;

creation and improvement of the logistic system of the AF of the UAF on the basis of a functional integrated system of logistics of the UAF;

the capacity of the logistic system of the AF of the UAF to conduct operations in the operational groups of the Army (forces) of the UAF;

achievement of high efficiency and functionality of logistic processes and their compatibility with the NATO logistics system by applying the relevant NATO standards in the activities of the AF of the UAF [17];

improvement the UAV maintenance representing new challenges for maintenance personnel. These tasks include transport and assembly of the vehicle and associated systems, and pre-flight ground tests necessitated by the assembly of the aircraft at the flight location.

The basis of these approaches is the modular and territorial principles of logistics constructing the infrastructure for the provision of military units (subunits) of the UAF. In this case, the territorial system of logistics of the AF is represented by a multilevel hierarchical structure, the basis of which is logistics bodies. Organizationally it includes the logistic bodies of the Command of the UAF, air commands, and military units of the AF. The logistic structure of the AF of the UAF will be brought in line with the typical structure of the logistics management bodies in all services of the UAF and the logistic units of the strategic level.

At the management of logistic of units equipped with UAV it's necessary to consider:

- Assembling. Tactical and operational UAVs, as a rule, is disassembled after the flying for transportation and storage. The frequent turning on and turning out of UAV electrical circuits is the factor of special dangerous. It can increase the probability of damages and breakages and probability of maintenance error.

- Peculiar elements of UAV. UAV system can contains unique components like launching catapult, autonomous landing system, system for flying finish (landing parachute breaks out, turning on landing engine).
- A requirement for battery maintenance. Batteries are the reason of a great number of failures of onboard and land elements of UAV system.
- Composite materials. A lot of composite materials are used in different elements of UAV. The repair of these materials needs special experience and special equipment for work with insecure materials.
- Repair of UAV by its maker. The small dimension of components and modularity design of UAV allow to send the damaged components to the UAV maker for the repair.
- There isn't any statistics about modes and speed of UAV components failures. The tactical UAV makers don't show any information about the modes of failures of UAV components and its term of service or failure frequency. At the absence of information about the of UAV components the maintenance program for reliability support can be created.
- Accounting of UAV operation activity. As a rule, UAV haven't onboard meter for accounting of flying time or engine operation time. If this information don't write by UAV land control station the UAV flying time must be account manually for management maintenance and planning of repair.
- Absence of numbers of UAV components. The majority of UAV components haven't number of each components which can be recoverable. If we don't know the history of use maintenance and recovering such UAV components the probability of error in maintenance is increase.
- Non-standard moving system. Last time the new scientific technologies are used in UAV. These technologies are used in the fueling system, system of solar powering and electric motors. It needs the additional information about the maintenance of the UAV components based on the new scientific technologies.
- Fuel blending. Some types of UAV needs fuel blending. The blending is performed by operator without special metering. So the dangerous for operator health or UAV flying can be caused by human error.
- Insufficient quality of operation and maintenance documentation. It was shown that the majority of UAV are used without any maintenance documentation. If UAV are delivered with the UAV operation and maintenance documentation it don't correspond to the general system. Moreover, the operation and maintenance documentation has some unclear procedures, in particular documentation of Fault Isolation Manual [1, 2].

Methodologically, the central role of the formation of the proposed logistics theory of the AF of the UAF

is to determine the patterns, trends, principles, forms and methods of logistic for conducting operations (combat actions) of military units (subunits) of the AF of the UAF, which are formed within the framework of the theory of logistics and relate to logistic support.

Analysis of the development of logistic support of the AF of the UAF allows to identify patterns that reflect the stable links of the logistics system of the AF of the UAF with the development of the branches of the national economy of Ukraine, the infrastructure of logistics and the transport system of the country. That is, for the logistic system of the AF of the UAF the dependence of the quality of the preparation, conduct and outcome of the operation (combat actions) on the state and capabilities of the logistic support system is inherent.

The complexity and interconnection of logistic support measures, namely, a clear and transparent logistic support management system (material, transport, evacuation, information and financial flows management) in the logistic system of the AF of the UAF give rise to the second regularity of its construction and functioning, which is expressed in a unity of infrastructure support of logistics of the AF of the UAF, which is an integral part of the engineering and infrastructure support of the UAF, both stationary and mobile, for the purpose of measures of their vitality. Creation within the framework of a single logistic space of the UAF logistics system of the UAF will allow fulfilling the requirements of logistics of the AF of the UAF in accordance with the modular and territorial principle of construction of the logistics infrastructure.

The next regularity of logistic support is the centralization of management and the decentralization of the implementation of the tasks of using the logistic system of the AF of the UAF provided that the assets of logistic support for conducting operations (combat actions) are sufficient.

Knowledge of the laws allows us to understand the operation and properties of the logistics system and to form more adequate decision-making model. In the future, the patterns are manifested in the form of trends that determine the existence and improvement of the logistics system of the AF of the UAF through the interaction of this system with the infrastructure of logistics, transport system and branches of the national economy of Ukraine.

On the basis of an analysis of the organization of the operation and development of logistics systems of NATO member-states (partner countries), in particular by examining the logistical support of the troops, it is possible to identify a number of stable tendencies that are related by the limitation of most resources, the high destructive ability of enemy weapons, and the speed of conducting operations (combat actions). The tendencies, which belong to the logistics of the AF of the UAF, are the following:

centralization of planning and organization of logistics at the level of logistics Command of the UAF;  
the dependence of the organization and management of logistic support on the structure of the

AF of the UAF, the material base and conditions for the implementation of logistic support;

implementation of the territorial system of providing military units (subunits) regardless of their belonging to one or another service of the UAF;

maintaining the proportionality and optimum correlation in the organization of logistic support of the AF of the UAF in the general system of logistics of the UAF;

the unity of organizational and methodological foundations (organizational and information support, analysis, planning, control) of the logistic system of the AF of the UAF at all levels of logistic support;

compatibility of logistic assets of interacting military units (subunits);

reduction of intermediate levels of provision, concentration of major efforts in the air command and military units (subunits), where the expenditures of logistics are incurred;

optimization of processes of making logistic decisions based on efficiency indicators used in the logistics of the AF of the UAF;

automation of the processes of material, transport, evacuation, information and financial flows management [17];

the dependence of the efficiency of the solution of the increasing scope of tasks of logistics of the AF of the UAF on the amount of information used.

Trends in practice are realized through the principles of logistic support, which are consistent with legislative acts on national security and defense of Ukraine, the standards of logistics of NATO, and determine the specifics of the functioning of military units (subunits) of the UAF in the course of the preparation and conduct of operations (combat actions).

In essence, the principles of logistic support represent a provision according to which the necessary properties of the logistic system of the AF of the UAF are formed. At the same time, the principles of logistic support provide the basis for the construction and operation of the logistics system of the AF of the UAF.

Using these principles in practice it is possible to justify the recommendations for carrying out a complex of measures to determine the tasks of logistics, the order of management of the logistic system, the volume of weapons and military equipment, logistics and the order of their transportation and supply, the sequence, timing, methods of action, interaction, the necessary composition of the group of forces and logistics, the development of appropriate planning documents on troop-contributing tasks in peace and war time.

Thus, in accordance with the General Provisions of the Logistic Doctrine of the UAF [1], the principles of logistic support are the following: Priority, Sufficiency, Efficiency, Flexibility, Transparency, Coordination, Responsibility, Cooperation, Interoperability and Stability.

Together with the established laws, tendencies and principles of logistic support the AF of the UAF require to define the concept of forms and methods. In essence, forms of logistic support represent the actions of the logistics management authorities regarding the use of

logistic assets. In the meantime the forms of logistic support are directly related to the forms of action of the military units (subunits) of the UAF and are important in the operation of the logistic system of the UAF. Therefore, the main forms of logistic support of military units (subunits) of the UAF are:

Logistic support for combat training and combat duty;

Logistic support for everyday activities;

Logistical support for mobilization, operational deployment and bringing into combat readiness;

Logistic support for operational and tactical regrouping;

Logistic support for the preparation and conduct of operations (combat actions);

Logistic support for the restoration of combat capability of military units (subunits).

In turn, logistical support for the preparation and conduct of operations (combat actions) it is expedient to identify:

Logistic support for military units (subunits) of the UAF in defence operations;

Logistic support for the preparation of military units (subunits) of the UAF for an counter offensive (offensive) operation during a defence operation;

Logistic support for military units (subunits) of the UAF in the counter-offensive (offensive) operation;

Logistic support for military units (subunits) of the UAF in the air operations of the UAF;

Logistic support of aircraft maneuvers of the AF of the UAF of Ukraine;

Logistic support for the regrouping of military units (subunits) of the UAF.

As UAV is the compound technical object at the management of UAV logistic it needs to use the method of planning of exit of compound technical objects (CTO) into repair during operation according to state. Practical use of this method needs execution of following actions [20]:

- Compound technical objects operation according to state with the accumulation data about CTO failures.
- Quarterly estimation of mean-time-to-failure of each compound technical object.
- Execution of the limit state check of compound technical objects.
- Verification of limit state achievement of the compound technical object.
- Prediction of the mean-time-to-failure for the next year.
- Verification of mean-time-to-failure achievement of limit value.
- Determination of quarter when the mean-time-to-failure achieves to the limit value.
- Planning of exit of CTO into repair for the next year in the quarter which is previous to quarter when the mean-time-to-failure achieves to the limit value.
- Execution of repair of compound technical object according to state.

The method of planning of exit of CTO into repair during operation according to state is explained by fig. 1.

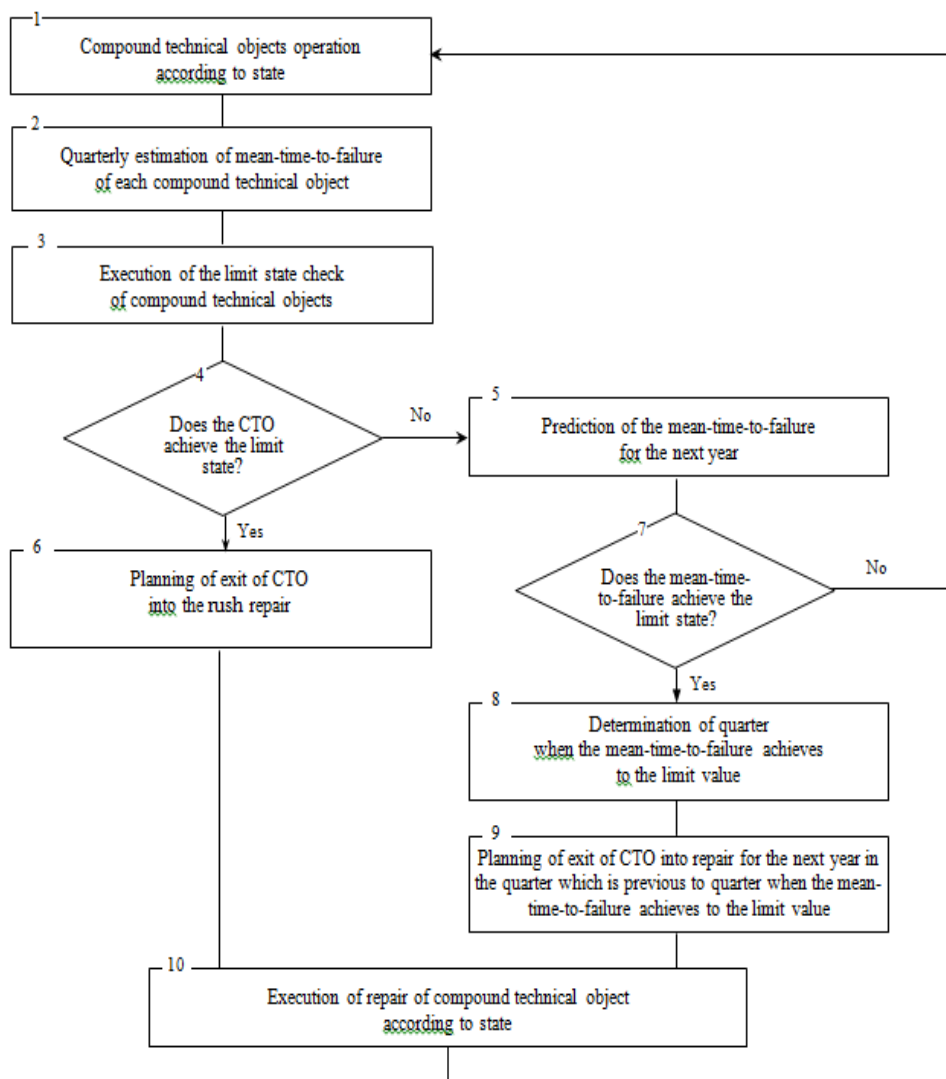


Fig. 1. Flow chart of the method of planning of exit of CTO into repair during operation according to state.

The results of limit state check (LSC) of compound technical objects and the results of their operation between these checks are the initial data for application of method of planning of exit of CTO into repair during operation according to state. If during the LSC the limit state of compound technical object is fixed the object will need immediate repair according to state. For other CTO according to the result of operation the quarterly estimation of mean-time-to-failure is made.

Prediction of the mean-time-to-failure of each CTO for the next year is made on the quarterly estimations mean-time-to-failure and the results of LSC.

This planning method of compound technical objects exit into repair during operation according to state can be used not only to UAV but to any radio electronic means (compound technical objects) which is the part of the missile guidance system [20, 21].

The implementation of these forms is carried out by means of logistic support. On the basis of the analysis of logistics systems in the leading countries of the world and NATO member-states, it is possible to define the content the "methods of logistic support" concept. This concept implies the complex of questions of

theory and practice that characterize the order and methods of using assets of logistic support for the tasks of preparation and conduct of operations (combat actions). In this case, the logistics support methods will depend on:

- the nature and methods of conducting operations (combat actions) of military units (subunits) of the UAF;

- directions of concentration of the main efforts of logistics;

- the available assets of logistic support and the sequence of their application;

- the degree of centralization of the management of the logistics system and decentralization of the tasks of logistic support;

- physical and geographical conditions of the area of operation and the nature of the deployment of assets of logistic support on the ground;

- the nature of the maneuver and the regrouping of forces and means of logistic support.

Combinations of these factors determine a number of specific methods of logistic support that characterize the proposed forms of logistic support for military units (subunits) of the UAF in the course of conduct of

operations (combat actions). The choice of specific methods of logistic support for the AF of the UAF will be determined by the Deputy Chief of the logistics unit - Chief of the logistics of the AF in the process of making a decision on the organization of logistic support in the preparation and conduct of operation (combat actions). Changes in conditions during the conduct of operations (combat actions) will change the combination of factors, as well as the change in the methods of logistics in general. In the subsystems of logistic support of the AF of the UAF, at operational and tactical levels, each form of logistic support will correspond only to the inherent methods of these forms.

### **Conclusions and perspectives of further research**

Thus, the functioning of the logistics system of the AF of the UAF taking into consideration the stated views on the logistics theory of the AF of the UAF should be assessed, based on the requirements for logistic support by assessing the totality of real capabilities of each subsystem that is part of it and the system as a whole. Also, more attention will be provided to the knowledge and skills required to perform UAV maintenance, the facilities required, and human factors training requirements.

In this case, the assessment of the quality of logistic support for military units (subunits) of the UAF can be related to the degree of implementation of the potential capabilities of the logistic system in solving the tasks of each subsystem during the stages of combat training, mobilization and operational deployment, preparation and conduct of operations (combat actions), restoration of combat capability of troops (forces).

### **REFERENCES**

1. A. Hobbs, "Human factors, the last frontier of aviation safety," *International Journal of Aviation Psychology*, vol. 14, pp. 335-341, 2004.
2. Joint Airworthiness Authorities/Eurocontrol. UAV Task Force Final Report: A Concept for European Regulations for Civil Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Retrieved April 13, 2005 from <http://www.jaa.nl/news/news.html>.
3. "Basic Provisions of the Logistic Support of the Armed Forces of Ukraine," Order of the Ministry of Defence of Ukraine of October 11, 2016, No. 522.
4. V. Tyurin, O. Barabash, P. Openko, I. Sachuk, A. Dudush, "Informational. Support System for Technical State Control of Military Equipment. IEEE 4th International Conf. Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD)", National Aviation University, Kyiv, pp. 242-244, October 2017.
5. A. Sumets, "Logistics in the Armed Forces of NATO and the Bundeswehr," *Logistic Time*. <http://logisticstime.com/news/logistika-v-voorzhenykh-silax-nato-i-bundesvera>.
6. "NATO 2020: Assured security; Dynamic engagement - analysis and recommendations of the group of experts on a new strategic concept for NATO," <http://www.nato.int/strategicconcept/expertsreport.pdf>.
7. "Combat Service Support (FM 4-0)," [http://tsg3.us/tmsg\\_lib/unit\\_dig\\_lib/fm4\\_0.pdf](http://tsg3.us/tmsg_lib/unit_dig_lib/fm4_0.pdf).
8. "David Beaumont. Logistics in the war," <http://www.sgs-mil.org/logistika/412-logistika-voine-hast-1.html#sel=6:3,64>.
9. O. Kotov, O. Gurin, S. Novichonok, "Views on the improvement of the logistics of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine," *Collection of scientific works of Kharkiv University of Air Forces*, vol. 1 (30), pp. 39-42, 2012.
10. I. Romanchenko, O. Khazanovich, S. Trehubenko, "Logistics systems Modeling: Monograph," Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, 2015.
11. A. Tarasenko, "Scientific approaches to the definition of logistics of security and defence sector entities," *European perspectives*, vol. 7, pp. 54-59, 2013.
12. V. Shuenkin, "Logistics - what is it?," *Science and defence*, vol. 1, pp. 66-68, 2007.
13. I. Romanchenko, V. Shuenkin, "Views on the development of the logistics system of the Armed Forces of Ukraine," *Science and defence*, vol. 4, pp. 22-27, 2007.
14. I. Rolin, I. Morozov, O. Minko, "Contents of the main terms in the field of logistic support for military formations," *Armament systems and military equipment*, vol. 1 (49), pp. 61-64, 2017.
15. V. Servatyuk, O. Ugrynovych, "Perspective directions of reformation of the logistics system of the Armed Forces of Ukraine," *Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine*, vol. 2 (11), pp. 14-18, 2013.
16. A. Krizhny, P. Openko, P. Drannik, "Prospects for the development of the technical support system for anti-aircraft missile troops," *Problems of creation, testing, application and operation of complex information systems*, vol. 10, pp. 148-157, 2015.
17. "On ensuring the functioning of the military standardization system," Order of the Ministry of Defense of Ukraine, No. 450, August 22, 2017.
18. M. Zaklad, V. Biletov, K. Leoncheva, "Automation of the rear," *Defensive Herald of the Center for Military and Security Policy*, vol. 4, pp. 26-29, 2013.
19. P. Open'ko, P. Drannyk, V. Kobzev, M. Brovko, G. Zalevsky, "Substantiation of reliability requirements for mobility means of surface-to-air missile systems," *Advances in Military Technology*, vol. 12(1), pp. 91-99, 2017.
20. I. Sachuk, S. Bortnovskiy, A. Artemenko, A. Kalyta, P. Openko, V. Tyurin, "Recommendations for Practical Use of the Planning Method of Compound Technical Objects Exit into Repair During Operation According to State," *IEEE First International Conf. "System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)"*, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, pp. 121-124. 2018.
21. I. Sachuk, V. Orlenko, Y. Shirman, "UWB Signals, SA Perspectives in Radar Guidance," *Third International Conf. on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, September, 2006, pp. 133-135. 2006.

**Диптан Валентин Петрович** (канд. військ. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-0286-7460>

**Яблонський Петро Михайлович** (канд. техн. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

**Дуленко Дмитро Іванович** (канд. техн. наук)

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

**Поліщук Василь Володимирович** (канд. військ. наук)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

**П'явчук Олександр Олександрович**

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

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

## **ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДИФУЗІЙНО- НЕМОНОТОННОГО РОЗПОДІЛУ У ЯКОСТІ МОДЕЛІ ВІДМОВ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ**

*У доповіді розглянуті загальні характеристики найбільш вживаних законів розподілу неперервних випадкових величин, які використовуються в теорії надійності.*

*При цьому в якості вихідного параметру використовується залежність розбіжності в оцінці показників надійності авіаційних засобів ураження від вибору відповідної теоретичної моделі розподілу напрацювання до відмови, яка в залежності від прийнятої теоретичної моделі може становити кілька порядків. В результаті цей вибір визначає точність розрахункових кількісних показників надійності розроблюваних методик підвищення ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження.*

**Ключові слова:** моделі відмов, закони розподілу випадкових величин, ефективність, надійність, технічне обслуговування.

### **Постановка проблеми**

Після розпаду Радянського Союзу на території України, як і на території інших пострадянських республік, залишилась велика кількість зразків озброєння і військової техніки, в тому числі і авіаційних засобів ураження, терміни зберігання і терміни служби яких вичерпано або строки експлуатації яких у найближчий час закінчаться. Заводи-виробники, здебільшого, залишилися на території сучасної Російської Федерації, що в існуючих реаліях негативно позначається на їх авторському нагляді, а якщо точніше, на його повній відсутності.

В таких умовах оборонно-промисловий комплекс України спільно з науково-дослідними організаціями і приватними компаніями веде роботу з пошуку рішення, яке дасть можливість збільшити терміни експлуатації (зберігання) авіаційних засобів ураження, продовження їх ресурсних показників і проведення модернізації, а також розробки методики підвищення ефективності проведення технічного обслуговування авіаційних засобів ураження без зниження їх показників надійності до граничних значень.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

Основне завдання надійності – встановлення закономірностей виникнення відмов і оцінка кількісних показників надійності – може

вирішуватися двома різними шляхами. До теперішнього часу в теорії і практиці надійності найбільший розвиток отримав напрям, заснований на використанні тільки імовірнісних концепцій (суто імовірнісна теорія). В цьому випадку відмови розглядаються як деякі абстрактні випадкові події, а різноманітні фізичні стани виробів зводяться до двох станів: справність і несправність [4-6]. Методологія отримання кінцевих результатів про надійність виробів згідно суто імовірнісної теорії полягає в наступному. З початку на підставі випробувань або експлуатації отримують статистику відмов виробів. Далі, використовуючи відомі статистичні критерії, обирають найбільш відповідну модель розподілу випадкових величин, розроблену в теорії імовірності (експоненціальна, нормальна, Вейбулла, логарифмічно нормальна тощо), і приймають її як теоретичну модель розподілу імовірності безвідмовної роботи (моделі надійності), на підставі якої визначають необхідні кількісні показники надійності. Оцінка (розрахунок) надійності систем здійснюється шляхом обчислення ймовірності працездатних станів елементів. Необхідно відмітити, що переважно розвинені статистичні методи оцінки надійності, які увійшли до основних нормативних матеріалів, недостатньо ефективні при оцінці надійності виробів, що знову розробляються, високонадійних або одиничних, знаходяться в експлуатації, тобто там, де нечисленна або взагалі відсутня статистика відмов. Крім того, відсутність

зв'язку показників надійності з фізичними характеристиками виробів і зовнішніми умовами експлуатації не дає можливості ефективно управляти проектуванням і забезпеченням необхідного рівня надійності виробів, що розробляються.

### Викладення основного матеріалу

Дифузійні розподіли, як імовірно-фізичні моделі надійності мають велику перевагу перед суто імовірнісними моделями в тому, що їх параметри можуть бути оцінені як на основі статистики відмов (в цьому випадку вони розглядаються як суто імовірнісні моделі), так і на підставі аналізу статистичних характеристик фізичного процесу, що призводить до відмови, а також при спільному використанні статистичної інформації обох типів. Як відомо, рішення основних завдань надійності (як при апіорних, так і апостеріорних методах) зрештою зводиться до оцінки параметрів розподілу шуканої величини (напрацювання до відмови, на відмову, ресурс тощо). Слід зазначити, що найважливішим чинником, який сприяє рішенню різноманітних завдань надійності при використанні дифузійних розподілів, є те, що параметр форми цих розподілів є узагальненою характеристикою взаємообернених досліджуваних процесів (процесу руйнування і розподілу напрацювання) – коефіцієнтом варіації. А коефіцієнт варіації, як узагальнена характеристика з достатньою для інженерної практики точністю може бути оцінений апіорі на підставі численних досліджень як процесів руйнувань (міцності, втоми, зношування тощо), так і статистичних даних про відмови при випробуваннях і експлуатації виробів-аналогів. Саме завдяки конкретній фізичній інтерпретації параметрів дифузійних розподілів вдалося на їх основі вирішити такі важливі завдання надійності, як: розрахунок надійності систем, планування контрольних і визначальних випробувань на надійність, оцінка (прогнозування) залишкового ресурсу (терміну служби), розрахунок запасних частин, розрахунок довговічності електронної апаратури, розрахунок надійності типових деталей машин на основі міцнісних характеристик матеріалів деталей і інші завдання [1, 2].

Імовірно-фізичні моделі відмов отримують на підставі аналізу фізичних процесів деградації, які відбуваються в об'єкті і спричиняють виникнення відмов. Типові (найбільш розповсюдженні) моделі випадкових фізичних процесів деградації подано на рис. 1, де показано реалізації визначальних параметрів (найслабкіших складових об'єкта) для сукупності однотипових об'єктів.

Зараз, на основі двопараметричних дифузійних розподілів [3], достатньо розроблено методів рішення усіх основних завдань надійності виробів (оцінки надійності елементів механічних і електронних виробів, технічних систем) на усіх життєвих циклах. При цьому визначаються як найповніші характеристики надійності – функції

розподілу напрацювання (до відмови, на відмову, ресурсу тощо), які дозволяють оцінити будь-які показники надійності (середнє напрацювання, гама-відсотковий ресурс, ймовірність безвідмовної роботи за заданий інтервал напрацювання, залишковий ресурс та інші).

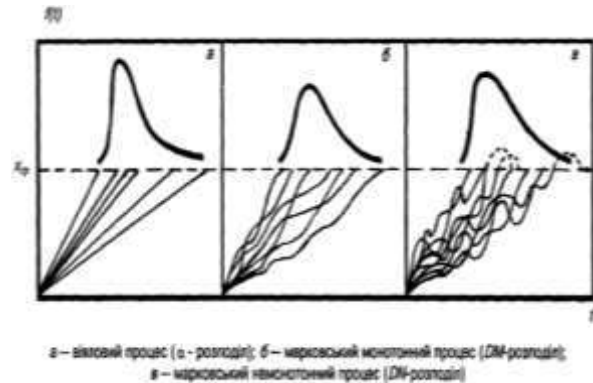


Рисунок 1 – Моделі випадкових процесів деградації і схеми формування розподілу наробітку до відмови

Уточнення оцінок показників надійності на усіх етапах, у тому числі і на етапі проектування, об'єктивно приведе до підвищення надійності. Великий ефект дає використання дифузійних розподілів в завданнях планування контрольних випробувань на надійність. Плани контролю надійності на основі дифузійних розподілів являються істотно економнішими. Для того, щоб з необхідною достовірністю і точністю зробити висновок про відповідність або невідповідність контролюваному рівню надійності об'єкта контролю, потрібний в 1,5-2 рази менший обсяг випробувань [1, 2]. Це означає, що впровадження планів контролю надійності на основі пропонованого апарату знизить витрати на випробування на 30% і більше. Зазначимо, що цей економічний ефект тільки від зниження витрат на випробування. Об'єктивно використання суворіших і точніших планів приведе до підвищення надійності, тобто досягненню планованого рівня надійності.

Необхідно також підкреслити, що математичний апарат рішення завдань надійності на основі дифузійних розподілів [3] призводить не лише до точніших прогнозних оцінок в порівнянні з традиційним математичним апаратом, але і до рішення істотно більшого числа типових завдань надійності. Якщо на основі DN-розподілу вирішується 25 типових завдань надійності, то на основі експоненціального розподілу тільки 13, із визначених 25 [3].

Основні характеристики дифузійно-немонотонного розподілу [3]:

1. Щільність імовірності:

$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu}}{vt\sqrt{2\pi t}} \exp \left[ -\frac{(t-\mu)^2}{2v^2\mu t} \right];$$

2. Модель відмов (функція розподілу):

$$F(t) = DN(t; \mu; v) = \Phi \left( \frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}} \right) + e^{2v^{-2}} \cdot \Phi \left( -\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}} \right);$$



3. Модель надійності (імовірність безвідмовної роботи):

$$R(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - e^{2v^{-2}} \cdot \Phi\left(-\frac{\mu+t}{v\sqrt{\mu t}}\right);$$

4. Математичне сподівання:  $M(t) = \mu$ ;

5. Дисперсія:  $D(t) = \mu^2 v^2$ ;

6. Коефіцієнт варіації:  $V(t) = v$ ;

7. Коефіцієнт асиметрії:  $A_s = 3v$ ;

8. Коефіцієнт ексцесу:  $E_k = 15v^2$ .

Загально визнаними критеріями ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження є коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання, які зв'язані простою залежністю [3].

З метою обґрунтування дифузійно-немонотонного розподілу у якості моделі відмов розглянемо порівняння ефективності технічного обслуговування авіаційних засобів ураження, за коефіцієнтом технічного використання для моделей дифузійно-немонотонного і дифузійно-монотонного розподілів відмов [7-11].

Процес експлуатації зразків авіаційних засобів ураження, будемо описувати з використанням напівмарковського випадкового процесу. Такий процес передбачає існування дискретних станів, які змінюються з часом детерміновано або випадково. Таким чином, зміна станів відбувається з певними ймовірностями переходів, а час перебування у станах моделі є детермінованим або випадковим.

У подальшому планується визначити залежність коефіцієнту технічного використання від періодичності проведення регламентних робіт при різній вірогідності зовнішньої системи контролю, залежність коефіцієнту технічного використання від періодичності проведення регламентних робіт при різних значеннях параметрів форми та масштабу, залежність коефіцієнту технічного використання від ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю при різних значеннях параметрів форми, масштабу та часу.

### **Висновки**

Таким чином, визначено, що використання двопараметричних імовірнісно-фізичних моделей надійності (дифузійних законів розподілу) надає можливість підвищити точність оцінок показників надійності об'єктів і зниження витрат на забезпечення надійності. Враховуючи твердження, що авіаційні засоби ураження значною мірою містять механічні та електричні приладів, то під час вибору моделі відмов було враховано фізичну сутність об'єкта експлуатації і з дифузійних законів розподілу, для вирішення наукового завдання

дослідження, було обрано дифузійно-немонотонний розподіл.

### **Список використаних джерел**

1. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення: ДСТУ 3433-96. – К.: Держспоживстандарт України, 1996. – 42 с. – (Національний стандарт України).
4. Стрельников В.П. Оценка ресурса изделий электронной техники // Математичні машини і системи, 2004 - №2. – С. 186-195.
5. Стрельников В.П. Расчет надежности паралельных структур на основе аппарата функций случайных аргументов с использованием DN - распределения // Радиоэлектронные системы, 2007 – № 2. – С. 21-25.
6. Стрельников В.П. Вероятностно-физические методы исследования надежности машин и аппаратуры // Надёжность и контроль качества, 1989. - №9. - С. 3-7.
7. Стрельников В.П. Определение ожидаемой остаточной наработки при DM-распределении // Математичні машини і системи, 2000. – № 1. - С. 94-100.
8. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – К.: Наукова думка, 1976. – 184 с.
9. Сильвестров Д.С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (Основы расчета функциональных и надёжностных характеристик стохастических систем) / Д.С. Силевстров. – М.: Советское радио, 1977. – 271 с.
10. Кітк С.В., Мірненко В.І., Яблонський П.М. Застосування дифузійно-немонотонного розподілу для моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки // Journal of Scientific Papers: Social development & Security: електронне наукове фахове видання. ГО "Українська наукова спільнота". – Київ, 2019. – Вип. 9(6). – С. 102-111.
11. Китик С.В., Мирненко В.И., Яблонский П.М., Петренко А.Н., Бутенко Н.А. Моделирование эксплуатации силовых трансформаторов ТМ, ТМГ и ТМН с использованием диффузионно-немонотонного распределения их отказов // Науковий журнал "Nauka i Studia". – Пшемисль, Польща, 2017. – №14(175). – С.106-116.

**Головко Борис Борисович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-2669-9249>

**Баранік Олексій Миколайович** (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-1499-7943>

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

## **ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЧАСУ МІЖ ЗАМОВЛЕННЯМИ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ В СИСТЕМІ ЛОГІСТИЧНОГО (ТЕХНІЧНОГО) ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

*Розглянуто питання оптимізації рівня запасів та часу між замовленнями авіаційних засобів ураження в системі логістичного (технічного) забезпечення авіаційної бригади на основі удосконалення моделі Вільсона, що дозволяє мінімізувати загальні витрати, пов'язані з накопиченням і зберіганням авіаційних засобів ураження на другий і наступні вильоти авіаційної бригади. Сформовані рекомендації щодо накопичення авіаційних засобів ураження в умовах невизначеності.*

**Ключові слова:** логістичне (технічне) забезпечення, утримання, запас, бойовий комплект, авіаційні засоби ураження..

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** В основах будівництва Повітряних Сил Збройних Сил України на період до 2035 року встановлено [1], що основною метою слід вважати приведення військової організації у відповідність з зовнішніми і внутрішньополітичними, соціально-економічними та військово-технічними умовами держави, поточними та перспективними завданнями щодо забезпечення збройної захисту життєво важливих інтересів країни.

Необхідність вирішення цих завдань зумовлює діюча в даний час нова редакція Воєнної доктрини України, в тому числі визначає, вдосконалення системи логістичного (технічного) забезпечення, що відповідає сучасним умовам. Виходячи їх цього, така концепція передбачає, зокрема, вдосконалення всіх компонентів ракетно-технічного забезпечення бойових дій Повітряних Сил.

Сформульовані в тексті військової доктрини підходи до військового реформування визначають необхідність вдосконалення військової організації системи логістичного (технічного) забезпечення.

В результаті проведених в Збройних Силах України реформ була створена принципово нова єдина, інтегрована система логістичного (технічного) забезпечення, проведена оптимізація її структур, змінилися схеми забезпечення, формуються логістичні центри, впроваджена система аутсорсингу, проведені заходи щодо підвищення ефективності забезпечення військових частин Міністерства оборони України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сформована система логістичного (технічного) забезпечення ЗС України є здатною виконувати покладені на неї завдання в повному обсязі, як в умовах існуючих, так і при прогнозованих загрози національній безпеці України. При цьому, розвиток сектору безпеки и оборони України в напрямку

повного і своєчасного забезпечення авіаційних бригад засобами ураження обумовлені необхідністю вирішення наявних в системі протиріччя.

В системі логістичного (технічного) забезпечення військ (сил) управління запасами засобів ураження надається особливе значення, оскільки вони присутні на всьому протязі ланцюгів і каналів [2; 3].

Саме в запасах зосереджені величезні обсяги матеріальних і часових ресурсів, вони присутні на всіх рівнях ієрархії системи логістичного (технічного) забезпечення військ (сил).

Підвищення ефективності забезпечення авіаційної бригади запасами авіаційних засобів ураження в умовах невизначеності призводить до необхідності розробки адаптивної системи логістичного (технічного) забезпечення, на підставі диференціації підходів до управління запасами авіаційних засобів ураження по номенклатурним позиціям.

В основі оптимізації рівня запасу лежить розрахунок величини замовлення авіаційних засобів ураження, який може забезпечити заданий рівень боєготовності при забезпеченні потреби на заданому рівні. Критерієм оптимізації при цьому може є, мінімум загальних витрат, пов'язаних із запасами [3].

Розрахунок оптимальної величини замовлення була розроблена ще в минулому столітті і з тих пір зазнала різноманітні удосконалення. Так, в даний час є різноманітні моделі [3-9], в тому числі та ті, які визначені у відповідних керівних документах на наказах Генерального штабу Міністерства оборони України. Однак дані моделі працюють з заздалегідь визначеними значеннями замовлень та нормативних коефіцієнтів витрат, що негативним чином впливає на точність замовлень кількості та номенклатури засобів ураження в умовах непередбачуваності інтенсивності бойових дій та їх наслідків.

**Мета статті** – удосконалення відомих підходів по забезпеченню авіаційної бригади запасами авіаційних засобів ураження в умовах невизначеності.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо розподіл складових загальних витрат на створення і підтримку запасу авіаційних засобів ураження (АЗУ) більш докладно.

Як відомо [3], витрати на зберігання запасу в загальному випадку мають прямо пропорційну залежність від розміру замовлення: чим більшими партіями поповнюється запас, тим дорожче коштує утримання запасів АЗУ (рис. 1).

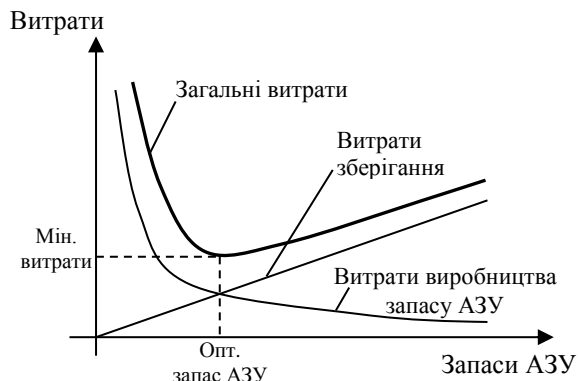


Рисунок 1. Розподіл витрат на створення запасів АЗУ

При розрахунку середнього рівня запасу АЗУ  $i^{\text{ї}}$  номенклатури, та при поповненні його партіями по  $N_i$  одиниць він дорівнює половині цієї величини, т.ч.  $\frac{N_i}{2}$ . Отже, функція витрат на зберігання запасу  $i^{\text{ї}}$  номенклатури має вигляд [3; 6]:

$$C_{зб}^i = \frac{N_i \cdot S_{зб}^i}{2}, \quad (1)$$

де  $N_i$  – розмір заявки на поповнення запасу АЗУ  $i^{\text{ї}}$  номенклатури, одиниць;  
 $S_{зб}^i$  – витрати на зберігання одиниці запасу АЗУ  $i^{\text{ї}}$  номенклатури за рік.

Загальна вартість зберігання запасу АЗУ при визначеній номенклатурі АЗУ становить:

$$C_{зб} = \sum_{i=1}^n C_{зб}^i, \quad (2)$$

де  $n$  – загальна кількість різнотипних АЗУ, які можливо застосовувати з повітряних суден авіаційної бригади.

В подальшому розглянемо обґрунтування запасів АЗУ на прикладі однієї номенклатури.

Вартість розміщення заявки включає постійні витрати, пов'язані з видачею замовлень.

Чим більшим розміром є заявка на поповнення запасів АЗУ заданої номенклатури, тим рідше формуються заявки, тим, отже, менше витрати, пов'язані з вартістю розміщення заявки (див. Рис. 1), що більш доцільно в заздалегідь відомих, стаціонарних умовах. Якщо загальна потреба в одиничний період часу становить  $M$  одиниць АЗУ, а задоволення цієї потреби ведеться партіями по  $N$  одиниць, то ставлення  $\frac{M}{N}$  визначає кількість замовлень АЗУ в одиничний період, який, зазвичай, становить календарний рік.

Тоді загальна вартість розміщення замовлення становить [3; 6]:

$$C_{pz} = \frac{M}{N} S_{не}, \quad (3)$$

де  $C_{pz}$  – вартість розміщення замовлення;

$M$  – обсяг використаних АЗУ в авіаційній бригаді за рік, одиниць;

$N$  – розмір заявки, який поповнює запас АЗУ, одиниць;

$S_{не}$  – накладні витрати на одну заявку АЗУ;

Вартість замовлення не впливає на зміну розміру оптимального розміру замовлення, так як є постійною величиною. Її величину можна розрахувати наступним чином [3; 6]:

$$C_з = CM, \quad (4)$$

де  $C_з$  – вартість розміщення заявки;

$C$  – витрати на зберігання одного АЗУ за рік;

$M$  – обсяг використаних на бойову підготовку та бойове застосування АЗУ за рік, одиниць.

Загальні витрати по створенню та підтриманню запасів АЗУ, таким чином, можуть бути розраховані шляхом врахування виразів (1), (3), (4):

$$C_{заг} = \frac{N \cdot S_{зб}}{2} + \frac{M}{N} S_{не} + CM, \quad (5)$$

Диференціація функції загальних витрат (5) за розміром заявки  $N$  призводить до отримання формули Вільсона [3; 6]

$$N^* = \sqrt{\frac{2S_{не}M}{S_{зб}}}, \quad (6)$$

де  $N^*$  – оптимальний розмір заявки (обсяг одноразової поставки), одиниць АЗУ.

Розрахунок оптимального розміру замовлення за формулою Вільсона може бути покладено в визначення оптимального інтервалу часу між замовленнями АЗУ [3; 6]:

$$T_n = \sqrt{\frac{2S_{нв}}{MS_{зб}}}, \quad (7)$$

Той же результат можна отримати, прирівнявши вирази, що описують витрати на зберігання запасу і вартість розміщення замовлення формули (1), (3) [3; 6]:

$$\frac{N \cdot S_{зб}}{2} = \frac{M}{N} S_{нв}, \quad (8)$$

Слід також відмітити, що всі дані модифікації формули Вільсона приведені білі для припущення, що задоволення заявки ведеться однономенклатурними виробами, що є досить рідкісною практикою. Найчастіше працюють з багатоменклатурними замовленнями, коли однієї партії поставки присутній ціла гама різних найменувань АЗУ.

Для розрахунку оптимальних розмірів замовлення кожного з найменувань необхідно скористатися формулою:

$$N_i^* = M_i \sqrt{\frac{2S_{нв}}{MS_{зб}}}, \quad (9)$$

де  $M_i$  – обсяг використаних АЗУ (потреба в запасі)  $i$  найменування за рік, одиниць;

$\bar{M}$  – вектор потреб в запасі різних найменувань в плановому періоді часу, натуральні одиниці виміру (включає в себе безліч чисел, що відповідає кількості найменувань АЗУ в постачанні);

$\bar{S}_{зб}$  – вектор витрат на зберігання одиниці запасу різних найменувань в плановому періоді часу, грошові одиниці виміру (включає в себе безліч чисел, що відповідає кількості найменувань АЗУ в постачанні).

Незважаючи на потенційну можливість визначення раціональних значень як обсягу заявки так і проміжку часу між заявками за формулами (7), (9) слід відмітити, що не враховуються умови невизначеності в процесі логістичного (технічного) забезпечення, що перш за все стосується опису зміни потреб у АЗУ при переході від масованих бойових дій для першого та другого вильотів до бойових дій

за викликом починаючи з третього вильоту авіаційної бригади.

Пропонується удосконалити вираз (9) за рахунок введення оцінки випадкової величини обсягу використаних АЗУ  $M_i$  з послідовним переходом від оцінки обсягу необхідних для ведення бойових дій АЗУ авіаційною бригадою до її математичного сподівання кількості  $\bar{M}_i$ , що підвищить адаптивність системи логістичного (технічного) забезпечення і як наслідок знизить витрати в стаціонарних умовах.

Завдяки характеру залежностей представлених на рис. 1 можливо зробити висновок про малу чутливість до помилок у вихідній інформації або в прогнозні попиту через малої кривизни графіка загальних витрат в області оптимального розміру замовлення АЗУ.

Так, помилку прогнозу кількості АЗУ у +20% призведе за розрахунками до зміни оптимальної кількості АЗУ в заявці лише в 9,5%. Аналогічно, якщо витрати на зберігання розраховані з помилкою -20%, то помилка розрахунку оптимального розміру замовлення складе 11,8% та якщо помилка розрахунку витрат на зберігання АЗУ становить +20%, то помилка розрахунку мінімального розміру в заявці складе лише 8,7%.

Функція загальних витрат  $C_{заг}$  в рамках свого мінімального значення  $\pm 20\%$  змінюється дуже незначно. Поза цими межами витрати різко знижуються або зростають.

Незважаючи на те, що формула (6) розрахунку оптимального розміру замовлення має множинні модифікації, використання відповідної оцінки величини АЗУ у заявці дозволяє розширити коло різноманітних ситуацій роботи з запасом АЗУ в умовах невизначеності.

### **Висновки**

Таким чином представлений в статті підхід дозволяє уточнити розмір запасу засобів ураження це необхідний крок на шляху вдосконалення роботи з запасами АЗУ авіаційної бригади, і має велике значення для підвищення ефективності матеріального забезпечення військ (сил).

Завдяки тому що зростання значення загальних витрат при зниженні розміру заявки визначеної АЗУ відносно оптимального розміру заявки йде значно інтенсивніше, ніж при розміру заявки в більшу сторону від оптимального розміру заявки, можна сформулювати наступні рекомендації щодо своєчасного накопичення авіаційних засобів ураження в умовах невизначеності при масованих бойових діях авіаційної бригади:

- формувати заявку на поповнення бойових комплектів військових запасів АЗУ необхідної номенклатури, на 10% більшою;

- інтервал часу між замовленнями АЗУ обирати на основі формули (7).

Правильний підхід до моделювання та оптимізації запасів в системі логістичного (технічного) забезпечення військ (сил) дозволить правильно вибрати модель управління запасами, розрахувати оптимальний розмір заявки для оптимізації рівня запасів АЗУ, при цьому значно заощадивши бюджет Повітряних Сил Збройних Сил України та держави в цілому.

### Список використаних джерел

1. Метод оцінювання ефективності виконання програм (планів) розвитку Збройних Сил України з урахуванням повноти та своєчасності їх фінансування / О.М. Семененко, О.Г. Водчиць, Л.М. Семененко, Р.В. Бойко, Д.В. Башинський, Г.Г. Зубрицька // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – Вип. 2 (51). – С. 51-58. <https://doi.org/10.30748/zhups.2017.51.10>.
2. Романов В. К вопросу о путях достижения национальной безопасности в условиях глобализации: проблемы теории и практики в контексте внешней политики России и Польши [Електронний ресурс] / В. Романов // Безопасность и оборона – 2016. – № 1(2), С. 7-15. Режим доступа до журн.: [http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De\\_Securitate\\_12\\_2016.pdf](http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De_Securitate_12_2016.pdf).
3. І.П.Коровін., В.Т. Марценківський Планування та організація технічного забезпечення бойових дій авіації

Повітряних Сил / І.П.Коровін., В.Т. Марценківський. – ч.2. К: НАОУ, 2006. – 183 с.

4. Грачёв В.В., Курбанов А.Х. Современное состояние, проблемы и направления совершенствования системы материально-технического (ресурсного) обеспечения силовых министерств и ведомств // Ресурсное обеспечение силовых министерств и ведомств: вчера, сегодня, завтра: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Пермь: Изд-во ПВИ войск национальной гвардии, 2016. – №1. С. 83–87.
5. Altintas, Nihat; Erhun, Feryal; Tayur, Sridhar (2008). "Quantity Discounts Under Demand Uncertainty". *Management Science Journal*, Vol. 54 (4): pp.777-92.
6. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок. М.: ИНФРА-М, 2008. - 430 с.
7. Blind K., (2017) 'The Economic Functions of Standards in the Innovation Process', in Hawkins, R., Blind, K. and Page, R. (eds.) *Handbook of Innovation and Standards* (Cheltenham/Northampton, MA: Edward Elgar): pp. 38- 62. <https://doi.org/10.4337/9781783470082.00010>
8. Ford, M. (2017) *Weapon of Choice: Small Arms and the Culture of Military Innovation* (Oxford/New York: Oxford University Press).
9. Bellouard, P. and Fonfría, A. (2018) 'The Relationship between Prime Contractors and SMEs: How to Best Manage and Fund Cooperative Programmes', ARES Group Report, No. 24. See: <http://www.irisfrance.org/wp-content/uploads/2018/01/Ares-24-Policy-Paper-SME.pdf>

**Яблонський Петро Михайлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

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

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

**Авраменко Олександр Васильович** (д-р техн. наук)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

**Косков Юрій Максимович**

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

**Іванов Василь Іванович**

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

**П'явчук Олександр Олександрович**

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

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

## **ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ, ЩО ПРАЦЮЄ В ДВОХ ЗМІННИХ РЕЖИМАХ ВИКОРИСТАННЯ**

*У статті розглянуті питання оцінки надійності систем, що працюють зі змінним режимом роботи. З використанням теорії напівмарковського випадкового процесу здійснено розрахунок імовірності безвідмовної роботи системи, що працює у двох змінних режимах роботи, при цьому у кожному із режимів система працює невідмовний інтервал часу, а функція розподілу часу безвідмовної роботи має експоненціальний характер.*

**Ключові слова:** надійність, змінний режим роботи, імовірність безвідмовної роботи, експоненціальний розподіл, невідмовний інтервал часу.

### **Постановка проблеми**

Питанням розрахунку надійності систем, що працюють зі змінним режимом роботи, в науковій літературі приділяється певна увага. Найпростішим є випадок, коли система працює у двох змінних режимах, які притаманні багатьом технічним системам. В наявній роботі розглядається випадок, коли система працює у першому режимі невідмовний інтервал часу  $T_0$  з відомою інтенсивністю, а у другому режимі – невідмовний час  $T_1$  з іншою інтенсивністю. Вважається, що функція розподілу часу безвідмовної роботи має експоненціальний характер.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій**

В роботі “Оценка надежности систем с переменным режимом использования” [1] розглянута постановка такої проблеми з припущенням, що час безвідмовної роботи має експоненціальний характер. У наявній роботі з використанням теорії напівмарковського випадкового процесу [2] розглядається випадок, коли інтервали  $T_0$  і  $T_1$  невідмовкові.

В роботі “Оценка надежности систем, работающих с переменным режимом использования” [3] розглядалась аналогічна постановка задачі. Під час визначення імовірності безвідмовної роботи в статті допущена помилка, яка суттєво ускладнює визначення імовірності безвідмовної роботи. У наявній статті така помилка усунена, отриманні у роботі результати свідчать про правильність виконаних розрахунків.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

У військовій справі існує багато технічних систем, які працюють у змінних режимах використання обладнання. Наприклад, на літаку МІГ-29 радіонавігаційна система ближньої навігації А-323 працює в двох режимах, а саме режим Навігації та режим Посадка. Командна радіостанція Р-862 на літаках Повітряних Сил може працювати в режимі прийому і передачі. Частина елементів кожної системи з певною інтенсивністю відмов протягом деякого інтервалу часу знаходяться у робочому стані. Потім вона відключається і включаються другі елементи з відомою інтенсивністю відмов, що працюють протягом іншого інтервалу часу.

У загальному випадку система може знаходитись в  $n$  режимах використання, але у наявній статті розглянуто два режими, що відрізняються інтенсивністю відмов та часом перебування у кожному з режимів [4-6].

Нижче розглядається задача визначення імовірності безвідмовної роботи технічної системи, що працює зі змінним режимом використання елементів для випадку, коли функція розподілу часу до відмови експоненціальна, а час напрацювання у кожному з двох режимів невідмовний [6-8].

Позначимо інтенсивність відмов системи в першому режимі через  $\lambda_0$ , а в другому режимі – через  $\lambda_1$ . Різниця в значеннях  $\lambda_0$  і  $\lambda_1$  пояснюється неоднаковим числом елементів у кожному режимі. Нехай об'єкт працює у кожному режимі

невипадковий деякий час  $\eta_0$ , а в другому режимі – час  $\eta_1$ .

Будемо вважати, що функція розподілу часу перебування у кожному з двох режимів має вигляд [9-11]:

$$F(\eta_i \leq t) = \begin{cases} 0 & \eta_i < T_i; \\ 1 & \eta_i \geq T_i, \quad i=0,1. \end{cases} \quad (1)$$

$$R(t) = \sum_{0 \leq n \leq \frac{t}{T_0+T_1}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0 + \lambda_1 T_1})^n [f(K_i) e^{-\lambda_0(t-T_0+T_1)n} + e^{-\lambda_0 T_0} [f(K_j) (e^{-\lambda_1(t-T_0-(T_0+T_1)n})} - e^{-\lambda_0(t-T_0-(T_0+T_1)n})} - f(K_2) e^{-\lambda_1 T_1} e^{-\lambda_1(t-T_0+T_1)(n+1)}] ], \quad (2)$$

$$\text{де: } f(K_i) = \begin{cases} 0 & t < (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq (T_0+T_1)n; \end{cases}$$

$$f(K_j) = \begin{cases} 0 & t < T_0 + (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq T_0 + (T_0+T_1)n; \end{cases}$$

$$f(K_2) = \begin{cases} 0 & t < T_0 + (T_0+T_1)n, \\ 1 & t \geq (T_0+T_1)(n+1). \end{cases}$$

Якщо у формулі (2) прийняти, що  $\lambda_1=0$  і  $T_1=0$ , тобто вважати, що система працює тільки в одному режимі, то отримаємо:

$$R(t) = \sum_{0 \leq n < \frac{t}{T_0}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0})^n [f(K_i) e^{-\lambda_0(t-nT_0)} - e^{-\lambda_0 T_0} f(K_j) e^{-\lambda_0(t-T_0)(n+1)}] \quad (3)$$

$$\text{де } f(K_i) = \begin{cases} 0 & t < (T_0)n, \\ 1 & t \geq (T_0)n; \end{cases}$$

$$f(K_j) = \begin{cases} 0 & t < 1+nT_0, \\ 1 & t \geq (1+n)T_0. \end{cases}$$

Для вказаних значення  $f(K_i)$  і  $f(K_j)$  формула (3) буде мати вигляд:

$$R(t) = \sum_{0 \leq n < \frac{t}{T_0}} (-1)^n (-e^{-\lambda_0 T_0})^n. \quad (4)$$

Для  $n=0$ ,  $R(t)=1$ , для  $n=1$   $R(t)=e^{-\lambda_0 T_0}$ , для  $n=2$ ,  $R(t)=e^{-2\lambda_0 T_0}$ , тобто імовірність безвідмовної роботи буде залежати тільки від  $\lambda_0$ ,  $T_0$  і числа  $n$  і

буде зменшуватися тим більш, що більшим буде поточний час, а значить і число  $n$ .

Для проведення розрахунку залежності імовірності безвідмовної роботи від часу для системи, працюючої зі змінним режимом використання, ми використали наступні значення:

$$T_0=80 \text{ год.}; T_1=20 \text{ год.}; \lambda_0=2,5 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{год}};$$

$$\lambda_1=3,5 \times 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}.$$

За формулами (3) та (4) проведені розрахунки з використанням MathCad-15, результати яких показано на рис. 1.



Рисунок 1. Графік залежності безвідмовної роботи системи, що працює у двох різних режимах роботи

Червоною лінією позначено систему, що працює у першому режимі невідмовний час  $T_0$  з інтенсивністю  $\lambda_0$ , а в другому режимі -  $T_1$ ,  $\lambda_1$  відповідно. Крім того, для  $n=1$ , тобто при  $T_1$  і  $\lambda_1=0$  імовірність безвідмовної роботи буде  $R(t)=e^{-(\lambda_0 T_0)}$ . Тобто з рис.1 робимо висновок, що при  $t=T_0$  імовірність безвідмовної роботи двох графіків співпадає, що свідчить про правильність проведених розрахунків.

### **Висновки**

Таким чином, у наявній науковій статті здійснено розрахунок надійності безвідмовної роботи двох систем, що працюють у змінних режимах роботи, а саме: у першому режимі невідмовний час  $T_0$  з інтенсивністю  $\lambda_0$ , а в другому режимі -  $T_1$  з інтенсивністю  $\lambda_1$ .

Розрахунки проведені з використанням програми MathCad-15. Показано, що в разі, коли один з режимів відключений, а у другому режимі система працює лише час  $T_0$ , імовірність безвідмовної роботи обох систем співпадає. Отримані результати можуть бути використанні на практиці для багатьох технічних систем, що працюють у змінних режимах роботи.

### **Список використаних джерел**

1. Броди С.М., Власенко О.Н. Оценка надежности систем с переменным режимом использования / С.М. Броди, О.Н. Власенко // Техническая кибернетика, 1967. – С. 35-38 с.
2. Королюк В.С. Время пребывания полумарковского процесса в фиксированном множестве состояний / В.С. Королюк // Украинский математический журнал, 1965. Т. 17. – С. 123-128 с.
3. Яблонский П.М. Оценка надежности систем, работающих с переменным режимом использования / П.М. Яблонский // Автоматика и

вычислительная техника, 1977. – С. 26-28 с.

4. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т. 9: Техническая диагностика / Под общ. ред. В.В. Клюева, П.П. Пархоменко. – 352 с.

5. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем: учебник для вузов / В.А. Зорин. - М.: ООО «Магистр-Пресс», 2005. - 536 с.

6. Стрельников В.П. Состояние и перспективы теории и практики надежности // Надежность и долговечность машин и сооружений: Международный научно-технический сборник, 2005. - Вып. 24. - С. 27-38.

7. Сотсков Б.С. Физика отказов и определение интенсивности отказов // О надежности сложных технических систем. - М.: Советское радио, 1966. - С. 289-306.

8. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность / Пер. с англ. - М.: Энергия, 1966. - 231 с.

9. Сильвестров Д.С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (Основы расчета функциональных и надежностных характеристик стохастических систем) / Д.С. Силевестров. – М.: Советское радио, 1977. – 271 с.

10. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 480 с.

11. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.

12. Беляев Ю.К. Надежность технических систем: [Справочник-Н17] / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 608 с.

13. Надежность в машиностроении: [Справочник-Н17] / Под общ. ред. В.В. Шашкина, Г.П. Карзова. - СПб.: Политехника, 1992. - 719 с.



**Чепурний Юрій Васильович**

<https://orcid.org/0000-0002-2615-1312>

**Онищенко Володимир Михайлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6547-6646>

*Харківський Національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*

## **РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ СТРАХОВОГО ЗАПАСУ АВІАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО МАЙНА**

*Проведеними експериментальними дослідженнями було встановлено, що на величину страхового запасу істотний вплив роблять наступні фактори: випадковість попиту, відхилення часу постачання від запланованого, можливість невиконання постачальником зобов'язань за обсягом постачань. Таки чином, при моделюванні умов, наближених до реальних, не вдається аналітично розв'язувати проблему розрахунку величини страхового запасу, тут доцільним може бути застосування методів імітаційного моделювання. Це дозволяє стверджувати про практичну привабливість запропонованого технологічного рішення.*

**Ключові слова:** *страховий запас; імітаційне моделювання, керування запасами.*

### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Відмови відбуваються при експлуатації в понад надійній авіації та в технічних системах військового призначення, що спираються на новітні технології. Яка б не була причина відмови, для споживача дуже важливий коефіцієнт готовності технічної системи, залежний від можливості заміни вузла, що відмовив.

**Аналіз останніх досліджень.** Як справедливо відмічали класики теорії надійності Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев і И.Н. Коваленко "методи розрахунку кількості запасних частин, необхідного для нормальної експлуатації устаткування, знаходяться в край запущеному стані". Особливо це відноситься до математично - економічних методів. На жаль, відтоді ні в теорії, ні в її використанні значного прогресу не спостерігалось [1].

Розробці теоретичних засад управління логістичними потоками та страховими запасами присвячено роботи багатьох вітчизняних та закордонних вчених і практиків: Анікіна Б.О., Бауерсокса Д.Дж. [2], Беседіної Н.В., Гаджинського А.М., Клосса Д.Дж., Криковського Є.В., Кристофера М., Кузнецова В.Г., Ліндерса М.Р., Міротіна Л.Б., Макарова П.О., Ніколайчука В.Є., Пономарьової Ю.В., Радіонова А.Р., Раштон А., Сергєєва В.І., Уотерса Д., Фірона Х.Є., Фролової Л.В., Хідлі Д., Шапіро Дж., Шрайбфедер Дж. та ін.

На нашу думку, проблема використання системно-динамічного моделювання для удосконалення управління страховими запасами на даний час не знайшла належного висвітлення у сучасній науковій літературі, що зумовлює необхідність дослідження цього важливого і практично значущого питання.

**Мета статті** – розробка імітаційної моделі процесу управління страховими запасами авіаційно-технічного майна.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

У випадках, коли попит на авіаційне – технічне майно (АТМ) перевищує очікування, виникає потреба в так званих "аварійних" джерелах постачання. На практиці попит на АТМ точно спрогнозувати вдається надзвичайно рідко. Ця ж проблема існує і при точності передбачення термінів реалізації замовлень, звідси - необхідність створення резервних матеріальних запасів [1-5].

Будь-який елемент системи управління запасами (СУЗ) завжди буде намагатися мінімізувати рівень своїх резервних запасів відповідно до задекларованої нею стратегією обслуговування замовників. В даній ситуації також виникає необхідність компромісу, пов'язаного з витратами щодо зберігання страхових (резервних) запасів, які призначені та пристосовані до несподіваних коливань попиту, і вигодами, які одержують технічні системи для підтримки необхідного рівня коефіцієнта готовності [1, 10-13, 20, 21].

Основні фактори, що впливають на рівень необхідних резервних запасів, є:

- коливання термінів відновлення рівня запасів АТМ;
- коливання попиту на відповідні АТМ протягом терміну експлуатації технічної системи;
- обрана стратегія обслуговування технічної системи.

Визначення точного рівня резервних запасів, необхідних в умовах нестабільності попиту на АТМ, - справа нелегка. Імовірнісна природа

вищевказаних коливань та нестабільності означає, що для знаходження задовільних розв'язань проблем, пов'язаних з резервними матеріальними запасами, зазвичай необхідне відповідне моделювання або імітація [10-16, 19].

Йдеться про оцінку ефективності системи за допомогою імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання являє собою спостереження за поведінкою моделі системи під впливом вхідних впливів [6-9].

При цьому частина з них (а, може бути, і всі) мають випадковий характер. В результаті такого спостереження дослідник отримує набір експериментальних даних, на підставі яких можуть бути оцінені характеристики системи.

Очевидно, що аналітичні моделі для проведення імітаційного експерименту є такими, що не придатні.

Створювана імітаційна модель повинна відповідати двом основним вимогам:

- 1) показувати логіку функціонування досліджуваної системи в часі;
- 2) забезпечувати можливість проведення статистичного експерименту.

В основі поняття «статистичний експеримент» лежить метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло). Суть його полягає в тому, що результат випробування ставиться в залежності від значення деякої випадкової величини, розподіленої за заданим законом. Тому результат кожного випробування також має випадковий характер.

Провівши серію випробувань, отримують безліч часткових значень характеристики, що спостерігається, тобто вибірку. Отримані статистичні дані обробляються і видаються у вигляді відповідних чисельних оцінок величин (характеристик системи), які цікавлять дослідника (Рис. 1).

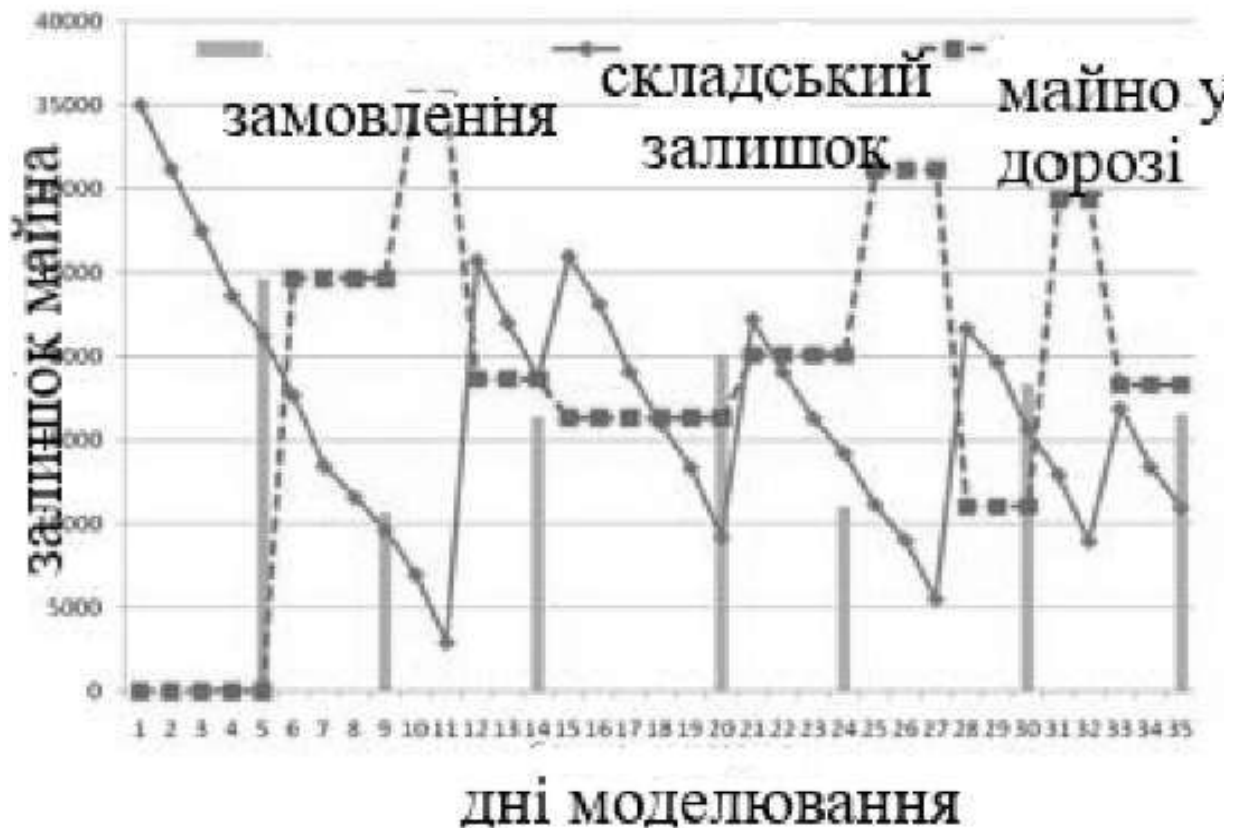


Рисунок 1. Результати імітаційного експерименту

Теоретичною основою методу статистичних випробувань є граничні теореми ймовірності (теорема Чебишева, теорема Бернуллі, теорема Пуассона). Принципове значення граничних теорем полягає в тому, що вони гарантують високу якість статистичних оцінок при досить великій кількості випробувань.

Важливо відзначити, що метод статистичних випробувань застосовують для дослідження як стохастичних, так і детермінованих систем.

Реалізація даного методу практично неможлива без використання персональних комп'ютерів.

Найбільш повно дозволяє використовувати імітаційне моделювання в програмі MATLAB. Вона орієнтована в першу чергу на обробку великих масивів даних (матриць і векторів), а також на їх візуалізацію. Дана програма в порівнянні з мовами програмування "загального призначення" (Pascal, C і т. ін.) більш ефективна при роботі з зазначеними типами даних. З точки зору

користувача, MATLAB вміщує багату бібліотеку функцій.

Ілюстрацією до сказаного вище може служити застосування методу імітаційного моделювання при розрахунку параметрів СУЗ "мінімум - максимум" і безпосередньо - рівня гарантованого запасу.

В системі "мінімум - максимум" постачання виконуються за умови, що запаси в встановлений момент часу виявилися рівними або меншими порогового рівня. Збої в постачаннях можуть бути пов'язані з затримкою в постачаннях, передчасним постачанням, з неповною постачаю, з постачаю завищеного обсягу.

Система "мінімум - максимум" реагує на всі види збоїв в постачанні, оскільки ведеться облік плинного рівня запасу при розрахунку розміру видається замовлення і гарантійний запас включається в пороговий рівень запасу. Збої в споживанні пов'язані з можливістю прискорення або скорочення інтенсивності споживання протягом часу.

В системі "мінімум - максимум" використання розрахункового розміру замовлення, а також порядок визначення моменту видачі замовлення дозволяють врахувати можливість зміни споживання, використовуючи параметр очікуваного споживання за час постачі. Модель роботи системи в умовах наявності збоїв в споживанні передбачає, що зміна інтенсивності споживання відбувається за кожен цикл роботи системи [4].

### **Висновки**

Розглянута система управління запасами "мінімум - максимум" застосовна лише до вельми обмеженого спектра умов функціонування і взаємодії постачальників і споживачів АТМ. Підвищення ефективності використання даної СУЗ в логістичній системі організації призвело до необхідності розробки оригінальної методики розрахунку гарантійних запасів, заснованої на імітаційному моделюванні поведінки системи.

Варто відзначити, що будь-яка імітаційна модель, на відміну від оптимізаційної, не дозволяє отримати кінцеве рішення з формування запасів, вона лише формує кінцевий результат в залежності від вихідних даних. Для визначення оптимальної стратегії управління страховими запасами в логістичній системі постачання АТМ, необхідно здійснити прогін моделі для різних значень керівних змінних.

### **Список використаних джерел**

1. Теория очередей и управление запасами: Учебное пособие. /Под ред. Рыжикова Ю.И. – Питер: Санкт-Петербург, 2001. С. 239-240.
2. Бауерсокс Д.Дж., Клосс Д.Дж. Логистика:интегрированная цепь поставок/пер. с англ. Н.Н.Барышниковой, Б.С.Пинскера. 2-е изд. Москва: Олимп-Бизнес, 2008. 640 с.

3. Логистика: Учебное пособ. /Под ред. Аникина Б.А. – М.: ИНФРА – М, 1998. С.243-244.
4. Практикум по логистики: Учебное пособ. /Под ред. Аникина Б.А. – М.: ИНФРА – М, 1999. С.169-170.
5. Dr.Michael I.Young. Cognitive process modeling (CPM) Washington. 1998. №3. – P.23.
6. Гультьев А.К. MATLAB 5.2 Имитационное моделирование в среде Windows: Практич. пособ. – СПб.: КОРОНА принт, 1999. С. 35-38.
7. Зайковская Г.Г. К вопросу о реализации имитационной модели управления запасами на примере предприятия оптовой торговли / Г.Г. Зайковская // Логистика. 2011. №3. С. 20-22.
8. Зайковская Г.Г. Управление товарным запасом оптового предприятия в условиях неопределенности с использованием методов имитационного моделирования / Г.Г. Зайковская // Логистика и управление цепями поставок. 2011. №1. С. 87-90.
9. Зайковская Г.Г. Решение проблемы оптимизации товарного запаса на предприятиях оптовой торговли с применением методов имитационного моделирования / Г.Г. Зайковская // Логистика. 2010. №4. С. 18-20.
10. Чепурной Ю.В. Управление страховыми запасами. Вестник Харьковского государственного экономического. 2001. №3(19). С. 77-78.
11. Чепурной Ю.В. Оперативное управление запасами. Вестник Харьковского государственного экономического. 2000. №4(16). С. 66-68.
12. Хэндильт Р.Б., Николс-мл. Э.Л. Реорганизация цепей поставок. – М.:Издательский дом «Вильямс». 2003. – 416 с.
13. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами. – М.: Альпина Бизнес Букс. 2006. – 304 с.
14. Емельянов А.А. и др. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие/ А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; Под ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
15. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
16. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. – М.: Дело, 2003. – 336.
17. Линдерс М.Р. Управление снабжением и запасами. Логистика/М.Р. Линдерс, Х.Е. Фирон. - 11-е изд. –СПб.: ПОЛИГОН, 1999. – 768 с.
18. Стерлигова А.Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник – М.: ИНФРА-М, 2008. - 430 с.
19. Воронин В.Е., Куранцева В.С. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. Саратов: Поволжская академия государственной службы им. П. А. Столыпина, 2006.
20. Дыбская В.В., Зайцев Е.И., Сергеев В.И., Стерлигова А.Н. Логистика: полный курс МВА (учебник). - М.: ЭКСМО, 2008. – 944с.
21. Широченко, Н. В. Управление запасами : учебное пособие / Н. В. Широченко. —Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2020. —98 с.

## БЕЗПЕКА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Глоба Олександр Володимирович

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

Левченко Михайло Антонович (кандидат військових наук, доцент)

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

Паталаха Валерій Григорович (кандидат військових наук, доцент)

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

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

### СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ПРИКРИТТЯ В ХОДІ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ

*Детерміновані моделі живучості будуються на основі зіставлення конкретних видів вражаючих факторів і стійкості до них елементів системи, які досліджуються. Перевагами динамічного підходу оцінювання живучості складних систем є урахування фактору часу при визначенні рівня спроможності об'єкта дослідження. В статті відображені результати роботи щодо вивчення досягнень і поглядів різних авторів щодо живучості систем, визначені властивості і характеристики живучості, запропонований показник живучості і критерії оцінювання його складових. Сформульований додатковий принцип, який також є необхідною умовою забезпечення живучості. Визначені способи та надані рекомендації щодо підвищення живучості системи зенітного ракетного прикриття.*

**Ключові слова:** система зенітного ракетного прикриття, спроможність системи, живучість системи.

#### Вступ

В умовах сьогодення для нашої країни найбільш небезпечною загрозою залишається імовірність широкомасштабної збройної агресії з боку Росії. Наступальні дії збройних сил противника будуть починатися проведенням операцій у повітряно-космічному просторі, тому стійка й ефективна система протиповітряної оборони є важливою складовою бойових спроможностей збройних сил будь-якої країни [1, 11].

Зростання ефективності бойового застосування засобів повітряно-космічного нападу та зміни в поглядах противника на ведення війн майбутнього потребують суттєвого перегляду питань щодо реалізації бойових можливостей зенітних ракетних бригад і полків в умовах швидкої зміни бойової обстановки. Потребують також додаткового вивчення питання бойового застосування військових частин зенітних ракетних військ як складних систем військового призначення, забезпечення їх стійкості і, зокрема, їх живучості.

Питання, які пов'язані з визначенням характеристик, показників, критеріїв і моделей живучості, розробкою методики кількісної оцінки показників живучості складних організаційно-технічних систем та формулюванням принципів та способів забезпечення даної властивості систем розглядалися в багатьох роботах, у тому числі – у [9,10]. Відновленню властивостей складних систем

та створення адаптивної системи технічного забезпечення також присвячена низка робіт. Так, в роботах [3,5,6,7] викладені основи теорії відновлення експлуатаційних властивостей технічних систем, методики рішення задачі розрахунку характеру пошкоджень радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння. Пропозиції щодо розвитку систем та погляди на побудову адаптивної системи представлені в [2,8].

Живучість зенітних ракетних систем у [4] запропоновано оцінювати по дії на її елементи засобів ураження противника з урахуванням імовірностей перебування цих елементів (командного пункту, вогневих засобів) у визначених станах на різних етапах застосування.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

Живучість – це комплексна властивість системи. Комплексний характер цієї властивості визначається тим, що вона проявляється через можливість зберігати чи відновлювати стан спроможності при впливі вражаючих факторів. Якщо звернутися до визначення живучості, які надаються в різних джерелах, то можна помітити, що в ньому збігаються два поняття: “зберігати” і “відновлювати”. Ці слова є основою і визначають основними наступні характеристики живучості

систем: невразливість, відновлюваність й адаптивність.

*Невразливість* характеризує властивість системи зберігати стан спроможності при отриманні пошкоджень від уражаючих факторів.

*Відновлюваність* характеризує пристосованість системи відновлювати стан спроможності протягом допустимого за умовами вирішення задачі часу за рахунок внутрішніх ресурсів.

*Адаптивність* характеризує властивість системи запобігати розвитку вторинних уражень і формувати стан спроможності із залишкового ресурсу.

Визначені характеристики можна використовувати в дослідницьких роботах і прикладних задачах як незалежні. При цьому отримані результати носять приватний характер і мають обмежене застосування. Урахування всього комплексу характеристик та їх взаємозалежностей в моделях живучості наближує оцінку цієї властивості системи до повної.

За узагальнений показник живучості складної системи військового призначення можна прийняти коефіцієнт, який показує частку сил і засобів (елементів системи), які залишаються у стані спроможності виконувати бойові завдання у період між вражаючими діями противника

$$K_{ж} = 1 - \frac{N_{ур} - N_{в} - N_{а}}{N_0},$$

де  $N_{ур}$  – кількість елементів системи, що зазнали ураження внаслідок нанесення удару противника;

$N_{в}$  – кількість уражених елементів системи, які були відновлені у період між закінченням впливу противника до початку наступного впливу;

$N_{а}$  – кількість уражених елементів системи, які у період між вражаючими впливами було приведено до спроможного стану за рахунок властивості адаптації системи військового призначення до умов функціонування;

$N_0$  – загальна кількість елементів системи до впливу вражаючих факторів.

Із визначених властивостей і характеристик зрозуміло, що високого рівня живучості можна досягти шляхом виконання комплексу заходів, який забезпечить максимальне значення показників невразливості, достатній рівень відновлюваності і оптимальний рівень адаптивності. Тому при виробленні рішень по забезпеченню збереження елементів системи військового призначення під час дії вражаючих факторів доцільно застосувати критерій оптимальності. Відновлення системи проводиться з великою долею впливу випадкових вхідних умов (характером і ступенем ураження її елементів). Маючи завдання набути спроможного стану у визначений термін, процес відновлення

доцільно оцінювати за критерієм придатності. Адаптація системи до умов функціонування протягом часу повинна супроводжуватися безперервним процесом вироблення і прийняття рішень з використанням критерію адаптивності.

Системи військового призначення – це такі системи, в яких елементи знаходяться в жорстких структурних залежностях. У теорії дані системи називаються впорядкованими, тобто такими, за якими можна спостерігати і якими можна керувати. Чітко виражена структура дозволяє мати чітке уявлення про її межі і можливість перераховувати всі можливі стани спроможності. Це суттєво полегшує процес моделювання та отримання кількісних оцінок властивості живучості.

В [9] зазначається, що властивістю живучості володіють тільки надлишкові системи. Отже, моделювання властивості живучості має сенс, якщо система надлишкова. Крім того, не визначено чітко, якою живучістю володіє система військового призначення, коли до її складу входять як елементи критичної важливості, тобто, значущі так і ті, які мають низьку структурну значимість. Наприклад, такі елементи, як  $A_1$  на рис. 1.

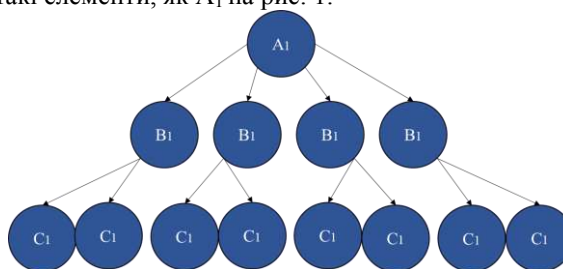


Рисунок 1. Структурна модель системи військового призначення.

Аналіз моделей і методик оцінювання показників живучості систем переконує в тому, що існує деяка стійка система поглядів або принципів, керівництво якими завжди призводить до деякого позитивного ефекту в справі забезпечення даної властивості. Ці принципи можуть бути сформульовані на основі аналізу матриці здатності системи та алгоритму переходу від логічних функцій станів здатності до імовірнісних функцій під час процесу моделювання адаптивності системи військового призначення як структурної системи.

Для визначення способів забезпечення живучості систем військового призначення скористаємося запропонованими в [9] принципами:

1) елементи системи повинні мати малу структурну значимість і високу стійкість;

2) структура системи повинна забезпечувати максимальну або достатню кількість станів спроможності;

3) стан спроможності системи повинен забезпечуватися за можливістю меншою кількістю елементів;

4) різні стани спроможності системи повинні забезпечуватися різними елементами.

Якщо враховувати той факт, що на функціонування системи військового призначення

в умовах ведення бойових дій впливає ще й фактор часу, то можна сформулювати ще один принцип: зміна станів спроможності повинна закінчитися до наступного впливу вражаючих факторів.

Пошук нових принципів і уточнення вже відомих є актуальним науковим завданням. Зазначені принципи є керівництвом до дії при вирішенні задач синтезу живучих систем на рівні завдань впливу на властивості і теоретичною базою для розробки конкретних способів забезпечення живучості систем військового призначення.

Способами забезпечення живучості системи будемо вважати реалізацію одного або одночасно декількох принципів. Відомі в теорії живучості систем способи забезпечення даної властивості реалізуються на різних ієрархічних рівнях – на рівні елементів, на рівні підсистем або на системному рівні.

*Спосіб вибіркового захисту елементів* системи реалізується без будь-яких структурних перетворень. Сили і засоби, дії, що застосовуються для забезпечення живучості повинні бути спрямованими до найбільш значущих (критично важливих) елементів. Їх захист має дати більший ефект, ніж дублювання. Зрозуміло, що слід віддати перевагу захисту елемента, ніж його дублюванню. Спосіб є свого роду протидією, що застосовується у разі невиконання принципу 1.

*Спосіб дублювання* передбачає реалізацію принципів 1 і 2. Він заснований на розвитку структурних надлишковостей елементів призначення.

*Спосіб автономізації* елементів системи передбачає реалізацію принципу 3, коли забезпечення заданого рівня живучості досягається шляхом включення в структуру універсальних за функціональним призначенням елементів-модулів.

*Спосіб розукрупнення або розподілу елементів системи* є реалізацією принципу 1. Його доцільно застосовувати в тому випадку, коли в структурі системи є елементи з такими особливостями:

- елементи володіють високою значущістю (високою структурною значимістю і низькою стійкістю);

- є можливість поділу елементів на частини з подальшим їх розосередженням без істотної зміни властивостей призначення системи.

*Спосіб ешелонування* передбачає розвиток надлишковості на рівні всієї системи або найважливіших її підсистемах.

*Спосіб резервування* передбачає реалізацію принципів 1 і 2. Він заснований на розвитку структурних надлишковостей елементів призначення.

*Спосіб почергового функціонування елементів* передбачає відокремлення або резервування частини елементів системи і застосування їх тоді, коли основні елементи знаходяться у процесі відновлення, а система адаптується до нового етапу впливу вражаючих факторів. Цей спосіб сприяє безперервному функціонуванню системи, що підвищує її ефективність. Його застосування

доцільно тоді, коли не виконуються вимоги 5 принципу.

Слід зазначити, що врахування балансу наявного і потрібного часу є важливим орієнтиром перед виробленням рекомендацій.

Вироблення рекомендацій проведено для спрощеної структурної системи військового призначення (рис. 1), яка містить елементи із наступними умовами: елементи групи В1 не функціонують без елементів А1, елементи групи С1 не функціонують самостійно без елементів групи В1. Моделювання системи максимально наближеної до реального складу системи зенітного ракетного прикриття вимагає визначення ступенів впливу елементів системи одного рівня на елементи іншого рівня (А до В, В до С тощо). Це призводить до необхідності розрахунку і визначення множини станів спроможності системи, що є основою для обґрунтування пропозицій щодо підвищення живучості.

Під час реалізації способів підвищення живучості системи зенітного ракетного прикриття також слід дотримуватись наступних рекомендацій.

1. Для скорочення часу на прийняття рішень необхідно чітко орієнтуватися в особливостях роботи сил і засобів, що знаходяться у підпорядкуванні, їх найменший склад, який забезпечує спроможний стан (рис. 2) і можливості з функціонального переорієнтування (рис. 3)



Рисунок 2. Найменша структура спроможного стану

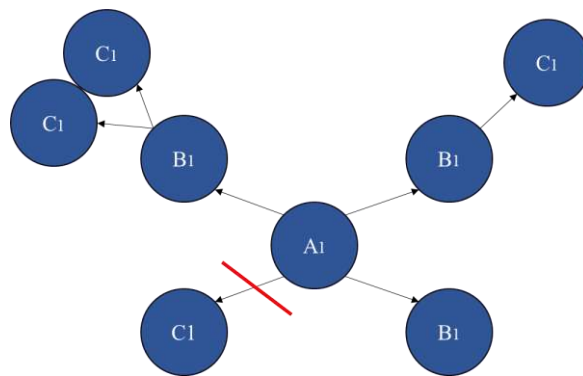


Рисунок 3. Варіанти функціонування системи

2. Розукрупнення елементів системи доцільно провести шляхом розосередження основних і дублюючих елементів на безпечні відстані один від одного. При наявності критично важливих елементів переводити їх в режим послідовної роботи на різних позиціях (рис. 4). З одного боку відстані між новоутвореними позиціями повинні забезпечити їх одночасне неураження системами залпового вогню, а з іншого

вони обмежуватимуться необхідністю найшвидшого пересування між ними критично важливого елемента для своєчасного забезпечення системі військового призначення визначеного спроможного стану.

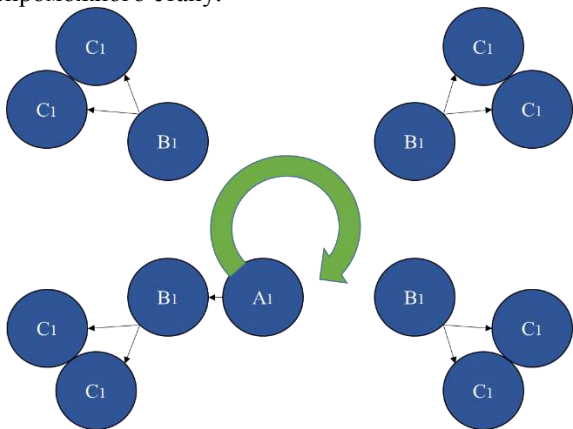


Рисунок 4. Переміщення найбільш значущого елемента системи

3. Після дії вражаючого фактору доцільно здійснити переміщення всіх елементів системи (рис. 5), оскільки існує велика імовірність їх повторного ураження. Переміщення або “перекат” має відбуватися швидко на раніше визначені місця. Наявність декількох таких місць зводить можливість вторинних уражень до нуля.

Взагалі, така логіка є проявом адаптації системи до наслідків дії вражаючих факторів. Розрахунок всіх варіантів дій повинен бути проведений заздалегідь за всіма можливими варіантами дій противника (очікуваними вражаючими факторами).

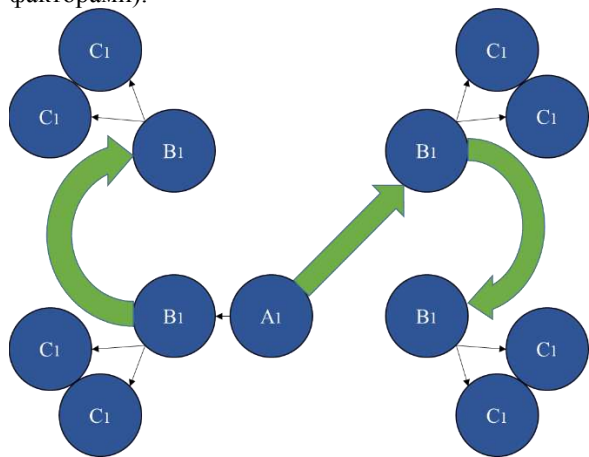


Рисунок 5. Переміщення всіх елементів системи після бою

4. Комбінувати заходи адаптації системи після дій засобів ураження шляхом перегрупування елементів і створення додаткових імітованих позицій із сил і засобів, які не підлягають відновленню (рис. 6).

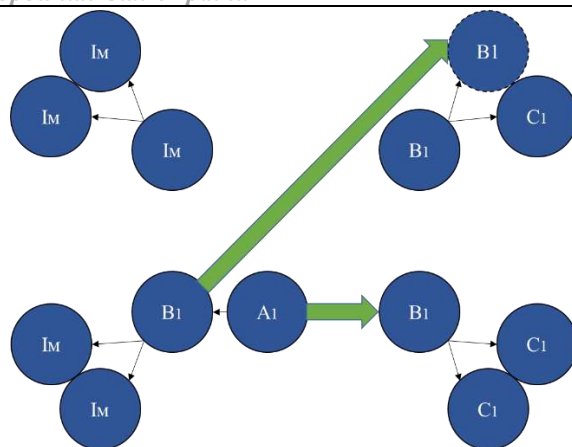


Рисунок 6. Комбіновані заходи адаптації

5. Стосовно основного і критично важливого елемента  $A_1$  нашої системи доцільно застосувати спосіб вибіркового захисту, тобто, відпрацювати комплекс заходів для посилення захищеності його в інженерному відношенні, підвищенню ступеня маскування і введення противника в оману стосовно місця знаходження.

6. Незважаючи на залежність часу відновлення елементів системи військового призначення від впливу зовнішніх факторів вражаючої дії слід укомплектовувати їх не тільки засобами діагностування для прискорення проведення технічних розвідок, а й мінімальними ремонтними комплектами. На елементному рівні до кожного зразка озброєння можна прикріпити мобільні комплекти запасних частин і приладдя, які укомплектовувати найменш стійкими до уражень і струсів складовими.

7. На час відновлення і адаптації системи, тобто, коли вона знаходиться в неспроможному стані, рекомендовано вжити заходів щодо забезпечення безпосереднього прикриття або взаємного прикриття іншою системою військового призначення. Бажано, щоб ця система мала різні з нашою елементами як за функціональним, так і за структурним змістом. Тоді характер і спосіб нанесення повторного ураження матиме менший ефект (рис. 7).

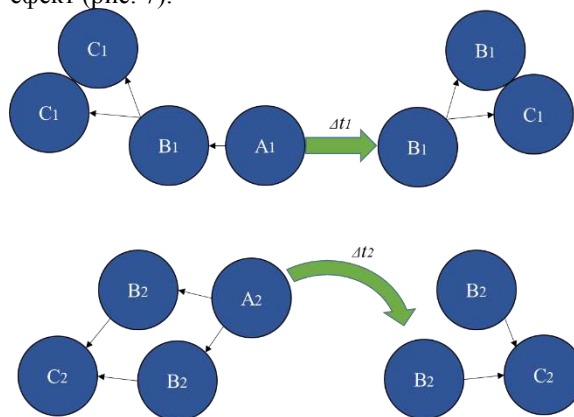


Рисунок 7. Почергове функціонування елементів системи, яка складається з різних елементів

### **Висновки**

Таким чином, ми дослідили існуючі наукові погляди щодо живучості систем з урахуванням особливостей системи зенітного ракетного прикриття. Це дало змогу розкласти властивості і характеристики живучості на складові, визначитися з узагальненим показником і з критеріями оцінювання його складових.

Визначено доцільним застосування:

- додаткового принципу, який також є необхідною умовою забезпечення живучості – принципу №5 – зміна станів спроможності повинна закінчитися до наступного впливу вражаючих факторів;

- додаткового способу – способу почергового функціонування елементів, який передбачає відокремлення або резервування частини елементів системи і застосування їх тоді, коли основні елементи знаходяться у процесі відновлення, а система адаптується до нового етапу впливу вражаючих факторів.

Зусилля подальших досліджень можна зосередити на визначенні впливу живучості на спроможність системи зенітного ракетного прикриття, як складної системи військового призначення.

### **Список використаних джерел**

1. План оборони і нова редакція Стратегічного оборонного бюлетеня: Міноборони завершує розробку двох важливих документів, – Андрій Таран на Всеукраїнському форумі “Україна 30” [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.mil.gov.ua/news/2021/05/11/plan-oboroni-i-nova-redakciya-strategichnogo-oboronnogo-byu-letenya-minoboroni-zavershue-rozrobku-dvoh-vazhli-vih-dokumentiv-andrij-taran-na-vseukrainskomu-foru-mi-ukraina-30/>.

2. Бровко М.Б. Погляди на побудову адаптивної системи технічного забезпечення зенітних ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил України/ М.Б. Бровко, Г.М. Зубрицький, А.О.

Ковальчук, В.В. Старцев. //Системи озброєння та військова техніка. – 2010. – вип. № 1. – С. 31–45.

3. Гребенников Н. Д. Восстановление вооружения и боевой техники ЗРВ ПВО страны / Н. Д. Гребенников. – Минск: МВИЗРУ, 1972. – 274 с.

4. Загорка О.М., Коваль В.В., Загорка І.О. Національний університет оборони України ім. І. Черняховського, Київ, Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця. Методичні положення оцінки живучості зенітної ракетної системи від дії по її елементах засобів ураження противника, 2017.

5. 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.

6. Ковтуненко А.П. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения: монография / А.П. Ковтуненко, В.В.Зубарев. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2009. – 504 с.

7. Ковтуненко А.П. Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем: Монография. / А.П. Ковтуненко, В.В. Зубарев, Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2006. – 236 с.

8. Старцев В.В. Пропозиції щодо розвитку системи технічного забезпечення зенітних ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил України/ В.В. Старцев, М.Б. Бровко, Г.М. Зубрицький, В.В. Воїнов. //Системи озброєння та військова техніка. – 2009. – вип. № 3. – С. 37–41.

9. Стекольников Ю.И. Живучесть систем /Ю.И. Стекольников. – Спб.: Политехника, 2002. – 155 с.

10. Черкесов Г.Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем / Г.Н. Черкесов. – М.: Знание, 1987. – 31 с.

11. Ярош С.П. Теретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія / С.П. Ярош; за ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с.



## **ПИТАННЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

**Ткачов Володимир Васильович** (кандидат військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0001-8957-2723>

**Камінський Валерій Віталійович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6534-8564>

**Степанов Григорій Сергійович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-9190-2821>

**Оріховський Павло Володимирович**

<https://orcid.org/0000-0003-4309-154X>

**Луцишин Андрій Миколайович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-7733-7169>

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

### **ПРОТИДІЯ ПОВІТРЯНОМУ ТЕРОРИЗМУ В УКРАЇНІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

*В статті розглянуто рівень загрози терористичних актів з використанням повітряних суден цивільної авіації в Україні.*

*Аналізується адекватність заходів, які передбачені в Україні щодо протидії терористичним атакам з застосуванням повітряних суден в сучасних умовах.*

*Визначені підходи щодо боротьби з повітряним тероризмом, доцільність і можлива ефективність застосування сил і засобів ППО щодо запобігання терористичних актів з використанням повітряних суден цивільної авіації.*

**Ключові слова:** *повітряний тероризм, протиповітряна оборона, протидія*

#### **Вступ**

**Постановка проблеми.** Терористична операція ісламістів 11 вересня 2001 року у США ще раз підтвердила, що тероризм є однією з найгостріших проблем безпеки людства. Вперше терористичний акт по захопленню повітряного судна мав за мету використання його для здійснення ще більш масштабної терористичної акції. [1,2]

Вважається, що можливо було б менше жертв, якби захоплені терористами цивільні повітряні судна були знищені протиповітряною обороною США. Але взагалі, чи є знищення літака з пасажирами на борту, який захоплений терористами, справою протиповітряної оборони? Як достовірно визначити, що літак захоплений для здійснення терористичного акту? Її необхідність проаналізувати, як моральний, так і правовий аспект проблеми.

Система авіаційної безпеки у всьому світі в першу чергу орієнтована на те, щоб не допустити проникнення на борт повітряного судна підозрілих осіб, зброї і вибухових речовин. Вважається за необхідне мати багаторівневу

систему безпеки, яка б не сприймала помилок «людського фактору». [3]

Але після трагедії 11 вересня допустимість знищення, за певних умов, цивільних літаків, що захопили терористи, була прописана в законодавчих документах не тільки Сполучених Штатів, а й інших країн.

В нормативно-правових актах України визначено, що застосування зброї по повітряному судну-порушнику дозволяється якщо воно визнано як повітряне судно – підтверджена загроза. А як це визначити?

Документи, що регламентують застосування сил і засобів протиповітряної оборони в боротьбі з повітряним тероризмом, які були розроблені в Україні біля двадцяти років тому, не в повній мірі відповідають реаліям сьогодення і потребують термінового перегляду. Неоднозначні і неконкретні визначення в таких документах, можуть в сучасних умовах привести до хибного їх тлумачення і трагічних подій. [4-8]

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Погляди на існуючу проблему однозначної відповіді на запитання, чи можна взагалі

знищувати захоплений терористами літак з пасажирами на борту, не дають. Відповіді на запитання, чи можна, жертвувати життям одних людей у випадку гіпотетичної загрози життю інших людей теж немає. Антитерористичні заходи в деяких випадках допускають людські жертви, так звані, незаплановані втрати, але мова йде про випадкову загибель заручників під час штурму або від рук терористів. А якщо прийнято рішення знищити літак, захоплений терористами з пасажирами на борту засобами протиповітряної оборони, смерть заручників настає не випадково і неминуче.

Разом з тим, відмова від силових операцій може призвести до збитку, більш масштабного, ніж загибель одного лайнера. Застосування зброї по літаках, що **ймовірно** будуть використані для терористичного акту, **можливо**, дозволить уникнути більших жертв, але в будь-якому разі безвинні жертви будуть. В той же час, якщо терористи будуть знати, що літак протиповітряна оборона однозначно зіб'є і задуманий акт не буде доведений до логічного завершення, вони ще подумують, чи потрібно його починати.

В Україні головним документом, що визначає дії суб'єктів боротьби з тероризмом у випадку загрози терористичного удару по важливих об'єктах є «Порядок взаємодії з припинення протиправних дій повітряних суден, які можуть використовуватися для вчинення терористичних актів у повітряному просторі України за мирного часу» (далі Порядок взаємодії), введений в дію Постановою Кабінету Міністрів України від 7 лютого 2007 р. №153. [9]

Перш за все, в цьому документі обумовлено, які повітряні судна є загрозою терористичного акту: «Повітряне судно-порушник, яке несе загрозу безпеці життя чи здоров'я людини, заподіяння значної майнової шкоди чи настання інших тяжких наслідків у зв'язку з його можливим використанням для вчинення терористичного акту у мирний час». Таке повітряне судно визначене як «повітряне судно-загроза».

Також визначено три рівня небезпеки яке несе повітряне судно-порушник.

**До першого рівня, «повітряне судно-підозрювана загроза»** віднесено усі повітряні судна, що порушили державний кордон України в повітряному просторі, або порушили порядок використання повітряного простору України. До цього рівня загрози віднесено також повітряні судна, які подають сигнал «Лихо», або повідомляють про втрату зв'язку чи аварійну ситуацію на борту. Крім того, більш деталізовані окремі порушення порядку використання повітряного простору. Всього було визначено дванадцять ознак загрози [2].

Порівняємо з операційною процедурою, яка існувала в США на момент трагедії 11 вересня 2001 року: Федерального управління цивільної авіації (Federal Aviation Administration, FAA), (далі Федеральне управління) при викраденні літака

повинно зв'язатися з Національним військовим центром управління (National Military Command Center, NMCC). Викрадений літак можна розпізнати лише **за трьома ознаками: літак ухиляється від запланованого курсу; зв'язок по радіо перерваний; виключений транспондер (відповідач).** [2]

У випадку виявлення **хоча б однієї** з цих ознак диспетчер повинен негайно зв'язатися з командиром повітряного судна для того, щоб з'ясувати ситуацію. Якщо той не відповідає, а також якщо неможливо швидко встановити радіозв'язок, Федеральне управління має повідомити Національний військовий центр управління. Слід зауважити, що в компетенцію Федерального управління не входить доведення дійсності факту викрадення повітряного судна. Інструкція вимагає від диспетчера не двозначно: «Якщо ви не знаєте чи є ситуація реальною чи потенційною небезпекою сприймайте її як реальну» [3]. Іншими словами, можливе викрадення літака сприймається як реальне і в повітря без зволікань піднімаються чергові винищувачі для з'ясування обстановки та вжиття відповідних заходів. Але навіть така динамічна процедура не дозволила протиповітряній обороні США забезпечити недоторканість важливих об'єктів.

В Україні суб'єкти боротьби з тероризмом у разі виявлення повітряного судна підозрюваної загрози оцінюють обстановку, вживають заходів до припинення протиправних дій, про результати доповідають в штаб Антитерористичного центру при СБУ і забезпечують обмін інформацією за узгодженою схемою. Хто оцінює обстановку? Хто вживає заходів? Ці питання в нормативних документах не визначено.

**Другий, більш високий рівень загрози терористичного акту – при виявленні «повітряного судна-правдоподібна загроза»,** який запроваджується, якщо з борту повітряного судна надійшла інформація щодо захоплення судна терористами, або екіпаж не виконує команд, що надходять зі землі. Чекати, коли буде виявлено ознаки рівня правдоподібної загрози – це марне витрачання часу. Ніхто не може визначити достовірно, чи буде літак застосовано в якості терористичного акту (зброї). Пілот винищувача, який піднято на перехоплення, також не має можливості однозначно впевнитися в намірах терористів.

Інформація про намір терористів здійснити терористичний акт, яка може надійти від органів управління повітряним рухом, спеціальних служб, правоохоронних органів буде мати вкрай імовірний і неоднозначний характер по ній неможливо буде прийняти відповідне рішення.

Інформація від членів екіпажу захопленого судна взагалі навряд чи надійде. Погрози терористів можуть виявитися шантажем, або в останню мить вони відмовляться від здійснення акту. А в разі доповіді на землю і залучення

протиповітряної оборони до вирішення проблеми, пасажирський літак, який являє собою легку ціль для винищувача, буде однозначно збитий черговим літаком - перехоплювачем. Таким чином, погрози терористів можуть залишитися погрозами, а знищення літака протиповітряною обороною стане реальністю. Є значна ймовірність того, що під загрозою неминучого знищення, пілот захопленого повітряного судна навряд чи повідомить про загрозу теракту, сподіваючись на те, що наміри терористів, навіть якщо вони їх озвучували, можуть з різних причин змінитися. Хоча малоімовірно, що терористи будуть доводити свої наміри щодо атаки наземного об'єкту до екіпажу та пасажирів. Цього вони не зроблять, щоб уникнути паніки і активних дій екіпажу і пасажирів щодо спроби відновити контроль над захопленим літаком.

Ті, хто розробляє відповідні керівні документи і мають надію, що екіпаж захопленого літака може стати джерелом «достовірної» інформації, на підставі якої може бути прийнято рішення щодо негайного знищення літака, скоріш усього помиляються.

У разі виявлення «повітряного судна-правдоподібна загроза» керівник Антитерористичного центру при СБУ, залежно від результатів оцінки обстановки, приймає рішення про проведення антитерористичної операції (далі АТО), а органи військового управління з'ясовують обстановку, зокрема з вильотом чергових літаків-перехоплювачів (вертольотів) і приймають рішення щодо вжиття можливих заходів протидії повітряному судну.

Таким чином, отримавши інформацію, що повітряне судно захоплене терористами, керівник Антитерористичного центру при СБУ може прийняти, а може і не прийняти рішення щодо проведення операції. А військове керівництво замість того щоб негайно підняти в повітря черговий винищувач, лише з'ясовує обстановку з їх вильотом. Літак захоплений терористами, виникла реальна загроза для життя людей та важливих об'єктів, а ми лише оцінюємо та з'ясовуємо обстановку. Більш неоднозначного рішення, чим вжиття «можливих заходів до протидії повітряному судну» придумати важко.

Більш того, «рішення щодо проведення АТО приймається залежно від ступеня суспільної небезпеки терористичного акту керівником Антитерористичного центру при Службі безпеки України за письмовим дозволом Голови Служби безпеки. Про рішення щодо проведення АТО негайно інформується Президент України» [8].

Виходячи з визначеного порядку, рішення щодо проведення АТО у випадках повітряного тероризму прийняти практично неможливо. По-перше, як і хто може визначити ступінь суспільної небезпеки терористичного акту? По-друге, літак, захоплений терористами в повітрі, швидкості повітряних суден досить значні, починати службу переписку – це марно втрачати час.

**Третій рівень, повітряне судно класифікується як «повітряне судно-підтверджена загроза»** за наявності ознак підозрюваної чи правдоподібної загрози та надходження інформації, **яка підтверджує**, що повітряне судно буде використане для вчинення терористичного акту. Яку інформацію і з якого джерела можна вважати такою, яка підтверджує наміри терористів використати повітряне судно для удару по важливих об'єктах, може вважатися достовірною не визначено. Як свідчить досвід, в таких випадках буває дуже багато інформації, або інформація відсутня взагалі. Всі діють «в межах своїх повноважень», але головне не визначено, який суб'єкт боротьби з тероризмом, **має повноваження засвідчити**, що це якраз є той випадок, коли військовим дозволено прийняти **рішення на застосування зброї по цивільному авіалайнеру**. За визначенням, «повітряне судно-підтверджена загроза» несе загрозу життю чи здоров'ю людей, заподіяння значної майнової шкоди. Хто взагалі може завчасно визначити на скільки майнова шкода буде значною? Та на скільки значною вона має бути, щоб через неї можна було приректи на смерть ні в чому невинних людей? Про це можна писати, але виконати це практично неможливо.

Таким чином, рішення на знищення літака з пасажирами на борту приймається в умовах майже повної невизначеності, тому завжди будуть сумніви і вагання. А в умовах, коли літак вилетів з українського аеродрому, часу для прийняття рішення буде недостатньо, а сумнівів буде ще більше.

Необхідно враховувати і те, що особа, яка приймає безпосередньо рішення на знищення повітряного судна, не має права на помилку. А таких помилок в діях протиповітряної оборони було більш ніж достатньо.

Відповідно керівних документів посадові особи вищих рівнів управління віддають наказ неоднозначно: знищити літак, якщо достовірно відомо, що він буде застосований для нанесення удару по важливому або екологічно небезпечному об'єкту. Така постановка завдання практично повністю знімає з них відповідальність і перекладає її на підлеглих. Накази мають бути однозначними: є певна ознака – ціль знищити і без ніяких «якщо».

### **Висновок**

Таким чином, якщо проаналізувати систему протистояння та боротьби з повітряним тероризмом, можна дійти висновку, що не всі аспекти в цій проблемі вирішені в повній мірі і з належною якістю:

нормативно-правова база в Україні не в повній мірі відповідає реаліям сьогодення і потребує подальшого удосконалення. Усі основні моменти відносно визначення повітряного судна порушника мають бути прописані в законодавчих, а не у відомчих документах, які інколи вступають в протиріччя навіть з Конституцією України. В

нормативних документах має бути конкретно визначено, з якого моменту застосування зброї стає невідворотнім;

для того, щоб уникнути людських жертв і значних матеріальних втрат система боротьби з повітряним тероризмом має бути організована таким чином, щоб виключити взагалі застосування сил і засобів протиповітряної оборони. Дозвіл на знищення повітряних суден, які використовуються для терактів, повинен, перш за все, мати психологічний вплив на терористів;

залучення протиповітряної оборони для знищення повітряного судна з пасажирами на борту, що можливо буде використане для нанесення удару по важливому об'єкту, не може бути виправдане юридично.

### **Список використаних джерел**

1. Степанов Г.С. Досвід іноземних держав щодо здійснення прикриття об'єктів від можливих терористичних атак (актів) з повітря при проведенні заходів міжнародного рівня/ Г.С. Степанов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – №1(7). – С.17 – 20.

2. Камінський В.В. Аналіз дій протиповітряної оборони Сполучених Штатів Америки по припиненню терористичних актів 11 вересня 2001 року// Збірник наукових праць / ХУПС – Х.,2014. – Вип. № ( )

3. Камінський В.В. Боротьба з повітряним тероризмом має починатися с землі. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2014, № 1(14) с.16-23.

4. Конституція України (прийнята на 5-й сесії ВР України 28 червня 1996 року).

5. Закон України “Про оборону України” (підписаний 6 грудня 1991 року).

6. Закон України “Про Збройні Сили України” (підписаний 6 грудня 1991 року).

7. Закон України “Про державний кордон України” (підписаний 4 листопада 1991 року).

8. Закон України “Про боротьбу з тероризмом” (підписаний 20 березня 2003 року).

9. Постанова КМ України від 7 лютого 2007 року № 153 “Про затвердження Порядку взаємодії з припинення протиправних дій повітряних суден, які можуть використовуватися для вчинення терористичних актів у повітряному просторі України у мирний час”.

## ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Джус Роман Миколайович (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)

<https://orcid.org/0000-0002-7079-0912>

Плешкунов Сергій Анатолійович

<https://orcid.org/0000-0002-0733-4535>

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна

### ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ НОВІТНІМИ МЕТОДАМИ ІОННО-ПЛАЗМОВОГО ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

У доповіді представлені результати порівняльної оцінки технологічних методів цементації та іонно-плазмового азотування по технології "АВІНІТ N" (АТ "ФЕД") при їх використанні для зміцнення високонавантажених вузлів авіаційної техніки. Оцінка проводилася порівнянням контактної утомної міцності при проведенні прискорених, довготривалих випробувань на багато циклову та мало циклову утомну міцність при терті кочення з проковзуванням на машині тертя 2070 СМТ-1 на зразках, виготовлених з жароміцної сталі 20Х3МВФ ГОСТ 20072. Результати можуть бути корисними для інженерів, які займаються технологіями зміцнення конструкційних матеріалів.

**Ключові слова:** "Авініт N"; зміцнення поверхонь азотуванням; іонно-плазмове азотування; методика прискореної оцінки; міцність при утомному зношуванні; утомне зношування; цементація.

#### Вступ

**Постановка проблеми.** Ресурс авіаційної техніки (АТ) в багатьох випадках визначається ресурсом її агрегатів, які мають у своїй конструкції пари тертя. А їх довговічність, в свою чергу, визначається величиною контактної міцності їх поверхонь, що труться. Ця міцність характеризує здатність матеріалу протистояти утомному руйнуванню [1]-[2]. Тому для подовження ресурсу АТ застосовують ряд методів підвищення контактної міцності матеріалів, з яких виготовлені пари тертя їх агрегатів. Одними з основних є хіміко-термічні методи цементації. Але на даний час розроблені і застосовуються нові методи азотування, які мають значні переваги над цементацією. Але для оцінки експлуатаційних показників конструкційних матеріалів, зміцнених за новими методами, необхідно проведення довготривалих випробувань на втомну міцність на машинах тертя, які моделюють роботу таких спряжень.

**Огляд останніх публікацій.** Такий стан питання обумовлює обмежену кількість досліджень по впливу азотування на величину контактної міцності матеріалів, особливо іонно-плазмовими методами азотування, які мають істотні відмінності та переваги перед традиційними пічними методами газового азотування. Останнім часом все більше застосовуються і методи азотування [3]-[5], але ще не так широко. Останнє, напевно, в значній мірі

визначається перевагою цементації перед азотуванням у формуванні зміцнених шарів великої протяжності, як одного з основних факторів, з яким пов'язують підвищення контактної міцності. Цим можна пояснити і невелику кількість робіт про вплив азотування на контактну міцність матеріалів. Однак в промисловому виробництві АТ "ФЕД" (м. Харків) метод іонно-плазмового прецизійного азотування "Авініт N" [6]-[7] використовується достатньо широко. Він має певні переваги перед традиційними методами газового азотування: значне скорочення (до 3-ох разів) тривалості дифузійного насичення азотом поверхневого шару сталі; загальне скорочення часу циклу обробки до 3-5 разів; дозволяє уникнути водневого окрихчування; забезпечує збереження розмірів (азотування «в розмір») і високу чистоту обробки поверхні, зниження крихкості азотованого шару і формування нітридних зон всіх складів без пір, внаслідок чого не потрібно доопрацювання поверхні після азотування.

**Метою роботи** було визначення переваг плазмового азотування за технологією "Авініт N" перед традиційними методами цементації у контактній утомній міцності. Тому автори провели дослідження впливу плазмового азотування за технологією "Авініт N" на контактну міцність від утоми жароміцної сталі 20Х3МВФ ГОСТ 20072 при терті кочення з проковзуванням поверхонь і порівняння отриманих результатів з контактною утомною міцністю такої ж сталі, зміцненої за традиційною технологією газової цементації.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Випробування проводилися на стандартній машині тертя 2070 СМТ-1 за схемою «диск-диск».

**Результати прискорених випробувань на втомну міцність.** Виходячи з того, що випробування на утомну міцність потребують дуже довгого часу випробувань при дуже великих контактних навантаженнях, авторами було розроблено методику прискореної оцінки для порівняння контактної утомної міцності при проведенні випробувань при терті кочення з проковзуванням [8]. В якості показника оцінки утомної міцності використовували питому енергію дисипації за один цикл навантаження. Було сплановано експеримент, який передбачав реалізацію імпульсного навантаження трибосистеми (ТС) на першому етапі її роботи з одночасною

реєстрацією акустико-емісійного випромінювання [9]-[12]. Метод акустичної емісії (АЕ) довів високу ефективність реєстрації моменту переходу ТС від нормального зносу до початкового утомного руйнування. За цим критерієм зразки з азотуванням мають значну (більш, ніж в 2 рази) перевагу перед цементованими [8].

У процесі проведення випробувань встановлено, що кожен цикл випробувань складається з трьох характерних етапів: перший – етап навантаження; другий – вихід на сталий режим накопичення пошкоджень в поверхневому шарі; третій – перехід до початкових руйнувань втомного характеру.

Усереднені результати кількості циклів до початку явищ втомного руйнування та триботехнічні параметри для чотирьох пар зразків, зміцнених цементациєю та азотуванням, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Кількість циклів до початку втомного руйнування та триботехнічні параметри для чотирьох пар зразків

Вид зміцнення зразків		Коефіцієнт тертя / середньо-поверхнева температура, °С		Кількість циклів до початку явищ втомного руйнування
Ведучого	Веденого	На початку випробувань	В кінці випробувань	
Цементация	Цементация	0,054/43	0,045/45	53812
Азотування АВИНІТ N	Азотування АВИНІТ N	0,08/50	0,063/52	97875

Аналіз результатів прискорених випробувань і подальших досліджень зразків підтверджують правомірність підходів до проведення таких випробувань. Цей аналіз показує, що при питомому контактному навантаженні  $\sigma = 1140$  МПа на робочих поверхнях всіх випробуваних зразків утворилися початкові осередки втомного викришування.

Метод акустичної емісії довів високу ефективність реєстрації моменту переходу трибосистем від нормального зносу до початкового втомного руйнування.

**Результати довготривалих випробувань на втомну міцність.** У якості оціночного показника було прийнято ваговий знос за весь період випробувань. В даному випадку оцінювалася інтегральна характеристика зносостійкості в умовах великих контактних напружень. Дана характеристика включала втрату маси через нормальний механохімічний знос і за рахунок втомного викришування. В таких умовах випробувань розділити ці дві складові зношування не представляється можливим.

Випробували по три пари тертя з певними номерами. Результати наведені в табл. 1, 2. Явищ задіру не виявлено за весь період випробувань на жодній парі зразків.

Під час випробувань реєстрували середньоповерхневу температуру і момент тертя, який перераховувався в коефіцієнт тертя (табл. 1).

До і після випробувань зразки зважували на

аналітичних лабораторних терезах ВЛА-200 з точністю до  $10^{-4}$  гр. Визначали знос ведучого і веденого зразків, а також сумарний знос (табл. 2).

В момент відділення великої частки зносу за механізмом піттингу на діаграмі зміни коефіцієнта тертя спостерігається стрибок, тривалість якого 10-12 хвилин. На наш погляд, це обумовлено механікою руйнування. Спочатку відбувається випинання, а потім – відділення обсягу матеріалу. Після чого момент тертя стабілізується і починається вищерблення по межі дефекту. Таким чином поступово утворюється характерна полосчатість на зразках з цементациєю.

Таблиця 1

### Результати вимірювання коефіцієнту тертя і температури

Зміцнення зразків		Коефіцієнт тертя / температура, °С	
Ведучого	Веденого		
Цементация		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№6С*	№10С загальм.		
Азотування		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№5А	№1А загальм.		
Цементация		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№8С	№2С загальм.		
Азотування		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№2А	№10А загальм.		
Цементация		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№4С	№5С загальм.		
Азотування		Через 24000 циклів	Через 96000 циклів
№11А	№4А загальм.		

\* Позначення номерів зразків, які в подальшому використовувалися для металофізичних досліджень.

Таблиця 2

**Результати визначення вагового зносу зразків**

Зміцнення зразків	Ваговий знос зразків, гр		Сумарний знос, гр
	Ведучих (нижніх)	Ведених (верхніх)	
Цементация/ Цементация	6С - 0,1816	10С -	0,2868
	8С - 0,1690	0,1052	0,2853
	4С - 0,2004	2С - 0,1163 5С - 0,1105	0,3109
Всього/середнє за 3 зразка	0,551/ 0,1837	0,332/ 0,1107	0,883/ 0,2943
Азотування / Азотування	5А - 0,0164	1А - 0,0104	0,0268
	2А - 0,0185	10А -	
	4А - 0,0163	0,0132 11А - 0,0122	
Всього/середнє за 3 зразка	0,0512/ 0,0171	0,0358 / 0,0119	0,087/ 0,029

Ці дослідження дали підґрунтя для проведення повноцінних довготривалих випробувань на порівняльну оцінку показників утомної міцності зразків, моделюючих роботу високонавантажени агрегати АТ при зміцненні їх поверхневого шару цементациєю та сучасним методом іонно-плазмового азотування АВІНІТ N (АТ "ФЕД") [13]. Такі випробування необхідні для впровадження іонно-плазмового методу для зміцнення реальних агрегатів АТ. Їх результати на базі 1 млн. циклів (кочення з 20%-им проковзуванням з контактним навантаженням  $\sigma_{\max}=1400$  МПа, характерним для середньо- та високонавантажених агрегатів) показали, що інтегральна багатоциклова стійкість до утомного зношування (руйнування) зразків, зміцнених азотуванням (іонно-плазмовим азотуванням АВІНІТ N з глибиною шару 0,25 мм), в 10 разів вище, ніж у зразків, зміцнених цементациєю (з глибиною шару 1,2 мм) [13].

Після порівняння контактної утомної міцності при проведенні довготривалих випробувань, фахівцями і на обладнанні АТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя, Україна) було виконано комплексні мікроструктурні та фазові дослідження особливостей поверхневого шару пар зразків, зміцнених цементуванням, та зміцнених іонно-плазмовим азотуванням [14]. Дослідження зовнішнього вигляду обкатаної поверхні, мікроструктурний стан матеріалу, а також мікротвердість за перетином зміцненого шару визначали на кожному зразку у чотирьох зонах. Проведені поглиблені фрактографічні, мікроструктурні і фазові дослідження особливостей поверхневого шару сталевих зразків, зміцнених традиційною цементациєю та новим іонно-плазмовим азотуванням "АВІНІТ N", виявили причини значної переваги іонно-плазмового азотування перед цементуванням за показником утомної міцності. Це дає цілком обґрунтовану

основу для впровадження такої перспективної технології зміцнення для збільшення зносостійкості високонавантажених деталей агрегатів авіаційної та іншої техніки, які працюють в умовах тертя кочення з проковзуванням [14].

Всі ці дослідження [8], [13]-[14] були сплановані таким чином, щоб визначити переваги методу іонно-плазмового азотування для подовження ресурсу таких агрегатів АТ, як редуктори вертольотів, коробки приводів і т.д., тобто ТС, які складаються з зубчастих шестерень, які змащуються маслом, і які зазнають в експлуатації багатоциклове утомне зношування. Тому що воно є найбільш важливим і одночасно важкоконтрольованим видом пошкодження таких ТС [2], [15].

Але є інші види ТС в АТ, які потребують уваги. Утомний механізм пошкоджуваності поверхневого шару характеризується наявністю двох фаз: прихованого (латентного) періоду, протягом якого видиме руйнування матеріалу відсутнє при поступовому накопиченні дефектів, і фази швидкого руйнування, коли при досягненні певної концентрації мікропошкодження «утомлений» матеріал диспергується у вигляді частинок зносу [17]-[18]. Але утомний знос матеріалів може мати малоцикловий (при пластичних деформаціях) і багатоцикловий (при пружних деформаціях) характер [2]. Саме умови роботи ТС (величина діючих навантажень) визначають, за яким механізмом відбувається основна частина зношування – малоциклове чи багатоциклове. За високих навантажень такий поділ можна зробити тільки умовно. Це було враховано авторами у подальших експериментальних дослідженнях на порівняльну оцінку параметрів зносостійкості досліджуваних ТС саме від малоциклового зносу [16].

Висока вартість виготовлення та ремонту агрегатів авіаційної паливної автоматики (аксіально-поршневих насосів), а також їх невеликий ресурс, обумовлюють загальну високу ціну цієї галузі авіаційної промисловості. У зв'язку з цим у сучасному авіаційному агрегатобудуванні проводяться роботи по створенню насосів-регуляторів паливної автоматики шестеренного типу, які є дешевшими у виготовленні і ремонті та менш вимогливі до якості палива. Тому авторами було продовжено дослідження можливості застосування іонно-плазмового азотування і для таких ТС, тобто, на малоциклову утомну міцність [16].

### Висновки

Попередні експерименти на контактну утому при великих навантаженнях ( $\sigma_{\max} \approx 1400$  Мпа), (багатоциклове утомне зношування) показали багатократну перевагу методу зміцнення "АВІНІТ N" перед цементациєю за параметром сумарного вагового зносу (біля 10 разів) [13]. Однак, при даних умовах випробувань неможливо відізнити знос малоциклової утоми (який відбувається за механізмом утворення та руйнування на поверхнях тертя вторинних структур)

від багатоциклової утоми (при якому дефекти накопичуються у великих об'ємах поверхневого шару). Тому цілком актуальним було завдання проведення таких експериментальних випробувань для оцінки параметрів зносостійкості саме від малоциклової утоми. Для цього величина питомого навантаження в зоні контакту в експериментальних дослідженнях була знижена (у порівнянні з експериментами, проведеними у попередніх випадках [8], [13]) до  $\sigma_{\max} \approx 500$  МПа (за формулою Герца) і змашування здійснювалося авіаційним гасом ТС-1. Решта умов та параметрів випробувань відповідали випробуванням на зносостійкість за механізмом багатоциклової утомної міцності [13].

Триботехнічні характеристики оцінювались за показниками вагового зносу, коефіцієнта тертя і середньоповерхневої температури випробуваних зразків. Відсутність початкових пошкоджень утомного характеру оцінювались за показниками АЕ [9]-[12], [19]-[21]. Встановлено, що перехід від нормального зношування до початкових пошкоджень утомного характеру супроводжується сигналами акустичної емісії, енергоємність яких вище від першопочаткового рівня в 5...10 разів [16].

Аналіз результатів визначення коефіцієнтів тертя свідчить про те, що коефіцієнти тертя зразків, зміцнених за технологією "AVINIT N" суттєво, приблизно на 30% менші, ніж коефіцієнти тертя, одержані при випробуваннях зразків зміцнених цементациєю [16].

Таким чином, проведений авторами комплекс експериментальних досліджень перспективної технології підвищення контактної утомної міцності методом іонно-плазмового азотування "AVINIT N" при моделюванні трибоспрямих авіаційної техніки показав її значну перевагу перед традиційним зміцненням цементациєю та може бути використаним для збільшення ресурсу авіаційної техніки.

## Список використаних джерел

1. Федоров С. В. Общие закономерности эволюции трения с позиций самоорганизации и синергизма. В кн.: *Известия КГТУ*. Калининград, 2007. № 11. С. 22–31.
2. Ибатуллин И. Д. Диагностика ресурсных характеристик элементов машин. *Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки*. №15. Самара: СамГТУ, 2002. С. 123–130.
3. Матвишин, П. В. Влияние режимов ионного азотирования на износостойкость стали X12 в коррозионно-абразивной брете. Научные труды Винницкого национального технического университета, вып. 3, ноябрь 2015. <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/1>.
4. Бенгина Т. А. Оптимизация технологического процесса газового азотирования: Дис. канд. техн. наук.- Самара: Самар.гос.техн.ун-т, 2008.-155с.
5. Поболь И. Ионное азотирование: твердость, выносливость, стойкость. *Наука и инновации*. №8(14). 2012. С. 18-20.
6. Сагалович О. В., Сагалович В. В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA № 84664 від 25.10.13.

7. Сагалович О. В., Сагалович В. В. Спосіб іонно-плазмового прецизійного азотування поверхонь сталей та сплавів Avinit N. Pat. UA № 107408 від 28.12.14.

8. Стадниченко В. М., Джус Р. М., Плешкунов С. А. Методика прискореної оцінки показників втомної пошкоджуваності конструкційних матеріалів Системи озброєння і військова техніка. 2019. № 2(58). – С. 122-131. <https://doi.org/10.30748/soivt.2019.58.15>.

9. S. F. Filonenko, V. N. Stadnichenko and O.N. Troshin, "Research of influence of thermal resistance of elements of tribosystem on wearproofness of friction units," *Proceeding of the fourth world congress "Aviation in the XXI-st century"*, "Safety in aviation and space technology, 2010. Vol. 1, pp. 12.1–12.4.

10. Запорожец В. В., Стадниченко В. Н. Идентификация наноизносных режимов трения с использованием метода акустической эмиссии. *Технологические системы*, 2012. № 4. С. 42–56.

11. Трошин О. Н., Стадниченко Н. Г., Джус Р. Н., Гурин О.А. Информативное содержание метода акустической эмиссии для безразборной диагностики узлов авиационной техники. *Наука і техніка Повітряних Сил*. 2013. № 2 (11). С. 80–83.

12. Стадниченко В. Н., Трошин О. Н., Стадниченко Н.Г., Приймак А.В., Просьяник И. И. Классификация видов наноизноса по значению коэффициента диссипации подводимой внешней энергии к трибосистеме. *Збірник наукових праць ХУПС*. 2011. № 1 (27). С. 51–61.

13. Джус Р. М., Стадніченко М. Г., Попов В. В., Плешкунов С.А., Семенов Я.І. Порівняльна оцінка технологічних методів цементациї та іонно-плазмового азотування при їх використанні для зміцнення високонавантажених вузлів авіаційної техніки *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2020. № 2(39). С. 54-61. <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.39.06>.

14. Джус Р. М., Стадніченко М. Г., Стадниченко В. М., Плешкунов С. А., Мікроструктурні та фазові особливості поверхневого шару, зміцненого іонно-плазмовим азотуванням, як фактор підвищення втомної міцності // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2020. № 1(63). С. 89-95. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.63.12>.

15. Xie, Y. and Williams, J.A. The Generation of Worn Surfaces By the Repeated Interaction of Parallel Grooves, *Wear*, 1993, pp. 864-872

16. Джус Р. М., Стадніченко М. Г., Плешкунов С. А., Градиський Ю.О. Порівняльний аналіз параметрів зносостійкості зразків, зміцнених цементуванням та іонно-плазмовим азотуванням, працюючих в умовах багатоциклового зношування *Проблеми тертя та зношування*, 2020, №3 (88). С. 87-98, DOI: 10.18372/0370-2197.3(88).14922.

17. Громаковский Д. Г. Система понятий и структура моделей изнашивания. Трение и износ. 1997. Том 18. №1. С. 53-62.

18. Gromakovsky D. G., Kovshov A. G., Ibatullin I. D., Dynnikov A. V. Problems of Kinetics of Surface Destruction. *Proceedings of VII-th International Symposium "INTERTRIBO 2002", section B. Wear, Slovak Republic, Stara Lesna, House of Technology, 2002, p. 57-58.*

19. Zaporozhets V. V., Stadnichenko V. M. Automated Systems for Tribodiagnostics of Contact Interactions. *Journal of Friction and Wear*. 2015. Vol. 36. № 3. P. 241–248.

20. Wang Zh., Wu X., Liu X., Cao Y., Xie J. Research on feature extraction algorithm of rolling bearing fatigue evolution stage based on acoustic emission. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 113. 2018. P. 271 284.

21. Sause M., Hamstad M. Acoustic Emission Analysis. *Comprehensive Composite Materials II*. Vol. 7. 2018. P. 291-326.



<sup>1</sup>Коцюруба Андрій Васильович  
<https://orcid.org/0000-0001-5150-6683>

<sup>1</sup>Радько Олег Віталійович (кандидат технічних наук, доцент)  
<https://orcid.org/0000-0002-6391-5713>

<sup>1</sup>Коровін Іван Павлович (кандидат технічних наук, доцент)  
<https://orcid.org/0000-0001-6209-8136>

<sup>2</sup>Братусь Олексій Миколайович

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

<sup>2</sup>Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця, Україна

## ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ІНЖЕНЕРНО-АВІАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЕРЕОЗБРОЄННЯ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ НА НОВУ АВІАЦІЙНУ ТЕХНІКУ

У статті розглянуті сучасні погляди на напрями інженерно-авіаційного забезпечення переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України. Проведено аналіз завдань, які потрібно виконати щодо організації навчання (перенавчання) інженерно-технічного складу експлуатації та ремонту нової авіаційної техніки та заходів інженерно-авіаційного забезпечення щодо організації технічної експлуатації нової авіаційної техніки, визначення та обґрунтування потрібних для цього сил і засобів. За результатами аналізу системи технічного обслуговування військової авіаційної техніки країн-членів НАТО та організаційно-штатної структури підрозділів інженерно-авіаційного забезпечення цих країн під завдання переозброєння на нову авіаційну техніку сформовано попередню (орієнтовну) структуру інженерно-авіаційної служби авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України.

**Ключові слова:** інженерно-авіаційне забезпечення; інженерно-авіаційна служба; інженерно-технічний склад, нова авіаційна техніка.

### Вступ

Одним із головних внутрішніх чинників, що матиме вплив на подальший розвиток Повітряних Сил Збройних Сил України, є критичне наближення термінів експлуатації основних зразків авіаційної техніки (АТ) до своїх граничних значень.

Повітряні Сили зразка 2021 року і досі спираються на успадкований від Радянського Союзу бойовий потенціал. Ремонт, модернізація та підтримання належного рівня справності АТ вимагають все більшого фінансового ресурсу, обсяг якого вже наблизився до показників фінансування закупівлі нових сучасних зразків. Таким чином, утримання старого парку озброєння та військової техніки вже в найближчі роки стане економічно недоцільним.

Основним завданням авіації Повітряних Сил протягом наступних 15 років буде забезпечення винищувального авіаційного прикриття та відбиття (у взаємодії з зенітними ракетними військами) ударів засобів [1].

Існуюча модель тактичної авіації у складі її родів (винищувальна, бомбардувальна, штурмова, розвідувальна), що озброєні широкою номенклатурою літаків типу: МиГ-29, Су-27, Су-24М, Су-25, Су-24МР має зазнати змін у напрямку уніфікації та трансформуватися до моделі багатофункціональних військових частин (підрозділів) тактичної авіації, озброєних єдиним типом багатоцільового винищувача покоління 4++ закордонного виробництва (типу Saab JAS-39E/F Gripen, F-16 Block 70/72 або інші), що дозволить забезпечити уніфікацію та економію ресурсів [1].

Тому, з метою організації та здійснення переозброєння авіації Повітряних Сил та враховуючи те, що інженерно-авіаційне забезпечення (ІАЗ) є основною складовою частиною технічного забезпечення авіації й проводиться у взаємодії з іншими видами логістичного й інших видів забезпечення [2], виникає необхідність у визначенні заходів ІАЗ переозброєння авіації Повітряних Сил на нову авіаційну техніку.

### Мета дослідження

Визначення перспективних напрямів роботи та змін у структурі інженерно-авіаційної служби для ефективного виконання заходів інженерно-авіаційного забезпечення переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на нову авіаційну техніку.

### Результати

Сучасна інженерно-авіаційна служба (ІАС) призначена для виконання значної кількості завдань щодо підтримання справності АТ та готовності її до бойового застосування [4, 5].

Визначення конкретних заходів ІАС щодо ІАЗ переозброєння авіації дозволить зосередити увагу на актуальних питаннях та проблемах переходу на нову АТ, а саме:

організації навчання (перенавчання) інженерно-технічного складу (ІТС) експлуатації та ремонту нової АТ;

виконанні інженерних розрахунків із застосування нової АТ, обґрунтування потрібних сил і засобів для її експлуатації та ремонту;

розробленні та впровадженні заходів із організації й проведення технічного

обслуговування і ремонту нової АТ (проведення заходів з адаптації Програм підтримання льотної придатності (програм технічного обслуговування та ремонту) [3], отриманих від розробника, до діючої в державній авіації України системи технічного обслуговування та ремонту);

організації експлуатації нової АТ в авіаційних військових частинах;

розробленні, впровадженні і проведенні заходів з утримання нової АТ, засобів її експлуатації та ремонту в справності й постійній готовності до ведення бойових дій;

розробленні і впровадженні заходів з підтримання заданої надійності АТ та забезпечення безпеки польотів.

Тому основними заходами ІАС щодо ІАЗ переозброєння визначені наступні:

1. Заходи щодо ІАЗ організації навчання (перенавчання) ІТС експлуатації та ремонту нової авіаційної техніки.

2. Заходи щодо ІАЗ організації технічної експлуатації нової авіаційної техніки, визначення та обґрунтування потрібних сил і засобів.

3. Створення відповідної структури ІАС авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України.

#### **1. Заходи щодо ІАЗ організації навчання (перенавчання) ІТС експлуатації та ремонту нової АТ.**

Навчання (перенавчання) ІТС авіаційних військових частин експлуатації та ремонту нової АТ є важливим етапом переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на нову АТ.

Навчання (перенавчання) ІТС експлуатації та ремонту нової АТ повинно організовуватись і проводитись заздалегідь, із розрахунку отримання авіаційним персоналом допуску (сертифікату, свідоцтва) до технічного обслуговування до початку процедури приймання першого зразка нової АТ від виробника.

При цьому, навчання (перенавчання) визначеної кількості ІТС повинно бути передбачено умовами контракту (договору) на постачання нової АТ.

Основними заходами ІАЗ щодо організації навчання (перенавчання) ІТС є:

визначення (до підписання контракту) кількості ІТС (за спеціальностями), який буде проходити навчання (перенавчання) з врахуванням необхідності організації технічного обслуговування авіаційних засобів ураження, що будуть поставлятися з новою АТ;

визначення (до підписання контракту) кількості керівного ІТС (за спеціальностями), який буде проходити навчання (перенавчання) та у подальшому проходити додаткове навчання у якості інструкторів;

проведення відбору спеціалістів ІАС, що плануються до відправлення на навчання (перенавчання);

проведення безпосередньо навчання (перенавчання) спеціалістів (у першу чергу керівний ІТС);

організації, після проходження теоретичного та практичного навчання (перенавчання) та отримання допуску (сертифікату, свідоцтва) до технічного обслуговування нової АТ, для спеціалістів, що навчались проходження процедури отримання свідоцтва авіаційного персоналу з технічного обслуговування АТ у відповідності до Правил видачі свідоцтв персоналу з технічного обслуговування авіаційної техніки державної авіації (Частина-66В) [3].

На першому етапі навчання (перенавчання) визначається, як правило, мінімально необхідна кількість ІТС (за спеціальностями), який буде проходити навчання (перенавчання) для забезпечення приймання нової АТ та забезпечення польотів на протязі початкового періоду льотного освоєння нової АТ.

Навчання (перенавчання) визначеного ІТС повинно проводитись сертифікованими навчальними центрами (установами), як правило на базі виробника (розробника) нової АТ.

У подальшому, для навчання (перенавчання) решти ІТС на території України повинні бути створені відповідні навчальні центри / центри для навчання особового складу, укомплектовані кваліфікованим сертифікованим персоналом та навчальними засобами (як правило, на базі військових навчальних закладів). Навчальний центр повинен пройти схвалення як організація з підготовки до технічного обслуговування АТ державної авіації у відповідності до Правил схвалення організацій з підготовки до технічного обслуговування авіаційної техніки державної авіації (Частина-147В)[3].

#### **2. Заходи щодо ІАЗ організації проведення технічної експлуатації нової АТ, визначення та обґрунтування потрібних сил і засобів.**

Ще одним важливим кроком переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на нову АТ є організація її безпосередньої експлуатації, визначення потрібних для цього сил і засобів.

Основними заходами ІАЗ щодо організації проведення технічної експлуатації нової АТ, визначення та обґрунтування потрібних сил і засобів є:

вивчення та проведення інженерного аналізу наданої розробником (виробником) експлуатаційної документації;

визначення (до підписання контракту) необхідної кількості та типу засобів технічного обслуговування нової АТ, необхідних запасних частин та матеріалів;

проведення адаптації Програм підтримання льотної придатності (програм технічного обслуговування та ремонту) нової АТ, отриманих від розробника (виробника), під діючу в державній авіації України систему технічного обслуговування та ремонту);

визначення обсягу робіт (форм), які необхідно виконувати на новій АТ у процесі її експлуатації та місця їх проведення;

визначення необхідної кількості та типу пально-мастильних матеріалів;

визначення необхідної інфраструктури, яку необхідно створити (бази передового розгортання, операційні бази (центри технічного обслуговування));

визначення та обґрунтування штатної чисельності ІТС та засобів технічного обслуговування для нової АТ;

організація ІАЗ нової АТ безпосередньо в авіаційних військових частинах.

Вивчення та проведення інженерного аналізу наданої розробником (виробником) експлуатаційної документації, а саме: програми підтримання льотної придатності (програми технічного обслуговування та ремонту); керівництва з льотної експлуатації; інструкції з розрахунку дальності і тривалості польоту; керівництва з технічної експлуатації, до якого входять: технічний опис, інструкції з експлуатації, технологічні карти, перелік несправностей, з якими ПС допускається до польоту, керівництва з військового ремонту, регламенту технічного обслуговування, керівництва з завантаження і центрування, альбому електричних схем, відомостей запасних частин і матеріалів (експлуатаційні), відомостей необхідних для виконання робіт з технічного обслуговування засобів наземного обслуговування спеціального застосування, засобів аеродромно-технічного обслуговування, норм розходу запасних частин на 100 годин експлуатації, норм розходу матеріальних засобів на 100 годин польоту, відомості експлуатаційних документів тощо) організовується та проводиться завчасно, як правило при проведенні заходів навчання (перенавчання) інженерно-технічного складу на нову АТ.

Визначення необхідної кількості та типу засобів технічного обслуговування нової АТ, необхідних запасних частин та матеріалів здійснюється на етапі підготовки контракту. При цьому враховуються: рекомендації розробника (виробника), кількість нової АТ, що планується до постачання, досвід застосування цієї авіаційної техніки іншими країнами, особливості завдань, що будуть виконуватись, кількість запланованих місць базування і таке інше.

Визначення обсягу робіт (форм), які необхідно виконувати на новій АТ у процесі її експлуатації здійснюється за експлуатаційною документацією, надану розробником (виробником) з урахуванням діючої в державній авіації України системи технічного обслуговування та ремонту. За результатами аналізу визначається місце їх виконання: експлуатуючі авіаційні військові частини та/або сертифіковані у відповідності до Правил схвалення організацій з технічного обслуговування та ремонту авіаційної техніки державної авіації (Частина-145В) [3] організації з технічного обслуговування та ремонту АТ

державної авіації. При цьому розглядається можливість та доцільність виконання в умовах експлуатуючих авіаційних військових частин (сертифікованих військових центрах технічного обслуговування) максимального обсягу робіт (форм) із залученням, при необхідності, невійськових сертифікованих організацій з технічного обслуговування та ремонту АТ державної авіації.

Виходячи з цих розрахунків визначається необхідна інфраструктура, яку необхідно створити (бази передового розгортання, операційні бази (центри технічного обслуговування) та організовується у подальшому їх сертифікація.

За результатами проведених заходів визначається та обґрунтовується необхідна штатна чисельність підрозділів ІТС та штатна кількість засобів технічного обслуговування для нової АТ.

### **3. Створення відповідної структури ІАС авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України.**

За результатами аналізу системи технічного обслуговування військової АТ країн-членів НАТО (Сполучених Штатів Америки, Велика Британія, Федеративної Республіки Німеччини) та організаційно-штатної структури підрозділів ІАС (їх аналогів) цих країн під завдання переозброєння на нову авіаційну техніку сформовано попередню (орієнтовну) структуру інженерно-авіаційної служби авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України, яка буде враховувати особливості експлуатації нової АТ в умовах базування на декількох аеродромах (Рис.1). Начальник ІАС повинен бути незалежним та мати повну самостійність в прийнятті рішень з питань підтримання справності та заходів щодо відновлення справності АТ, відповідно до завдань та наказів командира і вищих органів управління.

Для реалізації для нової АТ Правил державної авіації України з питань підтримання льотної придатності [3], які гармонізовано з Європейськими військовими вимогами з льотної придатності EMAR необхідно:

створити у складі ІАС підрозділ, який після проходження процедури схвалення буде виконувати завдання з управління підтриманням льотної придатності нової АТ бригади;

створити у складі ІАС підрозділи (технічні ескадрильї), які після проходження процедури схвалення будуть виконувати завдання з технічного обслуговування та ремонту нової АТ бригади (базове технічне обслуговування, поточний ремонт (періодичні базові форми ТО); створити у складі ІАС підрозділи (ІАС бойових ескадрильї, або сформувати їх, як окремий підрозділ – технічну ескадрилью), які після проходження процедури схвалення будуть виконувати завдання з технічного обслуговування та ремонту нової АТ бригади (лінійне технічне обслуговування (легкі форми).

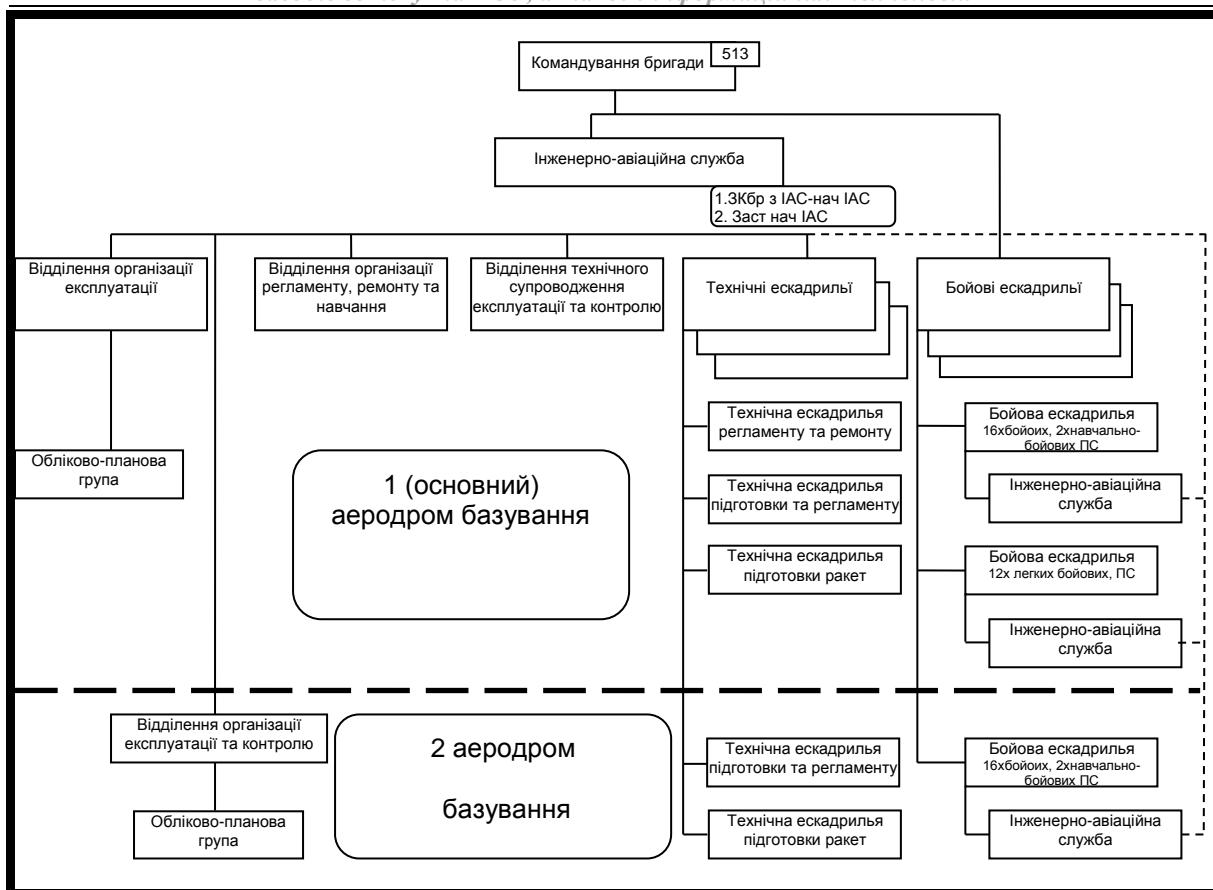


Рисунок 1. Перспективна (орієнтовна) структура інженерно-авіаційної служби авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України.

### Висновки

У даній роботі визначені основні напрями роботи ІАС щодо ІАЗ переозброєння авіаційних частин на новітні зразки АТ. При цьому визначено, що ІАС повинна залишитись окремою структурою в авіаційній бригаді під керівництвом заступника командира бригади з ІАС – начальника ІАС. Це зумовлено тим, що обов'язковою умовою реалізації запропонованих структурних змін в ІАЗ діяльності авіації Повітряних Сил Збройних Сил України є зосередження централізованого управління консолідованим забезпеченням саме в ІАС, як основній структурі, спроможній здійснювати забезпечення бойової готовності АТ.

Також окрема структура дозволить суттєво підвищити оперативність управління за рахунок виключення з системи управління ІАЗ надлишкових ланок та суттєвого зменшення впливу некомпетентних елементів.

### Список використаних джерел

1. Візія Повітряних Сил 2035. – Вінниця, КПС ЗСУ. – 2020. – 41 с.
2. Доктрина Об'єднана логістика. Затверджено Головнокомандувачем Збройних Сил України 29 вересня 2020 року.
3. Правила державної авіації України з питань підтримання льотної придатності, затверджені наказом Міністерства оборони України від 23.12.2016 № 714.
4. Правила інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України, затверджені наказом Міністерства оборони України від 05.07.2016 № 343.
5. Організація інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України: підручник / [І. П. Коровін, С. М. Коротін та ін.] / за ред. І. П. Коровіна. – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2021 – 532 с.

**Бардін Олександр Олексійович** (кандидат геологічних наук, академік української нафтогазової академії)  
<https://orcid.org/0000-0002-0726-7694>

*Інвестиційне геолого-технологічне підприємство “Геоїд”, м. Чернігів*

## **ПРО ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТИПОЖЕЖНИХ БОМБ І БЕЗПЛОТНОЇ АВІАЦІЇ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ПОЖЕЖАМИ У РЕЛІКТОВИХ ЛІСАХ**

*Обґрунтування перспектив створення авіаційних вибухових пристроїв для перетворення високотемпературних пожеж, що поширюються по верхівках дерев, в наземні низькотемпературні пожежі. Кінцева мета - підвищити ефективність традиційних технологій пожежогасіння.*

**Ключові слова:** *гасіння лісових пожеж водяними бомбами.*

### **Постановка проблеми**

Наслідком збільшення викидів парникових газів (виробництво, теплоенергетика, транспорт) є глобальне потепління, що веде до глобальної посухи. Результатом є масштабні лісові пожежі, у тому числі у реліктових лісах, в зонах масової концентрації туристичних готелів, тобто у зонах де оперативна ліквідація пожеж є безальтернативною.

Не секрет, що робота пожежних пов'язана з ризиком для життя. Особливу небезпеку становить робота пожежних літаків, які здійснюють скид води з малих висот, оскільки інакше вода випаровується не долетівши до землі. Проблема у тому, що робота авіаційних двигунів в умовах кисневого голодування і високої турбулентності ненадійна. Це нерідко веде до загибелі літаків і їх пілотів.

Звідси виникає питання – як прибрати людей із зони ризику, підвищити висоту польоту, або взагалі доручити цю небезпечну роботу повітряним дронам?

Інше питання – як дистанційно повалити дерева і перевести верхову пожежу с температурою горіння 900-1200°C, коли швидкість висхідних конвекційних потоків розпеченого повітря досягає 25-30 м/с, у низову пожежу с температурою горіння 700-800°C?

І найважливіше питання, як, взагалі, не допустити виникнення масштабних лісових пожеж забезпечуючи ліквідацію локальних вогнищ загорання на початковому етапі?

### **Шляхи вирішення**

Частковим вирішенням зазначених питань є наповнені водою “Противопожесні бомби” (патент № 2073540 РФ), що були розроблені в російському науково-виробничому підприємстві “Базальт” у 1990 році [1]. Бомби призначені для застосування з літаків і вертольотів, обладнаних системою скидання бомб калібру до 500 кг, з висоти біля 1000 м, при швидкостях польоту до 600 км/год. За довідниковими даними, одна бомба здатна локалізувати пожежу на площі до 1000 м<sup>2</sup> [2].

“Противопожесна бомба”, або авіаційний засіб пожежогасіння (АСП-500) являє собою пластмасовий корпус з вихровим генератором і хвостовим стабілізатором, що забезпечує стійкий рух по заданій траєкторії. Довжина бомби - 3295 мм; діаметр –

500 мм; вага - 525 кг; внутрішній обсяг для проти пожежної речовини – 400 л. Розпил рідини здійснює заряд вибухівки масою 5 кг.

“Противопожесна бомба” доставляє вологу безпосереднє на землю, що еквівалентно приблизно 5,0 т води скинутих з літака. При підриві АСП-500 ударна хвиля збиває з дерев полум'я, а вогнегасна суміш прицільно накриває площу вогнища. Однак, це шлях вирішення проблем коли пожежа вже має велику площу.

Варіантом усунення небезпеки розвитку пожежі у небезпечних зонах є постійна наявність у повітрі змінного, “баражуючого” БПЛА-розвідника, або квадрокоптера на електричному дрозі, на висоті 150-250 м, що оснащений телевізійною апаратурою і засобами зв'язку.

Після встановлення факту та координат пожежі автоматично повідомляється наземний оператор, який забезпечує оперативний старт додаткових БПЛА вертолітного типу, оснащених засобами тушіння пожеж порошкового або гранулярного типу. Зрозуміло, що атакуючий пожежу БПЛА повинен мати засоби акустичного і оптичного попередження, щоб люди залишили ділянку на котрій набирає силу пожежа.

Якщо не вдалося приборкати вогняну стихію порошковими бомбами, наступним кроком може бути застосування модернізованого АН-32П (бажано у безпілотному варіанті), у якого на зовнішній підвісці, замість зовнішніх контейнерів для восьми тон вогнегасної рідини, знаходяться засоби кріплення для водяних бомб типу АСП-500.

Не виключено, що для усунення “кисневого голодування” двигунів літака, в момент піке на зону пожежі, додатковий кисень повинен бути у балонах високого тиску на борту літака і автоматично подаватися у двигуни за сигналом датчика про вміст кисню у повітрі.

### **Існуючий досвід**

Застосування безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану лісового господарства детально розглянуто в багатьох публікаціях і не потребує більш детального аналізу. Що стосується дистанційного тушіння лісових пожеж так у Китаї, в провінції

Шаньці, у квітні 2019 року військові розстріляли лісову пожежу з 122-мм гаубиць, що стріляли артилерійськими снарядами начиненими вогнегасним порошком. Після 172 пострілів 200-метрова лінія вогню була знищена.

Як повідомляє New Scientist, американська лісозаготівельна компанія Weyerhaeuser розробила "водяні бомби" з ПВХ-ємностей діаметром 1,2 м і місткістю 900 кг води із протипожежними реагентами [3]. Бомби оснащені парашутом і можуть скидатися з звичайних військово-транспортних літаків. Доречи, C-130 Hercules може взяти на борт 16 таких бомб. Бомби оснащені клапаном для автоматичного вивільнення рідини на висоті біля 70 м.

Розглядаючи проблему оперативного доставлення невеликих протипожежних бомб є сенс розглянути досвід американської компанії UAVOS яка переробила легкий двомісний вертоліт Robinson R-22 в вантажний безпілотний літальний апарат [4]. Апарат може перевозити вантажі масою до 180 кілограмів, перебувати в повітрі до шести годин і розвивати швидкість до 160 кілометрів на годину. Максимальна дальність польоту Robinson R-22 становить 1020 кілометрів.

Таким чином, досвід дистанційного тушіння лісових пожеж існує. Засоби доставлення теж у наявності. Тому є сенс розглянути варіант створення протипожежних бомб українського виробництва від 40 кілограмових порошкових до 500 кілограмових типу АСП-500.

### **Зміст пропонуємих досліджень**

Звісно, що повторювати конструкцію морально застарілої АСП-500 немає сенсу. Необхідна нова розробка, адаптована до існуючих засобів доставки. Можливо це м'які пластикові контейнери з армуючою сіткою, що компактно складаються і наповнюються піноутворюючою сумішшю на місці призначення. Міцність таких бомб можна забезпечити роздувом за рахунок наповнення їх вуглекислим газом під тиском. Можливо виготовлення пластикових балонів в зоні пожежі, шляхом доставки відповідного обладнання та пластикової сировини.

Зрозуміло одне. Розгортання пожежників передбачає, що на місці призначення потрібна тільки вода. Крім того, номенклатура протипожежних бомб повинна бути адаптована до засобів доставки. Якщо це вертоліт типу Robinson R-22, вага однієї бомби повинна бути біля 40 кг. Якщо це пожежний літак, то вага бомби може досягнути 0,5-0,9 т.

### **Зміст подальших досліджень**

Не виключено, що в окремих випадках, таких як аварія, на АЕС "Фукусіма", коли вартість усунення небезпеки не має значення, доцільне застосування у протипожежних бомбах замість звичайної, дуже коштовної на цей час, так званої, "сухої води" (Фторкетон ФК-5-1-12), яка незамінна для гасіння пожеж на об'єктах високовольтного обладнання. Доречи, "суха вода" типу 3M Novek 1230 вже доступна для використання.

З точки зору автора перспективним є використання бомби типу АСП-500, з одночасним метанням касет малорозмірних фугасних бомб в

тонкостінній, можливо метало-пластиковій оболонці, що частково заглиблюються в ґрунт, а при підриві створюють стрічки з малим радіусом розльоту. Фугасний вибух за аналогією касетних боеприпасів необхідний, щоб забезпечити смугу викиду ґрунту, а також повалити дерева і перевести верхову пожежу в низькотемпературну низову.

### **Висновки і пропозиції**

Керуючись цінністю кожного людського життя, а також вже наявними технічними досягненнями, є сенс всю небезпеку знаходження над зоною пожежі на малих висотах для доставки вогнегасних речовин безпосередньо в вогонь покласти на безпілотну авіацію.

Необхідно відзначити, що бізнес протипожежних технологій швидко розвивається, і необхідні невідкладні наукові і виробничі зусилля для можливості своєчасно зайняти відповідну нішу у міжнародних протипожежних послугах як авіаційними засобами доставки, так і протипожежними бомбами українського виробництва.

Таким чином, доцільність проведення наукових досліджень у запропонованому напрямку відповідає умовам, що об'єктивно склалися. Це глобальне потепління, літня спека і посуха, масштабні пожежі у реліктових лісах. Додатковим фактором є наявність вагомого наукового і інженерного базису створеного попередніми дослідниками, а також повна впевненість в досягненні позитивного результату.

Є тільки одне питання на яке, поки що, немає відповіді – джерело фінансування запропонованих дослідно-конструкторських робіт.

### **Список використаних джерел**

1. Пасенченко Я.М., Демків А.М., Савченко О.В. Інформаційно-патентна добірка стосовно протипожежних пристроїв та обладнання, високотехнологічних, роботизованих систем для гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт. – Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки. Київ - 2009, 59 с.  
[http://www.armtecbrazil.com/upload/clipping/17\\_inf\\_pat\\_dbr\\_003.pdf](http://www.armtecbrazil.com/upload/clipping/17_inf_pat_dbr_003.pdf)
2. Сергей Птичкин. Уникальная разработка для тушения пожаров осталась невостребованной. ФГБУ. Интернет-портал "Российской газеты", "Вооружение России". – Эл № ФС 77 - 50379. – 29.08.2021 г.  
<https://rg.ru/2021/08/29/unikalnaia-razrabotka-dlia-tusheniia-pozharov-ostalas-nevostrebovannoj.html>
3. Разработаны "водяные бомбы" для тушения лесных пожаров. АвиаПОРТ Источник: сайт «СNews» Опубликовано: 17.09.2007, 18:48.  
<https://www.aviaport.ru/digest/2007/09/17/128507.html>
4. Сычѳв В. Американцы переделали лёгкий вертолѳт в грузовой беспилотник. N+1 Интернет-изд. Св. рег. СМІ Эл № ФС77-67614. Роботы и дроны. 09:34 01 Фев. 2020  
<https://nplus1.ru/news/2020/02/01/uavos>

Сафонов Ігор Євгенович

<https://orcid.org/0000-0001-5717-2813>

Коротін Сергій Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

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

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВЕРТОЛЬОТобУДУВАННЯ У СВІТІ ТА ЙОГО ПЕРСПЕКТИВИ В УКРАЇНІ

У цей час середній вік військово-транспортних вертольотів, які Збройні Сили України отримали в спадок від СРСР, перевищує 30 років. До наших днів “успадковані” обсяги запасних частин дозволяють успішно і відносно дешево продовжувати експлуатацію авіаційного парку, але така експлуатація обумовлена високими технічними ризиками і вартістю обслуговування вертольотів. У статті розглянуто можливі варіанти забезпечення Збройних Сил України потрібними зразками авіаційної техніки та особливості за кожним із них.

Актуальність теми обумовлена необхідністю пошуку шляхів для підтримання справності військово-транспортних вертольотів України та впровадження на законодавчому рівні нових Програм, які сприятимуть розвитку вертольотобудівної галузі України.

Мета статті – проведення порівняльного аналізу розвитку вертольотобудування у світі з можливостями оборонно-промислового комплексу України. Визначення можливих шляхів підтримання справності існуючого вертолітного парку та поступової заміни морально застарілих зразків авіаційної техніки з урахуванням реального стану держави.

**Ключові слова:** авіаційна техніка, вертольотобудування, військово-технічне співробітництво, військово-транспортні вертольоти, науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

З моменту початку масової експлуатації вертольоти залишаються надзвичайно затребуваним транспортним засобом завдяки своїм унікальним якостям. Вони здатні злітати і приземлятися практично в будь-якому місці. Для цього достатньо наявності рівного майданчика діаметром у півтора діаметра гвинта [9].

В цей час у галузі авіації відбувається активне вдосконалення новітніх технологій, а зростання швидкості, дальності польоту, комфорту і безпеки вертольотів, в поєднанні з традиційними саме для цього виду техніки перевагами, можуть дозволити їм зайняти навіть частину ринку, яка сьогодні належить літакам [10]. Неоціненні також здатності вертолітної техніки для використання у військових цілях [9].

Аналіз як вітчизняних, так і зарубіжних досліджень і публікацій показує, що в умовах розвитку вертольотобудування важливою частиною досліджень є прогнозування розвитку світового вертолітного ринку, що виконується щорічно спеціальними прогностичними організаціями (Forecast International, Honeywell) [8].

Центрами світового вертольотобудування є ЄС і США, в яких розміщені штаб-квартири і основні виробничі активи лідерів галузі: Bell Helicopter, Enstrom Helicopter Corp., MD Helicopters, Robinson Helicopter Company, Sikorsky, Airbus Helicopters, Leonardo Helicopters, Hélicoptères Guimbal и NH Industries. При цьому на ринку є явні доміанти –

Airbus Helicopters та Robinson Helicopter Company (Рис.1)[10].

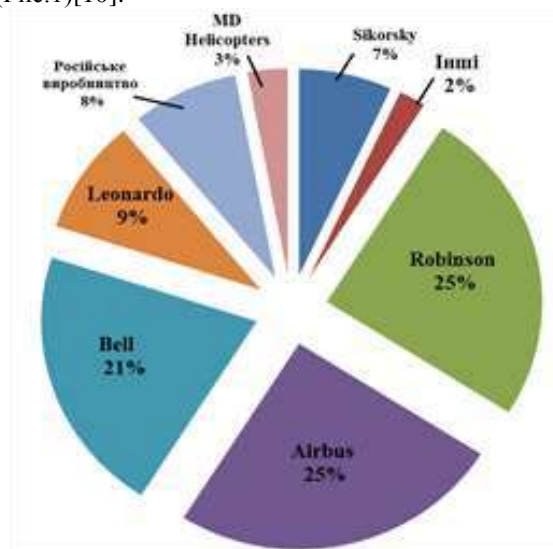


Рисунок 1 Розподіл світового парку вертольотів

Єдиний у світі виробник, якому вдалося поставити на серійну збірку практично всю (за невеликими винятками) лінійку вертольотів злітною масою від 1,5 до 11 т, став європейський консорціум Eurocopter, утворений на базі об'єднання вертольотобудівних корпорацій Франції і ФРН [8].

Роботи зі створення швидкісних вертольотів нового покоління ведуться у США і деяких країнах Європи. Проектианти мають намір довести максимальну швидкість своїх машин до 400 км/год і вище. Значне збільшення швидкісних характеристик гвинтокрилих машин відбувається завдяки новітнім лопатям, які знижують негативні аеродинамічні ефекти, що виникають у вертольотів класичної схеми на великих швидкостях [14].

На сучасних типах авіаційної техніки (АТ) інтенсивно впроваджуються автоматика, обчислювальна техніка, складне авіаційне і радіоелектронне обладнання. Але, не дивлячись на підвищення надійності окремих елементів, надійність системи, а, отже, й повітряного судна в цілому, може не тільки підвищуватися, а інколи і знижуватися, оскільки ймовірність відмов та пошкоджень при збільшенні кількості елементів зростає. Недостатня надійність АТ завдає великих матеріальних витрат і моральних збитків [4].

Високорозвинені країни прагнуть модернізувати парк військових вертольотів. Закупівлі нової АТ здебільшого обмежуються природною заміною вертольотів, що вийшли з ладу через повне вироблення ресурсу або в ході участі у воєнних операціях [8].

У зв'язку з тим, що Збройні Сили (ЗС) України отримали в спадок від СРСР ранні модифікації вертольотів Ми-8, у цей час середній вік військово-транспортних вертольотів перевищує 30 років. До наших днів "успадковані" обсяги запасних частин дозволяють успішно і відносно дешево продовжувати експлуатацію авіаційного парку. Але така експлуатація обумовлена високими технічними ризиками і вартістю обслуговування вертольотів, але в цілому експлуатація старих машин, як і раніше, істотно дешевше закупівлі і використання нової АТ [3].

Реалії сучасного періоду існування України свідчать про те, що зараз відбулося згорання військово-технічного співробітництва (ВТС) з країнами СНД, у першу чергу – з Росією, тоді як у той же час ВТС з країнами Заходу знаходиться лише у початковому стані [12].

Згорання ВТС з Російською Федерацією також призвело до унеможливлення випуску окремих зразків АТ як для потреб ЗС України, так й для постачання на експорт. За даними МО України, зараз підприємства ОПК України у змозі виробляти за замкненим циклом лише 2-3 % потрібних для ЗС України зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) [2]. Не виключенням є і військово-транспортні вертольоти типу Ми-8, повний цикл виготовлення запасних частин для яких існує лише на території Російської Федерації, що створює великі труднощі під час експлуатації вертольотів зазначеного типу на території України.

Сьогодні вертоліт Ми-8 вважається один з наймасовіших в історії вертольотобудування. На сьогоднішній день випущено більше 12 тисяч вертольотів типу Ми-8/17, які було поставлено у 100 країн світу. Можливості цих вертольотів

постійно розширюються за рахунок проведеної модернізації та оснащення сучасним обладнанням, що дозволяє невибагливим в експлуатації машинам вирішувати все більш складні завдання [10]. Всього на сьогоднішній день було розроблено понад 130 модифікацій Ми-8, у тому числі і цивільного призначення [11].

Раніше вертольоти Ми-8 купували навіть США. У 2011 році на кошти американської сторони був укладений контракт на поставку в Афганістан партії цих машин. Сума угоди склала близько \$ 1,3 млрд. Таким чином Вашингтон вирішив зміцнити урядову армію Афганістану [11]. Проте їх новітні модифікації і зараз охоче закуповуються як російськими, так і зарубіжними замовниками [12].

Станом на сьогодні єдиним розробником і виробником вертольотів в Російській Федерації є холдинг "Вертольоти Росії" [9]. З 2016 по 2019 роки холдинг "Вертольоти Росії" виробляв приблизно 200 вертольотів на рік (Рис.2). У 2018 році співвідношення цивільних та військових вертольотів складало 35% та 65% відповідно. При цьому, ще у 2016 році з 189 вертольотів, які вироблено холдингом "Вертольоти Росії", тільки 17 були цивільними (менше 10%) [16].

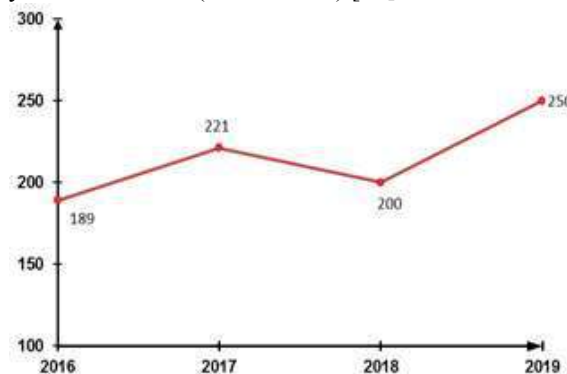


Рисунок 2. Кількість виготовлення нових вертольотів типу Ми-8 холдингом "Вертольоти Росії"

Але на цей час російське вертольотобудування зустрічає кілька обмежень. По-перше, це режим санкцій, який діє відносно холдингу "Вертольоти Росії" і ускладнює російському виробнику доступ до технологій і можливості збуту.

По-друге, це конкуренція з боку інших виробників у світі. Яскравий приклад останнього – боротьба "Вертольотів Росії" з Airbus за китайський ринок. У квітні 2019 року з'явилося повідомлення, що у Китаї відбулося введення в експлуатацію лінії остаточного складання вертольотів H135 європейського виробника Airbus. H135 – багатоцільовий легкий вертоліт [10].

Для заміни парку морально застарілих вертольотів Ми-8, акціонерне товариство "Казанський вертолітний завод" спільно з Московським вертолітним заводом і франко-німецько-канадською фірмою "Єврокоптер" розробили багатофункціональний вертоліт середнього класу Ми-38. За своїми характеристиками Ми-38 відповідає європейським



і американським нормам льотної придатності [12]. Вертоліт Ми-38 займає нішу між легендарним Ми-8 і важким Ми-26 та може застосовуватися для перевезення вантажів і пасажирів, у тому числі VIP, використовуватися в якості пошуково-рятувального вертольота, літаючого госпіталю, а також для польотів над водною поверхнею. Завдяки технічним рішенням Ми-38 перевершує інші вертольоти свого класу за вантажопідйомністю, пасажиромісткістю та багатьом льотно-технічними характеристиками. Вертоліт виконаний за класичною схемою з 6-ти лопатевим гвинтом, 4-х лопатевим Х-подібним рульовим гвинтом і керованим стабілізатором, лопаті виготовлені із склопластиків методом намотування, при цьому їх ресурс практично не обмежений. Вантажопідйомність Ми-38 становить 5000 кг. А на зовнішній підвісці він підіймає у повітря 6000 кг. На борт він може взяти до 30 пасажирів. Для порівняння: вантажопідйомність Ми-8 становить 4000 кг і 26 пасажирів. Єдиний дводвигуновий конкурент Ми-38 на сучасному ринку – це французький Airbus Helicopters H225 вантажопідйомністю до 5500 кг [12].

Ще один вертоліт, який створюється на базі машин сімейства Ми-8/17, це транспортно-бойовий вертоліт для спецназу Ми-8АМТШ-ВН. Нова машина розробляється з урахуванням досвіду, отриманого у сучасних військових конфліктах. Експерти називають Ми-8АМТШ-ВН “могутньою зброєю” і новим етапом розвитку вертольотобудування [11].

До особливостей вертольоту Ми-8АМТШ-ВН можна віднести встановлення висотних двигунів збільшеної потужності, нової несучої системи, розширеного арсеналу озброєння, модернізованих засобів ураження, обладнання для виявлення і розпізнавання цілей, інфрачервоного випромінювача, гіростабілізованої оптико-електронної системи, цифрового автопілоту, бортового комплексу оборони “ЛВЗ-8ВН”. Разом з цим кабіна вертольота і його основні вузли захищені бронєю з титанового сплаву, борта до рівня ілюмінаторів прикриті змінною бронєю з кевлару. Кабіна з бронескла забезпечує хороший огляд. Завдяки більш точним приладам екіпаж Ми-8АМТШ-ВН може здійснювати польоти вночі з використанням окулярів нічного бачення [11].

Зазначені вище вертольоти оснащені вартісним бортовим радіоелектронним обладнанням, у чому зацікавлені далеко не всі компанії-експлуатанти, тому що нова електронна компонентна база істотно збільшує вартість кінцевої послуги для замовника. Ринок зацікавлений у простих вертольотах, таких як “Ансат”, Ми-8АМТ/МТВ тощо. Однак ця зацікавленість веде до суттєвого відставання Росії у впровадженні передових технологій. Зокрема, практично неможливий ремонт ряду композитних виробів, що може вивести з експлуатації техніку і привести до фінансових втрат [9].

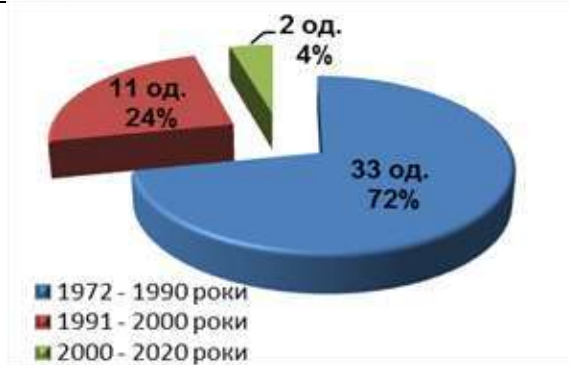


Рисунок 3. Вертольоти типу Ми-8, які знаходяться у Державному реєстрі цивільних ПС України

Не зважаючи на бурхливий розвиток вертолітної техніки у світі, з певних причин в Україні продовжується експлуатація транспортних вертольотів, середній термін експлуатації яких перевищує 30 років (Рис.3). Не виключенням є і військово-транспортні вертольоти, які знаходяться на озброєнні ЗС України. Роки виготовлення цих вертольотів знаходяться в діапазоні 1980 – 1990 років.

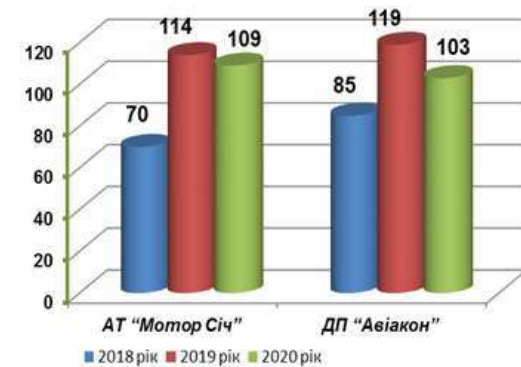


Рисунок 4. Розподіл рекламційних актів, які отримали АРЗ

За результатами аналізу статистики облікованих причин несправностей військових вертольотів, спостерігається чітка тенденція зростання кількості несправностей із року в рік. Так, у 2019 році спостерігалось значне зростання кількості несправностей на вертольотах із-за зростання кількості недоліків ремонту на авіаремонтних підприємствах. Про низьку якість ремонту вертольотів свідчить зростання кількості рекламційних актів (Рис.4). Вертольоти типу Ми-8МТ(МТВ) серед всіх типів вертольотів мають найбільший наліт – 9135 год та найбільшу кількість несправностей – 244 од. Середній показник експлуатаційної надійності дорівнює  $T_{с.т.в} = 300$  год/неспр (для порівняння 2018 рік –  $T_{с.т.в} = 420$  год/неспр.). Отже, спостерігається погіршення показників надійності на 28,6%.

Головною причиною такої ситуації залишається інтенсивна довготривала експлуатація вертольотів у продовжений період, а також зниження якості ремонтних робіт на АРЗ [4]. Тренд зміни розподілу

виникнення несправностей за причинами конструктивно-виробничих недоліків (КВН) та недоліків ремонту (НР) на вертольотах за період 2015 – 2020 років (Рис.5).

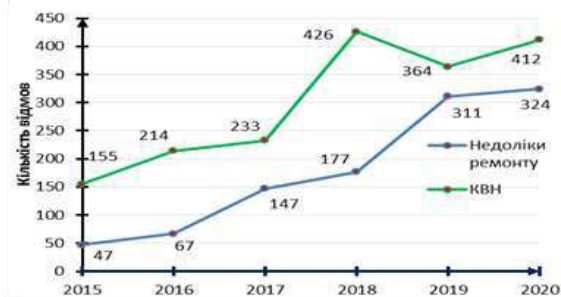


Рисунок 5. Кількість несправностей вертольотів

Незважаючи на відсутність протягом 2011-2020 років у державному бюджеті фінансування на проведення досліджень і розроблень інноваційних авіаційних технологій, матеріалів, обладнання, процесів і випробувань, підприємства галузі вклали певні власні кошти на проведення відповідних робіт. Зокрема, за період 2015 – 2019 років основні розробники авіаційної техніки (літаків – державне підприємство “Антонов”, вертольотів – акціонерне товариство Мотор Січ”, двигунів до них – державне підприємство “Івченко-Прогрес” і акціонерне товариство “Мотор Січ”) вклали на проведення досліджень і розроблень нових конкурентоспроможних зразків АТ близько 10 млрд. гривень (близько 400 млн. доларів США в еквіваленті) власних коштів [12].

Роки розбудови ринкової економіки в Україні довели, що держава немає достатніх матеріальних ресурсів для збереження науки, яка потрібна для задоволення потреб ЗС України у вирішенні питань ВТП, у тому вигляді, в якому вона була створена за радянських часів. У цьому контексті, на жаль, можна говорити про деяку невідповідність принципів планування видатків бюджету на проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) зі створення зразків ОВТ тим закономірностям, що диктуються логікою і порядком проведення цієї специфічної діяльності [2].

Одним із провідних підприємств вертольотобудування в Україні є акціонерне товариство “Мотор Січ” (м.Запоріжжя), яке в інтересах Збройних Сил України на базі вертольоту типу Ми-8Т розробило вертоліт Мі-8МСБ-В. По суті, це модернізований вертоліт типу Ми-8Т з встановленням нових двигунів, комплексу захисту вертольота та розширеним спектром завдань. Цей вертоліт був прийнятий на озброєння ЗС України у квітні 2014 року як десантно-транспортний вертоліт, і на цей час експлуатується у військових частинах на ряду з військово-транспортними вертольотами Ми-8МТ/МТВ [12].

Безумовно, вітчизняні виробники досягли певних успіхів у процесі модернізації АТ, однак це дозволяє вирішити короткострокові проблеми. В перспективі для збереження та розвитку потенціалу

військової авіації, поряд із проведенням робіт з модернізації й продовження ресурсів і термінів служби, актуальним стане питання переозброєння на вертольоти нового покоління. При виборі варіанту такого переозброєння мають бути проаналізовані різноманітні фактори, від яких залежить розвиток військової авіації. При цьому мають бути враховані потрібні типи та кількість літальних апаратів, фінансові можливості держави, спроможності вітчизняного науково-виробничого комплексу, умови і вартість експлуатації визначених типів військової АТ та багато інших факторів [12].

Під час вирішення питання щодо забезпечення ЗС України потрібним зразком АТ можливо розглядати наступні варіанти:

створення та серійне виробництво зразка АТ підприємствами та установами національної економіки та ОПК України;

модернізація наявних у ЗС України зразків АТ; закупівля окремих складних зразків АТ за імпортом [2].

Розроблення нової техніки на основі вже наявних зразків – це притаманний шлях для американського виробництва вертольотів [8].

Виходячи з економічних реалій України, потрібно зважено підходити до розвитку замкнених у межах однієї країни циклів розробки й виробництва наукомістких зразків АТ. Україна належить до небагатьох країн світу, котрі володіють повним циклом створення авіаційної техніки, і посідає провідне місце на світовому ринку в секторі військово-транспортної, транспортної та регіональної пасажирської авіації. Ефективне використання розробок в оборонній сфері, можливе лише за умови цілеспрямованої державної підтримки й запровадження механізмів стимулювання, серед яких – потужний державний бюджет, надання пільгових кредитів, податкове стимулювання, митні пільги, захист ринку збуту від зарубіжних конкурентів тощо [7].

Аналіз світового досвіду показує, що проблему відновлення справності (технічного ресурсу) вертольотів доцільно вирішувати шляхом проведення капітального ремонту з одночасним виконанням робіт з продовження установленого строку їх експлуатації в межах міжремонтного строку. Разом з цим в процесі ремонту цієї техніки доцільно проводити її модернізацію та дообладнання сучасними системами, які вже пройшли апробацію [8].

Модернізація АТ дозволяє впродовж великого часу підтримувати боєздатність ЗС України на достатньому рівні, а її проведення обходиться набагато дешевше й простіше, у менші терміни, ніж створення та організація серійного виробництва нового зразка. І припиняється вона тільки тоді, коли зразок АТ, за станом більшості своїх складових частин, застаріє морально, серійне виробництво його припиняється й на даному підприємстві розгортається серійне виробництво зразка нового покоління, який за своїми тактико-

технічними характеристиками набагато перевершує свого попередника.

В умовах обмеженого фінансування МО України не може виступити замовником проведення НДДКР або масової закупівлі АТ в інших країнах внаслідок їхньої високої вартості. Тому найдоцільніше – це надання послуг з розробки, виробництва та модернізації окремих зразків АТ підприємствами ОПК України за замовленнями інших країн або їхніх підприємств [2].

У разі розгляду варіанту закупівлі за імпортом, виникає низка проблемних питань. Основними серед них є такі:

відсутність у державі достатніх обсягів коштів на закупівлю технологічно складних та вартісних вертольотів (закордонні високотехнологічні зразки є досить коштовними);

не всі країни світу будуть продавати Україні зразки ОВТ з погляду на нестабільну обстановку в країні;

необхідність зміни тактики дії підрозділів, частин ЗС України з метою організації експлуатації та бойового застосування закордонних зразків спільно з вітчизняними, зміни системи логістичного забезпечення військ [2].

Разом з тим Україна буде змушена у подальшому купувати до нових зразків в країнах-постачальниках боєприпаси, запасні частини, матеріали й спеціальне обладнання для експлуатації і ремонту, готувати за допомогою іноземних фахівців вітчизняних спеціалістів з бойового застосування, експлуатації й ремонту даних зразків АТ, що коштує, як показує практика, доволі дорого та не сприяє розвитку вітчизняного ОПК [12]. Ціни на закордонні зразки АТ, що вказуються під час вирішення питання щодо можливості їх закупівлі, є тільки базовими. Практика свідчить, що є й інші складові вартості продукції іноземного походження, які виникають під час оформлення та реалізації контракту та суттєво збільшують базову ціну за одиницю продукції.

Також для капітального ремонту зразків АТ нового покоління використовується існуюча інфраструктура підприємства (будови, енергетичні мережі та обладнання, верстати загального призначення, деякі технологічні лінії тощо). Однак для ремонту та випробування оригінальних деталей, вузлів, агрегатів та приладів потрібні розроблення, виготовлення та встановлення нового обладнання, що й складе левову частку витрат на підготовку ремонтного виробництва. Іноді будуються нові цехи або виробничі дільниці. Дані витрати частково компенсуються за рахунок більшої вартості ремонту нових зразків у період освоєння капітального ремонту зразка АТ нового покоління (1-2 роки), а частково – за рахунок включення їхніх амортизаційних відрахувань до собівартості капітального ремонту [2].

Приймаючи рішення щодо закупівлі закордонних зразків ОВТ, МО України вважає, що

йти на такий крок слід тільки виходячи з нагальної потреби ЗС у зразках ОВТ такого типу і марки, та неможливості або економічної недоцільності їхнього створення й серійного виробництва в установах та на підприємствах національного ОПК [3].

Результати аналізу стану вітчизняної авіаційної промисловості свідчать про наявність комплексу проблем, розв'язання яких потребує державних преференцій та стимулів і використання програмно-цільового методу. До основних проблем, зокрема, належать:

відсутність або недостатність ресурсного (фінансового, матеріального, кадрового) забезпечення для виконання поточних і формування перспективних замовлень на поставку АТ;

негармонізованість нормативно-технічної бази з питань проектування та виробництва АТ з відповідною документацією провідних іноземних виробників;

незадовільний фінансово-економічний стан підприємств авіаційної промисловості та критичний стан їх основних виробничих фондів і структури кадрового потенціалу;

недосконалість вітчизняної системи реалізації основних етапів життєвого циклу АТ: маркетинг, дослідження, розроблення, виробництво, супроводження в експлуатації [1].

З метою врегулювання проблемних питань Кабінет Міністрів України затвердив Державну цільову науково-технічну програму розвитку авіаційної промисловості на 2021 – 2030 роки, метою якої є створення умов для реалізації інноваційних досліджень і розроблення нових конкурентоспроможних авіаційних технологій, матеріалів, виробничих процесів та обладнання, проведення випробувань, реалізація і впровадження яких дасть змогу забезпечити рентабельне серійне виробництво високотехнологічної авіаційної техніки в Україні, розробити зразки нових конкурентоспроможних моделей серійних, модернізованих вертольотів, двигунів, малощумних гвинтів, іншої техніки, а також сприятиме її експорту на зовнішній ринок [1].

## **Висновки**

Виходячи з аналізу реального стану військово-транспортних вертольотів в Україні, можна говорити про гостроту проблеми відновлення АТ не просто шляхом ремонту та модернізації, а про необхідність поступового оновлення всього вертолітного парку. Однак, в умовах недостатнього фінансування актуальним є завдання підтримки необхідного рівня справності вертольотів шляхом проведення своєчасних та ефективних заходів по відновленню АТ та її компонентів.

За рівних умов, коли вартість створення й організації серійного виробництва нового зразка АТ в Україні дорівнює вартості закупівлі аналогічного зразка АТ за кордоном, або навіть не набагато перевищує її, рішення щодо джерела

придбання зразка АТ, повинно прийматися на користь вітчизняного варіанта – оборонне замовлення повинно забезпечувати робочими місцями та заробітною платою громадян своєї країни.

Одним із можливих шляхів розвитку перспективного вертольотобудування є міжнародна кооперація. Варіант вирішення цієї проблеми можна розглядати на прикладі таких американських фірм, як Bell і Sikorsky.

Лише створивши максимально комфортне з фінансової та юридичної точки зору середовище, можна досягти високих показників розвитку вертолiтної iндуcтpії. Таким чином можна сподіватися, що затверджена КМ України Державна цільова науково-технічна програма розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки надасть поштовх для розвитку вертольотобудівної галузі України та згодом відбудеться планомірна заміна застарілого вертолiтного парку військово-транспортних вертольотів на сучасні зразки вітчизняного виробництва.

### **Список використаних джерел**

1. Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки: Постанова Кабінету Міністрів України від 01.вер.2021 р. № 951. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/951-2021-p#Text> (дата звернення: 09.11.2021)
2. Теорія озброєння. Науково-технічні проблеми та завдання. Т.6. Воєнно-економічний аналіз життєвого циклу озброєння та військової техніки: теоретико-методологічні засади/ Чепков І.Б., Зубарев В.В., Борохвостов В.К. [та ін.]; Вид. Дмитра Бурого, монографія. Київ: 2018. 475 с.
3. Борохвостов В.К., Рябець О.М., Сушак М.Б. Питання формування ціни на продукцію військового призначення, що закуповується за імпортом. Журнал “Озброєння та військова техніка”. 2016. № 3. С. 8–13.
4. Голуб В.М., Башинський В.Г., Жданюк М.М. Визначення тренду змін показників надійності вертольотів державної авіації України. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів: 2020. Вип. 2(4), С. 17–27.
5. Буряк Ю.И., Калинин В.Л., Любовников М.П. Направления повышения эффективности применения перспективных образцов авиационной

техники за счет согласованного использования современных информационных технологий. Научный вестник МГТУ ГА. 2015 Вип. 217. С. 75–82.

6. Тішков Ю.М., Шалигін А.А. Особливості модернізації вертольота Ми-24 для Збройних Сил України. Системи озброєння і військова техніка, 2011. № 4(28). С. 31–34.

7. Чепков І. Б., Борохвостов І. В., Борохвостов В. К., Русевич А.О. Проблеми технічного оснащення Збройних Сил України та шляхи їх розв'язання в сучасних умовах. Наука і оборона 3. 2014. С. 43–50.

8. Казак В.М., Огир А. Г. Аналіз світового ринку вертольотів і перспективи його розвитку. Наукоємні технології: НАУ. 2011. № 1-2. С. 9–10.

9. Смирнова Е.И., Эрдниева А.Ю. Современное состояние и перспективы развития вертолетной индустрии в российской федерации. Научный журнал. Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 11. Ч 2. С. 333-339. URL: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1430> (дата звернення: 09.11.2021).

10. Бутов А. М. Рынок вертолетов гражданского назначения. Национальный исследовательский университет. 2019 год, 79 стр.

11. “Мощное оружие”: на что будет способен новый вертолёт десанта Ми-8АМТШ-ВН”: веб-сайт. URL:<https://russian.rt.com/russia/article/766653-mi-8amtsh-vn-vertolyot-rosteh>. (дата звернення: 11.11.2021).

12. Вертолiт 38 технічні характеристики. Вертолiт із покоління довгобуду: веб-сайт. URL:<https://avtovsamare.ru/uk/vertolet-mi-38-tehnicheskie-harakteristiki-vertolet-iz-pokoleniya-dolgostroya/>(дата звернення: 11.11.2021).

13. Нове життя вертольотів “Ми” в Україні: веб-сайт. URL:[www.ukrmilitary.com/2016/02/mi-in-ukraine.html?m=1](http://www.ukrmilitary.com/2016/02/mi-in-ukraine.html?m=1). (дата звернення: 11.11.2021).

14. В погоне за звуком. Самые скоростные вертолеты мира: веб-сайт. URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/5817986> (дата звернення: 11.11.2021).

15. Державний реєстр цивільних повітряних суден України: веб-сайт. URL: <https://avia.gov.ua/state-civil-aircraft-register-of-ukraine/> (дата звернення: 09.11.2021).

16. Рынок вертолетов - анализ и тенденции: веб-сайт. URL: <https://russiandrone.ru/publications/rynok-vertoletov-analiz-i-tendantsii/> (дата звернення: 09.11.2021).

**Шановні колеги!**

Запрошуємо до участі у науково-практичному журналі  
“Повітряна міць України”,

Видавець: Національний університет оборони України імені Івана Черняховського,  
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 Черняховського 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.*)

← 1 пустий рядок – **6 пт.**

**<sup>1</sup>Іванов Іван Іванович** (д-р техн. наук, професор) ← (*кегль – 11 та 8 пт.*)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X> ← (*кегль – 10 пт.*)

← 1 пустий рядок – **10 пт.**

**<sup>2</sup>Петров Іван Іванович** (канд. техн. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

← 1 пустий рядок – **6 пт.**

**<sup>1</sup>Університет..., Київ, Україна**

**<sup>2</sup>Інститут..., Київ, Україна** ← (*кегль – 11 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; поняття2; 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 колонтипули. 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 вставляти невидимими, формулу вирівнювати по центру, номер формули в круглих дужках, вирівнювання по правому краю, вирівнювання в ячейках по центру). Наприклад:

← 1 пустий рядок – 6 пт.

$A = \pi r^2$	(1)
---------------	-----

← 1 пустий рядок – 6 пт.

де $r$	–	радіус кола
--------	---	-------------

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Для заміни стандартного для рівнянь шрифту *Cambria Math* необхідно виділити формулу, у вкладці *Робота з рівняннями* активувати кнопку *Звичайний текст* після цього у вкладці *Головна* обрати шрифт *Times New Roman*.

Розмір шрифту 10 пт, підрядковий та надрядковий індекс 8 пт.

Стиль формул – “прямий” для символів *Кирилицею* та “курсив” для *Латинських* символів.

Табличний заголовок (напівжирний, 10 пт.) – **обов’язковий**, в таблиці 10 пт.

Рисунки **обов’язково** супроводжуються центрованими підрисунковими підписами (кегль – 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 **мету** (виділяється напівжирним текстом), 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, методику 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, захища 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 (кегль – 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>Ivan Ivanov (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

<sup>2</sup>Ivan Petrov (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: Я.В. Ярошенко, Б.Ж. Шкурят  
Оформлення обкладинки Я.В. Ярошенко

Підписано до друку 05.01.22 Формат 60x84 1/8  
Зам. б. Вид . Обл-вид.арк. 6,498. Друк.арк. 14,25. Тираж 20 прим.  
Друкарня НУОУ ім. Івана Черняхівського

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції, серія ДК № 2205 від 02.06.2005