

ПОВІТРЯНА МІЦЬ УКРАЇНИ

№ 1 (6)
2024

Науково-практичний журнал В номері:

Засновник і видавець
Національний університет
оборони України
Журнал заснований
у 2021 році

Адреса редакції
Національний університет
оборони України
Інститут авіації
та протиповітряної оборони
проспект Повітряних Сил, 28,
Київ, 03049
телефон: (044)-271-05-88,
(050)-981-49-83
e-mail: iapvo.ndl@gmail.com
електронна версія журналу:
sap.nuou.org.ua

Журнал зареєстровано в
Міністерстві юстиції України
(Свідоцтво
КВ № 24979-14919Р)
ідентифікатор медіа
у Реєстрі суб'єктів
у сфері медіа – **R30-01154**
ISSN 2786-7714
(друкованого видання),
ISSN 2786-7722
(електронного видання)

Журнал включений до
переліку наукових фахових
видань України, в яких
можуть публікуватися
результати дисертаційних
робіт на здобуття наукових
ступенів доктора наук,
кандидата наук та ступеня
доктора філософії (Наказ
Міністерства освіти і науки
України № 220 від 21.02.2024
“Про затвердження рішень
атестаційної комісії
Міністерства освіти і науки
України від 21.02.2024”)

Галузі науки: технічні,
військові.
Тематична спрямованість
науково-практичного журналу
відповідає таким
спеціальностям:
122 Комп'ютерні науки;
253 Військове управління (за
видами збройних сил);
255 озброєння та військова
техніка;
263 Цивільна безпека.

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

Рекомендовано до друку
Вченою радою Національного
університету оборони України
(протокол
№ 6 від 21 травня 2024 року)

При використанні матеріалів
поширення на журнал
“Повітряна міць України”
обов'язково

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

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ УКРАЇНИ, УДОСКОНАЛЕННЯ ЇХ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ	5
Стратегія інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням БПЛА (Кравченко Ю. В., Дашко Н. Б.).....	5
Першочергові завдання інженерно-авіаційної служби щодо інтеграції F-16 у систему Повітряних Сил Збройних Сил України (Коропін І. П., Коцюруб А. В., Радько О. В.).....	14
Психологічні аспекти підготовки льотчиків штурмової авіації до дій в особливих випадках польоту (Короп С. В., Рудич К. В.).....	23
Оцінка ефективності льотної підготовки пілотів на основі алгоритмів нечіткого виведення (Шевляков Ю. І., Миронюк М. Ю., Дзюбенко Ю. А., Ярошенко Я. В.).....	28
ПИТАННЯ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ТА ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ АВАЦІЇ УКРАЇНИ, ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ, РАДІОТЕХНІЧНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК, ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ	36
Удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування (Медведєв В. К., Дрошук А. М., Присяжнюк В. Ю.).....	36
Використання критеріїв оптимальності під час обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття (Глоба О. В.).....	43
Протиповітряна оборона в російсько-українській війні: уроки та рекомендації (Титаренко О. Б., Власенко Є. В.).....	49
Класифікація протоколів маршрутизації mesh-мереж (Хажсанець Ю. А., Білоус О. В.).....	56
ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ	63
Адаптація літаків тактичної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України для застосування іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” (Каллюк Є. Ю., Гончаренко Є. В., Печененко О. М., Чернов С. В.).....	63
Розширення бойових можливостей вертольотів типу Ми-8 при польотах вночі в окулярах нічного бачення (Рашиєвський Є. Ю., Пантелєєва Н. М.).....	73
Напрями розвитку безпілотних літальних апаратів наприкінці ХХ – у першій чверті ХХІ століть (Резнік В. І., Ремез А. В., Сряков І. І.).....	81
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПЛІТОВАНОЇ ТА БЕЗПІЛІТНОЇ АВАЦІЇ	87
Визначення ймовірності станів доплерівського вимірника шляхової швидкості та кута знесення літального апарату з використанням марковського випадкового процесу (Яблоцький П. М., Майстров О. О., Косков Ю. М., Саранін Ю. О.).....	87
Ефективність застосування безпілотних авіаційних комплексів в сучасних військових конфліктах (Волошин І. І., Луцеват О. І., Васильченко Д. О.).....	93
Шляхи підвищення бойових спроможностей військових частин за рахунок оптимізації застосування ударних БПЛА (Чирак М. С.).....	99
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	105
Експрес-оцінювання варіантів організації взаємодії засобів протиповітряної оборони з літальними апаратами (Шкурат Б. Ж., Резнік Д. В.).....	105
ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ	112
Проблемні питання функціонування існуючої системи технічного обслуговування радіоелектронної техніки радіотехнічних військ (Попов С. Е., Юфа Є. А., Якобичук О. В.).....	112
БЕЗПЕКА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ	117
Методи протидії сучасним радіолокаційним головкам самонаведення керованих авіаційних засобів ураження класу “повітря-повітря” противника (Дяченко В. О., Коропін С. М.).....	117
ПИТАННЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ	124
Експериментальний метод виявлення та ідентифікування наземних мін безпілотними літальними апаратами (Бас О. В., Землянський О. М., Мирошник О. М., Араменко О. В.).....	124
ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	131
Забезпечення надійності та безпеки у сучасних безпроводових сенсорних мережах на основі впровадження метрики RSSI (Опенько П. В., Довженко Н. М., Орхівський П. В., Ігасєв Д. Р.).....	131
Застосування поліномів Берштейна при наближенні розв'язків крайових задач в моделях динаміки параметрів траєкторій літаків під впливом зовнішніх факторів (Тюрін В. В., Барабаш О. В., Горобець Ю. О., Білявський Б. А.).....	137
Кластеризація та класифікація ударних безпілотних літальних апаратів на основі нейронних мереж (Гусак Ю. А., Василенко О. А.).....	141
Схема оформлення статей	153

Редакційна колегія

Головний редактор

КРАВЧЕНКО Юрій Васильович
доктор технічних наук, професор
ORCID: [0000-0002-0281-4396](https://orcid.org/0000-0002-0281-4396)

Заступник головного редактора

КОРОТІН Сергій Михайлович
кандидат технічних наук, доцент
ORCID: [0000-0003-2123-6103](https://orcid.org/0000-0003-2123-6103)

Члени редколегії:

АВРАМЕНКО Олександр Васильович
доктор технічних наук, доцент
ORCID: [0000-0003-1358-1185](https://orcid.org/0000-0003-1358-1185)

ГАВРИЛКО Євген Володимирович
доктор технічних наук, професор
ORCID: [0000-0001-9437-3964](https://orcid.org/0000-0001-9437-3964)

ЗЕМЛЯНСЬКИЙ Олег Миколайович
доктор технічних наук, доцент
ORCID: [0000-0002-2728-6972](https://orcid.org/0000-0002-2728-6972)

КУРТСЕЙТОВ Тимур Ленурович
доктор технічних наук, професор
ORCID: [0000-0001-6478-6469](https://orcid.org/0000-0001-6478-6469)

ЛОБОЙЧЕНКО Валентина Михайлівна
доктор технічних наук
ORCID: [0000-0001-5188-6479](https://orcid.org/0000-0001-5188-6479)

МІЩЕНКО Андрій Віталійович
доктор технічних наук, професор
ORCID: [0000-0001-8376-1777](https://orcid.org/0000-0001-8376-1777)

МУРАСОВ Рустам Камілович
кандидат технічних наук, професор
ORCID: [0000-0003-0800-2062](https://orcid.org/0000-0003-0800-2062)

ОПЕНЬКО Павло Вікторович
кандидат технічних наук, старший дослідник
ORCID: [0000-0001-7777-5101](https://orcid.org/0000-0001-7777-5101)

ТИЩЕНКО Максим Георгійович
кандидат технічних наук, старший дослідник
ORCID: [0000-0003-1266-4106](https://orcid.org/0000-0003-1266-4106)

САЛІЙ Анатолій Григорович
кандидат військових наук, професор
ORCID: [0000-0002-3491-9301](https://orcid.org/0000-0002-3491-9301)

ГЕРАСИМЕНКО Володимир Вікторович
доктор військових наук
ORCID: [0000-0003-2014-7408](https://orcid.org/0000-0003-2014-7408)

ЗДІСЛАВ Сліва
габілітований доктор
ORCID: [0000-0002-5653-2941](https://orcid.org/0000-0002-5653-2941)

БАЗІЛО Сергій Михайлович
доктор філософії
ORCID: [0000-0002-1597-3724](https://orcid.org/0000-0002-1597-3724)

КОЛОМІЄЦЬ Юрій Миколайович
доктор філософії
ORCID: [0000-0002-9767-0750](https://orcid.org/0000-0002-9767-0750)

МАРТИНЮК Олексій Ростиславович
кандидат технічних наук, доцент
ORCID: [0000-0003-2578-0018](https://orcid.org/0000-0003-2578-0018)

МИРОНЮК Микола Юрійович
кандидат військових наук
ORCID: [0000-0002-7164-2700](https://orcid.org/0000-0002-7164-2700)

РЄЗНИК Дмитро Вікторович
кандидат військових наук, доцент
ORCID: [0000-0003-3980-923X](https://orcid.org/0000-0003-3980-923X)

Технічний редактор

МАЙСТРОВ Олексій Олексійович
кандидат технічних наук, доцент
ORCID: [0000-0002-9054-8293](https://orcid.org/0000-0002-9054-8293)

Відповідальний секретар

МИЛЬНИКОВ Геннадій Васильович
кандидат військових наук, доцент
ORCID: [0009-0000-9333-4349](https://orcid.org/0009-0000-9333-4349)

AIR POWER OF UKRAINE

№ 1 (6)
2024

Scientific and Practical Journal

Contents:

Founder and publisher National Defence University of Ukraine The journal was founded in 2021	THE UKRAINIAN AIR FORCES DEVELOPMENT, APPLICATION AND PROVISION ISSUES, IMPROVEMENT OF THEIR COMMAND AND CONTROL SYSTEM5 Strategy of Intelligent Control of the Flexible Structure of a Complex System of Autonomous Navigation in the Format of GPS-signals and Sensor Monitoring of the Combat Line of Combat with UAVs (<i>Y. Kravchenko, N. Dakhno</i>)..... 5 Priority Tasks of the Engineering Service of Aviation Regarding the Integration of the F-16 into the Air Force System of the Armed Forces of Ukraine (<i>I. Korovin, A. Kotsiuruba, O. Radko</i>) 14 Psychological Aspects of Training of Attack Aviation Pilots for Actions in Special Flight Cases (<i>S. Korop, K. Rudych</i>)..... 23 Assessment of the Effectiveness of Pilot Flight Training Based on Fuzzy Inference Algorithms (<i>Y. Sheviakov, M. Myroniuk, Y. Dziubenko, Y. Yaroshenko</i>) 28
Address National Defence University of Ukraine, Aviation and Air Defence Institute ave. Povitryanykh Syl, 28, Kyiv, 03049 Telephone: (044)-271-05-88, (050)-981-49-83 e-mail: iappo.ndl@gmail.com on-line version of journal: sap.nuou.org.ua	THE STATE AVIATION OF UKRAINE, ANTI-AIRCRAFT, RADIO TECHNICAL AND SPECIAL TROOPS, RADIO ENGINEERING SUPPORT AND COMMUNICATION MILITARY UNITS COMBAT USE ISSUES36 The Effectiveness Assessing Method of Communication System Technical Support, Radio-Technical Support, and Automation of Air Command Management in Defensive Operations of a Rapid Response Military Force (Troops) (<i>V. Medvediev, A. Dronyk, V. Prysiazhniuk</i>)..... 36 The Use of Optimality Criteria for Substantiation the Anti-Aircraft Missile Cover System Capabilities (<i>O. Hloba</i>)..... 43 Air Defence in the Russian-Ukrainian War: Lessons and Recommendations (<i>O. Tytarenko, Y. Vlasenko</i>)..... 49 Analysis and Classification of Routing Protocols in Mesh Networks (<i>Y. Khazhanets, O. Bilous</i>) 56
The journal is registered in the Ministry of Justice of Ukraine (certificate KB № 24979-14919P) the media identifier in the Register of Media Entities is R30-01154 ISSN 2786-7714 (print), ISSN 2786-7722 (online)	THE AIR ATTACK MEANS PROMISING DEVELOPMENT QUESTIONS63 Adaptation Air Force Aircraft of the Armed Forces of Ukraine for the Use of Foreign Weapons "Air-To-Surface" Class (<i>O. Kapliuk, Y. Honcharenko, O. Pechenko, S. Chernov</i>)..... 63 Expansion of Combat Capabilities for Mi-8 Helicopters When Flying at Night with Night Vision Goggles (<i>Y. Rashevskiy, N. Pantelieieva</i>) 73 Directions of Unmanned Aircraft Vehicles Development at the End of the XX - in the First Quarter of the XXI Century (<i>V. Rieznik, A. Remez, I. Seryakov</i>)..... 81
The journal is included in the list of specialized scientific publications of Ukraine, in which the results of dissertations for obtaining the scientific degrees of Doctor of Science, Candidate of Science and Doctor of Philosophy can be published (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 220 of 21.02.2024 "On approval of the decisions of the attestation board of the Ministry of Education and Sciences of Ukraine from February 21, 2024")	THE MANNED AND UNMANNED AVIATION COMMAND AND CONTROL AND APPLICATION PROCESSES RESEARCH87 Determination of the Probability of States of the Doppler Plane Velocity Meter and the Drift Angle of an Aircraft Using the Markov Random Process (<i>P. Yablonskyi, O. Maistrov, Y. Koskov, Y. Sarapin</i>) 87 The Effectiveness of Unmanned Aerial Systems Application in Modern Military Conflicts (<i>I. Voloshyn, O. Lutsevyyat, D. Vasilchenko</i>).....93 The Ways to Increase the Efficiency of the Application of Subdivisions of Strike UAVs (<i>M. Chyrak</i>)..... 99
Branches of science: technical, military. The thematic orientation of the scientific and practical journal corresponds to the following specialties: 122 Computer science; 253 Military administration (by types of armed forces); 255 Armament and military equipment; 263 Civil security.	THEORETICAL BASIS OF INTERACTION WHEN APPLYING MILITARY UNITS OF AIR FORCES, LAND FORCES, NAVY, AIRBORNE TROOPS AND OTHER MILITARY UNITS105 Express Evaluation of Options for Organizing the Interaction of Air Defense Means with Air Vessels (<i>B. Shkurat, D. Rieznik</i>)..... 105 THE UKRAINIAN AIR FORCES BRANCHES LOGISTIC SUPPORT DEVELOPMENT ISSUES112 Problem Issues of the Functioning of the Existing System of Maintenance of Radio-Electronic Equipment of the Radio-Technical Troops (<i>S. Popov, Y. Yufo, O. Yakobinchuk</i>) 112 UKRAINIAN AIR FORCES FORCES AND MEANS OF BRANCHES OF TROOPS AND SPECIAL TROOPS APPLICATION AND ENSURANCE OF SURVIVABILITY SAFETY117 Analysis of Methods of Counteracting Modern Radar Homing Pods of Guided Air-to-Air Weapons of the Enemy (<i>V. Dyachenko, S. Korotin</i>)..... 117
The journal is published in Ukrainian and English twice a year	THE ISSUES OF PREVENTION OF EMERGENTIES OF A TERRORIST AND TECHNOGENIC NATURE RELATED TO THE ACTIVITIES OF MILITARY UNITS OF THE AIR FORCES OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE124 Experimental Method of Detection and Identification of Land Mines by Unmanned Aerial Vehicles (<i>O. Bas, O. Zemlianskiy, O. Myroshnyk, O. Avramenko</i>)..... 124
Recommended for publication by the Scientific Council of the National Defence University of Ukraine (protocol № 6 from May, 21, 2024)	INNOVATIVE PROCESSES IN THE FIELDS OF AVIATION, AUTOMOTIVE, RADIO ELECTRONICS, RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND CONTROL SYSTEMS, AS WELL AS INFORMATION TECHNOLOGIES ... 131 Ensuring Reliability and Security in Modern Wireless Sensor Networks Based on the Implementation of the RSSI Metric (<i>P. Openko, N. Dovzhenko, P. Orikhovskiy, D. Ikaiev</i>) 131 Application of Bernstein Polynomials in the Approximation of Solutions of Boundary-Border Problems in Models of the Dynamics of Aircraft Trajectory Parameters Under the Influence of External Factors (<i>V. Tiurin, O. Barabash, Y. Horobets, B. Biliavskiy</i>)..... 137 The Clustering and Classification of Strike Unmanned Aerial Vehicles Based on Neural Networks (<i>Y. Husak, O. Vasylenko</i>)..... 141 Paper template..... 153
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	

Editorial Board

Chief Editor

Yurii KRAVCHENKO

Doctor of Technical Sciences, professor

ORCID: [0000-0002-0281-4396](https://orcid.org/0000-0002-0281-4396)

Deputy Editor

Serhii KOROTIN

Candidate of Technical Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0003-2123-6103](https://orcid.org/0000-0003-2123-6103)

Editorial Board Members:

Oleksandr AVRAMENKO

Doctor of Technical Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0003-1358-1185](https://orcid.org/0000-0003-1358-1185)

Yevhen HAVRYLKO

Doctor of Technical Sciences, professor

ORCID: [0000-0001-9437-3964](https://orcid.org/0000-0001-9437-3964)

Oleh ZEMLIANSKYI

Doctor of Technical Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0002-2728-6972](https://orcid.org/0000-0002-2728-6972)

Tymur KURTSEITOV

Doctor of Technical Sciences, professor

ORCID: [0000-0001-6478-6469](https://orcid.org/0000-0001-6478-6469)

Valentyna LOBOICHENKO

Doctor of Technical Sciences

ORCID: [0000-0001-5188-6479](https://orcid.org/0000-0001-5188-6479)

Andriy MISHCHENKO

Doctor of Technical Sciences, professor

ORCID: [0000-0001-8376-1777](https://orcid.org/0000-0001-8376-1777)

Rustam MURASOV

Candidate of Technical Sciences, professor

ORCID: [0000-0003-0800-2062](https://orcid.org/0000-0003-0800-2062)

Pavlo OPENKO

Candidate of Technical Sciences, senior researcher

ORCID: [0000-0001-7777-5101](https://orcid.org/0000-0001-7777-5101)

Maksym TYSHCHENKO

Candidate of Technical Sciences, senior researcher

ORCID: [0000-0003-1266-4106](https://orcid.org/0000-0003-1266-4106)

Anatolii SALII

Candidate of Military Sciences, professor

ORCID: [0000-0002-3491-9301](https://orcid.org/0000-0002-3491-9301)

Volodymyr HERASIMENKO

Doctor of Military Sciences

ORCID: [0000-0003-2014-7408](https://orcid.org/0000-0003-2014-7408)

Zdzisław SLIWA

Doctor of science (Hab.)

ORCID: [0000-0002-5653-2941](https://orcid.org/0000-0002-5653-2941)

Serhii BAZILO

PhD in Military Science

ORCID: [0000-0002-1597-3724](https://orcid.org/0000-0002-1597-3724)

Yurii KOLOMIETS

PhD in Technical Science

ORCID: [0000-0002-9767-0750](https://orcid.org/0000-0002-9767-0750)

Oleksii MARTYNIUK

Candidate of Technical Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0003-2578-0018](https://orcid.org/0000-0003-2578-0018)

Mykola MIRONYUK

candidate of military sciences

ORCID: [0000-0002-7164-2700](https://orcid.org/0000-0002-7164-2700)

Dmytro RIEZNIK

Candidate of Military Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0003-3980-923X](https://orcid.org/0000-0003-3980-923X)

Technical Editor

Oleksiy MAYSTROV

Candidate of Technical Sciences, associate professor

ORCID: [0000-0002-9054-8293](https://orcid.org/0000-0002-9054-8293)

Responsible Secretary

Hennadii MYLNYKOV

Candidate of Military Sciences, associate professor

ORCID: [0009-0000-9333-4349](https://orcid.org/0009-0000-9333-4349)

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

[DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-5-13](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-1-6-5-13)

[УДК 623.746](#)

Кравченко Юрій Васильович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-0281-4396>

Дахно Наталія Борисівна (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-3892-4543>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

СТРАТЕГІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ГНУЧКОЮ СТРУКТУРОЮ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ У ФОРМАТІ GPS-СИГНАЛІВ ТА СЕНСОРНОГО МОНІТОРИНГУ ЛІНІЇ БОЙОВОГО ЗІТКНЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

Стаття присвячена стратегії інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням безпілотних літальних апаратів. Сенсорна система моніторингу місцевості та автономної навігації у форматі GPS-сигналів з використанням безпілотних літальних апаратів характеризується тим, що в системі одночасно в реальному часі вирішуються завдання забезпечення споживачів навігаційною інформацією у форматі GPS-сигналів, сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення, визначення оптимального місця розміщення стаціонарних та мобільних сенсорів моніторингу місцевості, стаціонарних та мобільних псевдолітів автономної радіонавігаційної системи, а також доставки сенсорів та псевдолітів на місто призначення за допомогою безпілотних літальних апаратів.

Інтелектуальне керування сенсорною системою моніторингу місцевості та автономної навігації у форматі GPS-сигналів з використанням безпілотних літальних апаратів дозволяє формувати гнучку структуру сенсорів та псевдолітів, які перемикаються з пасивного вимкненого стану у активний увімкнений режим у залежності від стану зовнішнього середовища з метою зменшення можливого негативного впливу зовнішніх факторів, наприклад, противника. Пропонується стратегія інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи, яка забезпечує ефективне рішення завдань навігації та моніторингу і умовах невизначеності та наявності дестабілізуючих факторів.

Ключові слова: стратегія, інтелектуальне керування, гнучка структура, системи навігації, моніторинг, GPS, сенсорна мережа, безпілотний літальний апарат.

Вступ

Дослідження в галузі інформаційних технологій мають важливе значення для національної безпеки та обороноздатності країни, а саме, рішення завдань навігації та моніторингу лінії бойового зіткнення. Варто підкреслити те, що в сучасних умовах ведення бойових дій особливу роль для військових споживачів має якісне рішення задач навігації та моніторингу лінії бойового зіткнення. Сенсорна система моніторингу місцевості та автономної навігації у форматі GPS-сигналів з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) характеризується тим, що в системі в реальному часі одночасно вирішується завдання моніторингу місцевості, забезпечення споживачів навігаційною інформацією, визначення оптимального місця

розміщення стаціонарних та мобільних сенсорів моніторингу місцевості, стаціонарних та мобільних псевдолітів автономної радіонавігаційної системи, а також доставки сенсорів та псевдолітів на місто призначення за допомогою БПЛА. Інтелектуальне керування дозволяє формувати гнучку структуру сенсорів та псевдолітів, які перемикаються з пасивного вимкненого стану у активний увімкнений режим у залежності від стану зовнішнього середовища з метою зменшення можливого негативного впливу противника. Існуючі принципи, моделі та методи теорії штучного інтелекту створюють підґрунтя для їх подальшого удосконалення з метою подальшого використання для керування гнучкою структурою комплексної системи навігації та моніторингу. Отже, актуальним є завдання

розробки стратегії інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи, яка забезпечує ефективне рішення завдань навігації та моніторингу і умовах невизначеності та наявності дестабілюючих факторів.

Метою статті є розробка стратегії інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням БпЛА.

Матеріали та методи

Мережева система автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення – це розподілена інформаційна система, яка призначена для забезпечення військових споживачів навігаційною та розвідувальною інформацією в районі лінії бойового зіткнення у реальному часі. Авторами статті пропонується технологічно забезпечити комплексне функціонування псевдосупутникової радіонавігаційної системи (ПСРНС) [1, 2] та мережевої сенсорної системи розвідки [3-5, 7]. Пропонується використання БпЛА не тільки в якості ударно-розвідувального засобу, а й як носія радіонавігаційних точок – псевдолітів та сенсорів. Особливістю функціонування системи є протидія противника. Стратегія мінімізації впливу противника на систему реалізується шляхом забезпечення її властивості функціональної стійкості. Принциповою парадигмою функціональної стійкості є перерозподіл ресурсів системи для парирования наслідків дії противника на елементи системи [3-5, 8, 9]. Розв'язання таких задач на основі теорії штучного інтелекту дозволяє вирішити проблему в цілому і забезпечити ефективне функціонування системи в позаштатних ситуаціях.

Запропонована система складається з:

- 1 – мобільних сенсорів, які розміщені на БпЛА;
- 2 – псевдолітів, які розміщені на БпЛА;
- 3 – серверу наземного центру керування;
- 4 – псевдолітів наземного розташування;
- 5 – сенсорів наземного розташування;
- 6 – приймачів навігаційної інформації та результатів моніторингу (рис. 1).

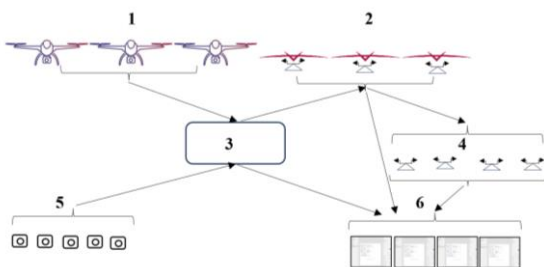


Рисунок 1. Структура комплексної системи

Принцип роботи даної системи полягає в наступному: для моніторингу місцевості використовуються сенсори на БпЛА та сенсори наземного стаціонарного розташування; інформація від сенсорів передається по бездротову каналу,

наприклад, на базі радіочастотного модулю; також дані передаються безпосередньо за допомогою SMS повідомлення, використовуючи GPRS інтерфейс та надсилаються в захищену мережу або в Інтернет до серверу наземного центру обробки та керування, який дану інформацію обробляє та результат моніторингу передає приймачам GPS-сигналів та результатів моніторингу; сервер наземного центру обробки та керування крім обробки інформації від сенсорів визначає їх оптимальне місце розташування та формує відповідну траєкторію руху БпЛА для переміщення сенсорів, також визначає надмірну структуру сенсорів з метою зменшення впливу ймовірних втрат на ефективність системи в цілому. Відстань між сенсорами та їх взаєморозташування визначається по принципу перекриття зони дії сенсорів всієї місцевості моніторингу. Псевдоліти, як радіонавігаційні точки, що працюють у форматі GPS-сигналів розміщуються на БпЛА та на землі. Пропонується використовувати наземні орієнтири з відомими координатами. Коптер (БпЛА) при “зависанні” над таким орієнтиром надає можливість псевдоліту повітряного базування передавати саме ті координати як свої, а тим самим забезпечує задану точність рішення задачі навігації GPS-приймачами.

Сервер наземного центру обробки та керування визначає координати оптимального місця розташування псевдолітів та траєкторії руху БпЛА, також він визначає надмірну структуру псевдолітів, алгоритм їх включення з пасивного у активний режим. Координати місця розташування псевдолітів визначаються як результат рішення задачі багатокритеріальної оптимізації: максимальна точність навігації при забезпеченні мінімального впливу зовнішніх факторів (завади та ін.) та мінімальної вартості.

Підвищення ефективності сенсорної системи моніторингу місцевості та автономної навігації у форматі GPS-сигналів з використанням БпЛА досягається за рахунок реалізації гнучкої плаваючої (змінної у реальному часі) структури сенсорів та псевдолітів, які перемикаються з пасивного вимкненого стану в активний увімкнений режим у залежності від стану зовнішнього середовища з метою зменшення можливого негативного впливу зовнішніх факторів, наприклад, противника. Керування процесом перемикавання сенсорів та псевдолітів з пасивного вимкненого стану в активний увімкнений режим реалізується на базі бездротового каналу.

Ефективне керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення доцільно реалізувати на основі моделей та методів штучного інтелекту. Наукові публікації за темою псевдосупутникової навігації, бездротових сенсорних мереж та штучного інтелекту [1-21] є теоретичною основою стратегії яка пропонується.

Існує ряд моделей, методів та методик вирішення завдань автономної навігації у форматі

GPS-сигналів та моніторингу навколишнього середовища на основі бездротової сенсорної мережі в умовах впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, що базуються на загальній теорії управління, радіонавігації, комп'ютерних мереж, теорії розпізнавання образів, мережевому плануванні та багатокритеріальній оптимізації [18-20]. Дані методи досить успішно справляються з задачею пошуку оптимальних або квазіоптимальних рішень для детермінованих і стохастичних задач. За останні роки з'явилися прогресивні публікації стосовно досліджень, які базуються на теорії експертних оцінок та нечіткої логіки [1-6]. На думку фахівців саме ці підходи актуальні в умовах повної або часткової відсутності статистичних даних та максимально використовують інтелектуальний досвід. З іншого боку, є ряд наукових робіт в галузі воєнних та технічних наук стосовно моніторингу та навігації, що функціонують в умовах дестабілізуючих впливів [7-8]. Хоча авторами і були створені нові моделі, методи та методики управління складними системами, проте можливість впровадження моделей штучного інтелекту для системи моніторингу та навігації в умовах впливу дестабілізуючих факторів, забезпечення її функціональної стійкості взагалі не реалізована. Також актуальною та новою є ідея використання в функціонально стійкій мережевій системі навігації та моніторингу лінії бойового зіткнення інформації щодо достовірності елементів бази знань при формуванні алгоритмів управління.

Попередні результати авторів статті в наступному: запропоновано необхідну та достатню умову функціональної стійкості (ФС) псевдосупутникових радіонавігаційних систем; проблема синтезу структури псевдосупутникової системи вирішена на основі моделей та методів, які базуються на теорії матроїдів, градієнтних алгоритмах і розробленому методі збільшення рангу k -однорідного матроїда; концепція синтезу структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи відрізняється від існуючих підходів побудови багатопозиційних систем забезпеченням властивості функціональної стійкості шляхом застосування структурної надмірності і формуванням відновлюючого керування з метою відбивання наслідків бойових ушкоджень; понятійний апарат функціональної стійкості псевдосупутникової радіонавігаційної системи відрізняється від існуючих аналогів тим, що він може бути застосований для будь-яких багатопозиційних радіонавігаційних систем, що дозволяє математично формалізувати цільову функцію й обмеження в задачі оптимізації структури, а також кількісно і якісно оцінювати властивість функціональної стійкості структур псевдосупутникових систем [1, 2]. Модель визначення значення показника функціональної стійкості структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи характеризується тим, що вона комплексно враховує як точність рішення

задачі навігації споживачами, так і структурну надмірність псевдосупутникової системи, а також можливість керування структурною надмірністю системи в умовах бойових та інших ушкоджень псевдосупутників. Отримані результати потребують розвитку в напрямку використання штучного інтелекту для комплексного вирішення завдань навігації та моніторингу лінії бойового зіткнення в умовах впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Результати

Стратегія інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням БпЛА, як загальний підхід керування складною системою базуються на ідеї використання продукційних моделей виведення для забезпечення системі властивості функціональної стійкості. Деталізація стратегії виконується у відповідних моделях і методах інтелектуального керування, а її реалізація сприяє вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми забезпечення комплексної системи автономної навігації та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення на рівні її структурної моделі властивості функціональної стійкості. Варто підкреслити те, що це і є керівною ідеєю для вирішення проблеми.

У вербальному вигляді задача пошуку керування гнучкою структурою комплексної системи приймає наступний опис: визначати у реальному часі в залежності від зміни зовнішніх та внутрішніх факторів (конкретної місцевості з її рельєфом та іншими особливостями; надійності, відмовостійкості, живучості, завадозахищеності комплектуючих підсистем та протидії противника) структуру системи, яка забезпечує максимальну точність рішення задачі навігації, максимальну достовірність інформації моніторингу при мінімальній вартості. Структура системи є моделлю, яка описує складові підсистеми та зв'язки між ними. Керування реалізує гнучкі зміни структури шляхом переміщення радіонавігаційних точок (РНТ), сенсорів та інших елементів за допомогою БпЛА повітряного та наземного базування для чого визначаються координати місця розташування псевдолітів та траєкторії руху БпЛА, також визначається надмірний склад псевдолітів, алгоритм їх включення з пасивного у активний режим. Координати місця розташування псевдолітів визначаються як результат рішення задачі багатокритеріальної оптимізації: максимальна точність навігації при забезпеченні мінімального впливу зовнішніх факторів та мінімальної вартості. Алгоритми керування враховують моделі обробки інформації від сенсорів та визначають оптимальні місця їх розташування, також формують відповідну траєкторію руху БпЛА для переміщення сенсорів, додатково визначають надмірний склад сенсорів з метою зменшення впливу ймовірних втрат на ефективність системи в цілому.

Математична формалізація задачі керування

структурою комплексної системи має вигляд

$$U: \begin{cases} \delta(X(U)) \rightarrow \min \\ d(X(U)) \rightarrow \max; \\ c(X(U)) \rightarrow \min \\ t \leq t_3 \end{cases} \quad (1)$$

де U – модель керування структурою;
 $\delta(X(U))$ – середня похибка рішення задачі навігації;
 $d(X(U))$ – достовірність моніторингу;
 $c(X(U))$ – вартість системи;
 $X(U)$ – модель структури системи;
 $t \leq t_3$ – обмеження на оперативність.

Модель структури у вигляді навантаженої матриці суміжності орграфу (рис.2)

$$X = \begin{pmatrix} a_{11}(t) & \dots & a_{1n}(t) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}(t) & \dots & a_{mn}(t) \end{pmatrix}; \quad n, m \in N \quad (2)$$

Елементи матриці $a_{mn}(t)$ у реальному часі описують склад системи (РНТ, сенсори та канали передачі інформації).

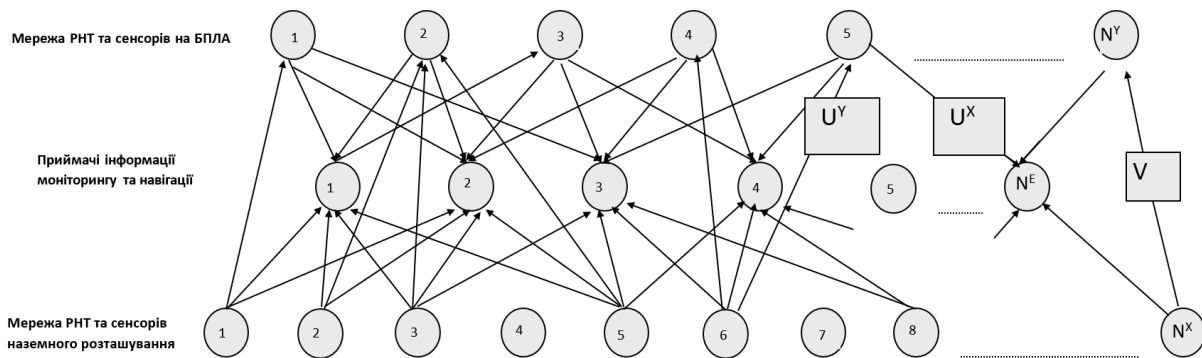


Рисунок 2. Граф структури системи

Стратегія інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням БПЛА схематично представлена на

рис. 3 та поєднує моделі та методи на основі оригінальних підходів виведення: так званої FS-системи, категорійних моделей виведення, нечітких N-арних семантичних мереж та градієнтних методів дискретної оптимізації.



Рисунок 3. Схема стратегії інтелектуального керування гнучкою структурою комплексної системи навігації та моніторингу

Загальна теорія функціональної стійкості (ФС) описана в роботах [3-5, 9].

Представимо *керівну ідею (концепцію)* стратегії керування структурою комплексної системи як необхідність надання системі властивості функціональної стійкості. Принципом забезпечення якої є реалізація послідовності етапів моделі забезпечення функціональної стійкості будь-якої складної технічної системи: виявлення

→ розпізнавання → парировання.
Виявлення. Цей етап трактується, як виявлення позаштатної ситуації. Формально представляємо його тирадою

$$\langle S, M, Md \rangle, \quad (3)$$

де S – множина позаштатних ситуацій;
 M – множина моделей;

Md – множина методів.

Це означає, що будь-яка позаштатна ситуація буде вчасно виявлена на основі адекватних моделей та методів.

Розпізнавання. Процес розпізнавання позаштатних ситуацій трактується як формування альтернатив деталізації ситуації

$$\forall m_i \in M, md_j \in Md, \quad (4)$$

$$(i = 1 \dots n, j = 1 \dots m, n = |M|, m = |Md|).$$

Парирування. Для динамічних систем існуюча теорія функціональної стійкості наступним етапом виділяє етап парирування. Етап парирування наслідків позаштатних ситуацій полягає у формуванні та впливу на систему так званого відновлюючого керування. Під відновлюючим керуванням розуміється таке, що парирує наслідки відмов, збоїв, руйнувань, а також впливів інших зовнішніх дестабілізуючих чинників, передбачених умовами, з метою збереження, хоч і з деяким погіршенням, основних функцій системи [1]. Його математична формалізація має вигляд (1). Ознаки, показники, критерії, межа, область ФС для різних систем описано у роботах [3-5, 9].

Стосовно теоретичних основ стратегії, як сукупності моделей та методів рішення часткових задач, варто звернути увагу на наступне. Принцип пошуку керування пояснимо таким чином. Для комплексної системи існує мінімальний склад структури, при якому система виконує свої функції, наприклад, для вирішення навігаційної задачі приймач повинен мати у зоні прямої видимості мінімум 4 РНТ, для моніторингу також існує відповідний аналог. Цей мінімальний склад структури опишемо базою матроїда – мінімальною за потужністю незалежною підмножиною деякої множини. Матроїд – це математична структура, яка узагальнює поняття незалежності елементів,

подібно до незалежності векторів у лінійному просторі. Він класифікує підмножини деякої множини на основі аксіом, що визначають незалежні та залежні множини. У нашому випадку це множина припустимих рішень.

В [1] апробовано комбінаторний підхід у дискретній оптимізації для побудови структури ПСРНС. Цей підхід доцільно використовувати для керування гнучкою структурою комплексної системи та розглядати його як сукупність методу часткових порядків, концепції опуклості в частково упорядкованих множинах і схеми побудови жадібних алгоритмів.

Суть методу часткових порядків полягає в тому, що з елементів множини припустимих рішень X задачі дискретної оптимізації формується така частково впорядкована множина (X, \prec) , для якої цільові функції і їхні градієнти монотонні уздовж ланцюгів, які сформовані частковим порядком \prec . У методі часткових порядків інформація про клас цільових функцій задається у вигляді часткового порядку на множині X . Множина ефективних рішень включає найкращі рішення кожного ланцюга, та в порівнянні з повним перебором не потребує використання трудомісткого алгоритму розрахунку значення показника ФС. Далі на цій множині жадібний алгоритм знаходить оптимальне рішення (цей факт доведено теоремою Радо-Едмондса). Схема комбінаторного підходу при рішенні задачі керування структурою системи представлена на рис. 4.

Отже, метод часткових порядків дозволяє одержати оптимальне рішення задачі дискретної оптимізації без трудомісткого обчислення цільової функції по відомій апріорній інформації про клас цільової функції через відношення часткового порядку.

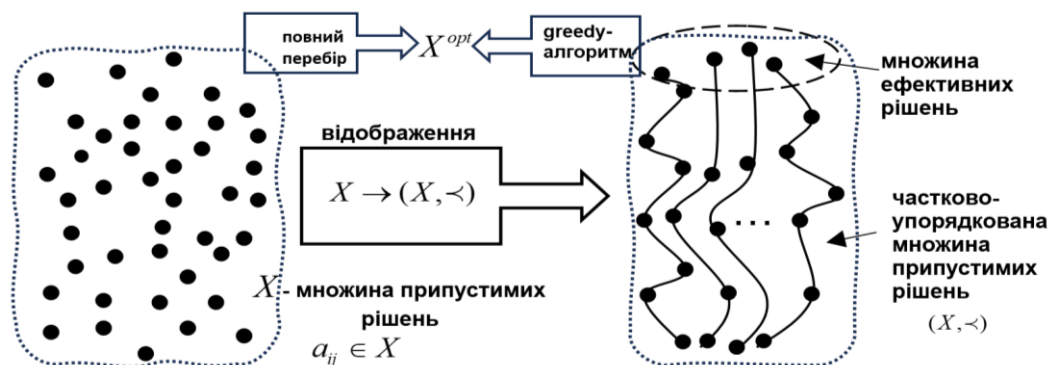


Рисунок 4. Схема комбінаторного підходу

Розглянемо застосування методу послідовного збільшення рангу k -однорідного матроїда в задачі керування структурою комплексної системи навігації та моніторингу. Пошук рішення здійснюється за принципом послідовного збільшення кількості надлишкових елементів і зв'язків структури для забезпечення максимальних функціональних можливостей при мінімальному використанні ресурсу (рис. 5) [1]. На всіх етапах

занурення множини припустимих рішень в частково-впорядковану множину здійснюється на основі відношення мажоризації. Спочатку формується k -однорідний матроїд, як модель структури системи з елементів і зв'язків, множина баз, яких є множиною всіх можливих структур з максимальної кількості елементів і зв'язків.

$$M = (E, \varepsilon); X \subseteq \varepsilon; \rho(X) = |X| \quad (5)$$

де M – матроїд структури системи;
 E – множина елементів матроїда;
 ε – множина баз;
 ρ – ранг.

Далі застосування жадібного алгоритму дозволяє знайти найкраще рішення, для якого розраховується значення показника функціональної стійкості $P(X)$

$$X_1^{opt} = \arg \max P(X_1) \forall X_1 \in X \quad (6)$$

де X_1^{opt} – оптимальне рішення для X_1 ;
 X – множина припустимих рішень;
 $P(X_1)$ – показник функціональної стійкості;
 X_1 – множина рішень.

На наступному етапі у випадку не відповідності показника ФС вимогам відбувається збільшення потужності бази (рангу матроїда) на одиницю та попередня процедура повторюється із застосуванням градієнтного алгоритму та розрахунком значення показника функціональної стійкості. Далі виконується по показнику функціональної стійкості порівняння знайденого рішення із заданим рівнем функціональної стійкості. Для рішення, що задовольняє по показнику ефективності, послідовно перевіряються варіанти, включені за допомогою відношення часткового порядку в даний варіант з метою пошуку рішення з мінімальним складом структури системи і заданим рівнем функціональної стійкості. Процедура поетапного збільшення потужності бази матроїда буде тривати

доти, поки рішення не вийде за межі обмежень. У цьому випадку оптимальним буде рішення, отримане на попередньому етапі.

$$X_N^{opt} = \arg \max P(X_N) \forall X_N \in X \quad (6)$$

де X_N^{opt} – оптимальне рішення.

Даний метод є точним методом дискретної оптимізації, а саме, методом спрямованого перебору.

Моделі продукційного виведення на алгебраїчній структурі опубліковані в роботі [8] та отримали назву FS-система моделей виведення. FS-система (Functional stability) – алгебраїчна система в якій поряд із операціями над будь-якою парою її елементів задане правило їх логічного, так званого, “порівняння” або виведення. Саме FS-система є концепцією математичного забезпечення для формування такої властивості, як функціональна стійкість. В будь-якій нештатній ситуації, пов’язаній з негативними зовнішніми та внутрішніми факторами властивість функціональної стійкості дозволяє складній системі продовжувати знаходитися в працездатному стані за рахунок використання надмірності.

Відомо, що алгебраїчна система $\langle F_F, \Omega_F, \Omega_R \rangle$ – це непорожня множина $F_F \in \emptyset$ з заданим на ній набором операцій Ω_F та відношень Ω_R , що задовольняють деякій системі аксіом.

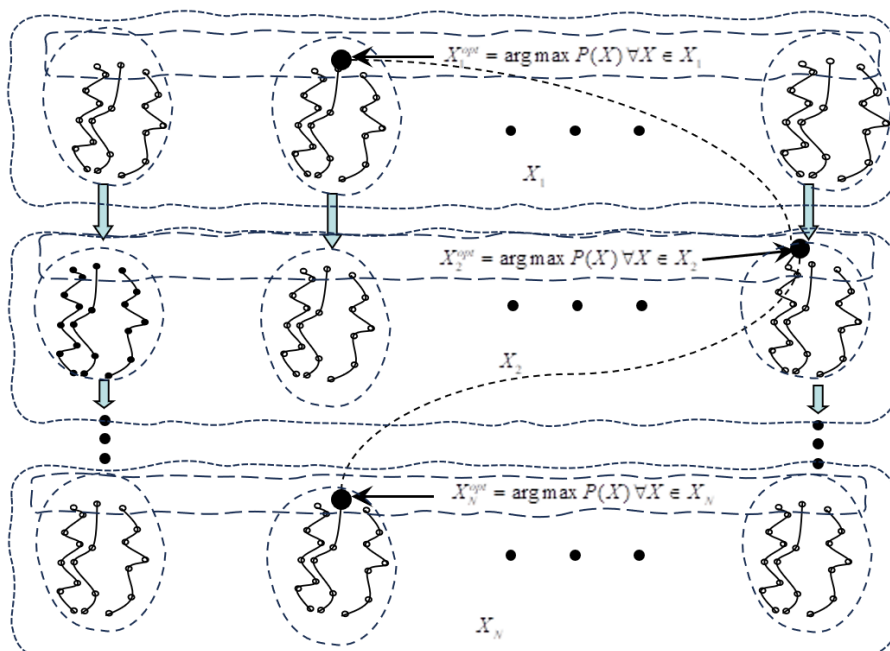


Рисунок 5. Схема методу послідовного збільшення рангу k -однорідного матроїда

Загальна ідея при формуванні моделей виведення полягає в наданні сигнатурі алгебраїчної системи (" Ω " " $_F$ " " $_R$ ") продукційних властивостей схеми виведення “якщо ... то”.

FS-система це система алгебри, в якій разом з

операціями над будь-якою парою її елементів (\wedge (“перетин”) та \vee (“об’єднання”)) додатково задано бінарне відношення з продукційними властивостями. Відношення називається продукційно-логічним, якщо воно має рефлексивність, транзитивність і інші властивості,

які визначаються конкретною моделлю. Одна з таких властивостей є дистрибутивність. Неформально дистрибутивність відношення означає можливість логічного виведення по частинах і об'єднання його результатів на основі операцій \wedge та \vee . Нехай в FS-системі задано деяке бінарне відношення $[[R \in \Omega]] _R$.

Сукупність усіх атомів FS-системи, пар відношення R , що містяться в елементах, називатимемо множиною атомів, якими оперує відношення R . Бінарне відношення R в FS-системі називається продукційно-логічним, якщо воно є дистрибутивне і транзитивне.

Отже, в FS-системі на ряду з операціями над будь-якою парою її елементів задане правило їх логічного "порівняння" або виведення. Математична формалізація цього правила дозволяє розробити алгоритми інтелектуалізованого керування структурою з метою реагування на позаштатні ситуації за рахунок перерозподілу надмірності.

Обговорення

В роботі [21] запропоноване N-арну неоднорідну семантичну мережу, яка поєднує переваги семантичних мереж, предикатів та нечіткої логіки. Застосування нечітких предикатів у векторно-матричному представленні дозволяє ввести логічні операції без довільних допущень. Логічні операції над нечіткими змінними описуються тими ж самими тензорами, що і в алгебраїчній логіці.

У результаті отримана гнучка й обґрунтована система розрахунків. Зручність векторного представлення полягає в тому, що операції над логічними змінними можуть бути представлені в матричному виді. Запропонований підхід на основі використання елементарних семантичних мереж 1-го та 2-го роду дозволить вирішити проблему математичної формалізації N-арної неоднорідної семантичної мережі.

Подальше удосконалення даної моделі пропонується у вигляді процедури синергетично-категорійного розширення рангу матриці суміжності N-арної неоднорідної семантичної мережі.

Висновки

За результатами дослідження на основі комп'ютерного моделювання відображено схему похибки навігаційного поля рис. 6.

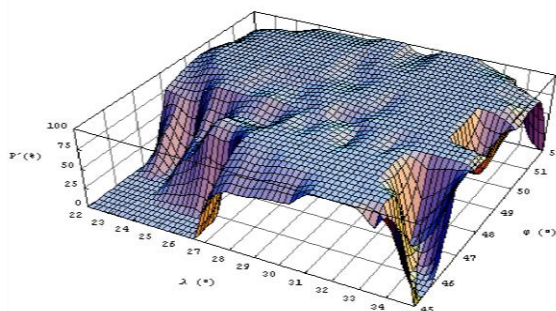


Рисунок 6. Схема похибки навігаційного поля

При реалізації алгоритмів інтелектуального

керування гнучкою структурою комплексної системи автономної навігації у форматі GPS-сигналів та сенсорного моніторингу лінії бойового зіткнення з використанням БПЛА визначено, що дана система дозволяє забезпечити похибку рішення задачі навігації приймачами GPS-сигналів від 5 до 25 м, достовірність інформації моніторингу до 0,9 на території до 150 км².

Список використаних джерел

1. Кравченко Ю.В. Застосування методу послідовного збільшення рангу k-однорідного матрицею в задачі синтезу структури псевдосупутникової радіонавігаційної системи. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2008. № 2(2). С. 19-22.
2. Лаврінчук О.В., Залужний Р.М., Кравченко Ю.В. Концепція синтезу локальної багатопозиційної радіонавігаційної системи. Системи озброєння і військова техніка. 2009. № 2(18). С. 75-78.
3. Собчук А. В. Математична модель та характеристика особливостей функціонально стійких бездротових сенсорних мереж, як мереж окремого класу. Збірник наукових праць "Новітні технології". 2018. №2. С. 130-137.
4. Коваль М. О., Собчук А. В., Кравченко Ю. В., Барабаш О. В. Математична модель функціонально стійкої безпроводної сенсорної мережі. Системи управління, навігації та зв'язку. 2017. Вип. 6. С. 122-126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2017_6_29.
5. Sobchuk A. V., Sobchuk V. V., Barabash A. O., Liashenko I. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. 2019. pp. 46-48. <http://dx.doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-11>.
6. Leshchenko O., Dakhno N., Pliushch O., Trush O., Yermakov Y. Development of Model of Artificial Ecosystem on the Basis of Genetic Algorithm. IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2022 - Proceedings, 2022, pp. 199-203.
7. Dudnik A., Trush O., Kravchenko Y., Leshchenko O., Dakhno N. and Ryabokin Y. Routing Method in Wireless IoT Sensor Networks. IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/SAIC57818.2022.9922998.
8. Afanasyeva O., Tyshchenko M., Mykus S. Intellectualisation of Decision Support Systems For Computer Networks: Production-Logical F-Inference. International conference Information Technology and Interactions, IT&I-2020, CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2845, pp.117-126. https://ceur-ws.org/Vol-2845/Paper_12.pdf
9. Mykus S. A., Leschenko O. A. Functional stability of information and telecommunication systems. East European Scientific Journal. 2016. №2(6). pp.47-52.
10. Leshchenko, O., Yaroshchuk, N., Krasnopyorov, P. Information Modelling through GIS for Visualizing Air Alarms. CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2022, 3347, pp. 279-289.
11. J. Wang. Pseudolite Applications in Positioning and Navigation: Progress and Problems. Journal of Global Positioning Systems. 2002. Vol. 1, No. 1. pp. 48-56.
12. S. Liu, L. Wang, and Z. Yao. Research on layout method of ground-based pseudolite positioning system based on NSGA-II algorithm. Application Research of Computers, 2020. vol. 37, pp. 1839-1843.
13. Li Yang, Kaiyuan Yang, and Danshi Sun. Research

on the Station Layout Method of Ground-Based Pseudolite Positioning System Based on NSGA-II Algorithm. *Wireless Communications and Mobile Computing*. Volume 2021, Article ID 1520859, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/1520859>

14. X. Xue and L. Wang. Pseudolite base station selection method based on weighted level precision factor. *Geodesy and Geodynamics*. 2019.vol. 39, pp. 1070–1075.

15. L. Zeng, D. Li, Y. Qu, A. Ren, and Y. Feng. Route planning algorithm for space-based pseudolite network deployment. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*. 2016.vol. 42, pp. 1388–1397.

16. Heng Zhang, Baoguo Yu, Shuguo Pan, Chuanzhen Sheng, Huang Lu, and Yaning Li. A Pseudolite Indoor Wide-Area Networking Technology Based on Signal Multilevel Features. *Wireless Communications and Mobile Computing* Volume 2022, Article ID 2190025, 12 pages, <https://doi.org/10.1155/2022/2190025>

17. K. Fujii, Y. Sakamoto, W. Wang, H. Arie, A. Schmitz, and S. Sugano. Hyperbolic positioning with antenna arrays and multi-channel pseudolite for indoor localization. // *Sensors*, 2015. vol. 15, no. 10, pp. 25157–

25175.

18. Чумаченко С.М., Яковлев Є.О., Пиріков О.В., Парталян А.С. Особливості реалізації мережі екологічного моніторингу бойових дій для Збройних Сил України. *Екологічна безпека та природокористування*, 2022, № 2 (42), С. 23-34.

19. Chumachenko S., Lunova O., Murasov R. Kurtseitov T., Honcharenko I. A Method for Assessing Threats for Critical Infrastructure Objects on the Example of an Enemy's Attack on the Sludge Storage Facilities of the Avdiivka Coke Chemical Plant. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2024. vol. 32, №4. <https://doi.org/10.15421/112360>

20. Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Architecture and Reliability Models of Hybrid Sensor Networks for Environmental and Emergency Monitoring Systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2024. 60(2), pp. 293–304.

21. Поліщук А.О., Кравченко Ю.В. Математична модель представлення знань у системі екологічного моніторингу. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2015. №1. С. 11–15.

Yurii Kravchenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-0281-4396>

Nataliya Dakhno (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-3892-4543>

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

STRATEGY OF INTELLIGENT CONTROL OF THE FLEXIBLE STRUCTURE OF A COMPLEX SYSTEM OF AUTONOMOUS NAVIGATION IN THE FORMAT OF GPS-SIGNALS AND SENSOR MONITORING OF THE COMBAT LINE OF COMBAT WITH UAVS

The article is devoted to the strategy of intelligent control of the flexible structure of the complex system of autonomous navigation in the format of GPS signals and sensor monitoring of the combat line of contact using UAVs. The sensor system of terrain monitoring and autonomous navigation in the format of GPS signals using UAVs is characterized by the fact that the system simultaneously solves the tasks of providing consumers with navigation information in the format of GPS signals, sensor monitoring of the battle line, determining the optimal city for the placement of stationary and mobile terrain monitoring sensors, stationary and mobile pseudolites of the autonomous radio navigation system, as well as delivery of sensors and pseudolites to the destination city using UAVs.

Intelligent control of the sensor system of terrain monitoring and autonomous navigation in the format of GPS signals using UAVs allows forming a flexible structure of sensors and pseudolites that switch from a passive off state to an active on mode depending on the state of the external environment in order to reduce the possible negative impact of external factors. for example, the enemy. A strategy of intelligent control of the flexible structure of the complex system is proposed, which provides an effective solution to the tasks of navigation and monitoring and conditions of uncertainty and the presence of destabilizing factors.

Keywords: *strategy, intelligent control, flexible structure, navigation systems, monitoring, GPS, sensor network, UAV.*

References

1. Kravchenko Yu.V. Application of the method of sequential increase in the rank of the k-homogeneous matroid in the problem of synthesizing the structure of a pseudo-satellite radio navigation system. *Modern information technologies in the field of security and defense*. 2008. No. 2(2). pp. 19–22.

2. O. V. Lavrinchuk, R. M. Zaluzhnyi and Yu. V. Kravchenko. The concept of the synthesis of a local multi-position radio navigation system. *Weapon systems and military equipment*. 2009. No. 2(18). pp. 75–78.

3. Sobchuk A.V. Mathematical model and characteristics of functionally stable wireless sensor

networks as networks of a separate class. *Collection of scientific works "New technologies"*. 2018. No. 2. pp. 130–137.

4. Koval M.O., Sobchuk A.V., Kravchenko Yu.V., Barabash O.V. Mathematical model of a functionally stable wireless sensor network. *Management, navigation and communication systems*. 2017. Issue 6. P. 122-126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/suntz_2017_6_29.

5. Sobchuk A. V., Sobchuk V. V., Barabash A. O., Liashenko I. Functionally sustainable wireless sensor network technologies aspects analysis. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. 2019. pp. 46–48.

<http://dx.doi.org/10.31174/SEND-NT2019-193VII23-11>

6. Leshchenko O., Dakhno N., Pliushch O., Trush O., Yermakov Y. Development of Model of Artificial Ecosystem on the Basis of Genetic Algorithm. IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2022 - Proceedings, 2022, pp. 199–203.
7. Dudnik A., Trush O., Kravchenko Y., Leshchenko O., Dakhno N. and Ryabokin Y. Routing Method in Wireless IoT Sensor Networks. IEEE 3rd International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC). 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/SAIC57818.2022.9922998.
8. Afanasyeva O., Tyshchenko M., Mykus S. Intellectualisation of Decision Support Systems for Computer Networks: Production-Logical F-Inference. International conference Information Technology and Interactions, IT&I-2020, CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2845, pp.117–126. https://ceur-ws.org/Vol-2845/Paper_12.pdf
9. Mykus S. A., Leshchenko O. A. Functional stability of information and telecommunication systems. East European Scientific Journal. 2016. №.2(6). pp.47–52.
10. Leshchenko, O., Yaroshchuk, N., Krasnopyorov, P. Information Modelling through GIS for Visualizing Air Alarms. CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2022, 3347, pp. 279–289.
11. J. Wang. Pseudolite Applications in Positioning and Navigation: Progress and Problems. Journal of Global Positioning Systems. 2002. Vol. 1, No. 1. pp. 48-56.
12. S. Liu, L. Wang, and Z. Yao. Research on layout method of ground-based pseudolite positioning system based on NSGA-II algorithm. Application Research of Computers, 2020. vol. 37, pp. 1839–1843.
13. Li Yang, Kaiyuan Yang, and Danshi Sun. Research on the Station Layout Method of Ground-Based Pseudolite Positioning System Based on NSGA-II Algorithm. Wireless Communications and Mobile Computing. Volume 2021, Article ID 1520859, 7 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/1520859>
14. X. Xue and L. Wang. Pseudolite base station selection method based on weighted level precision factor. Geodesy and Geodynamics. 2019.vol. 39, pp. 1070–1075.
15. L. Zeng, D. Li, Y. Qu, A. Ren, and Y. Feng. Route planning algorithm for space-based pseudolite network deployment. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics. 2016.vol. 42, pp. 1388–1397.
16. Heng Zhang, Baoguo Yu, Shuguo Pan, Chuanzhen Sheng, Huang Lu, and Yaning Li. A Pseudolite Indoor Wide-Area Networking Technology Based on Signal Multilevel Features. Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2022, Article ID 2190025, 12 pages, <https://doi.org/10.1155/2022/2190025>
17. K. Fujii, Y. Sakamoto, W. Wang, H. Arie, A. Schmitz, and S. Sugano. Hyperbolic positioning with antenna arrays and multi-channel pseudolite for indoor localization. // Sensors, 2015. vol. 15, no. 10, pp. 25157–25175.
18. Chumachenko S.M., Yakovlev E.O., Pirikov O.V., Partalyan A.S. Peculiarities of implementation of the network of environmental monitoring of combat operations for the Armed Forces of Ukraine. Ecological safety and nature management, 2022, No. 2 (42), pp. 23-34.
19. Chumachenko S., Lunova O., Murasov R. Kurtseitov T., Honcharenko I. A Method for Assessing Threats for Critical Infrastructure Objects on the Example of an Enemy's Attack on the Sludge Storage Facilities of the Avdiivka Coke Chemical Plant. Journal of Geology, Geography and Geoecology. 2024. vol. 32, №4. <https://doi.org/10.15421/112360>
20. Skorobohatko S., Fesenko H., Kharchenko V., Yakovlev S. Architecture and Reliability Models of Hybrid Sensor Networks for Environmental and Emergency Monitoring Systems. Cybernetics and Systems Analysis. 2024, 60(2), pp. 293–304.
21. Polishchuk A.O., Kravchenko Yu.V. Mathematical model of knowledge representation in the environmental monitoring system. Telecommunications and information technologies. 2015. No. 1. pp. 11–15.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-14-22

УДК 358.4:632.2(477)

Коровін Іван Павлович (кандидат технічних наук, доцент)

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

Коцюрба Андрій Васильович

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

Радько Олег Віталійович (кандидат технічних наук, доцент)

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

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ПЕРШОЧЕРГОВІ ЗАВДАННЯ ІНЖЕНЕРНО-АВІАЦІЙНОЇ СЛУЖБИ ЩОДО ІНТЕГРАЦІЇ F-16 У СИСТЕМУ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті розглянуті сучасні погляди на завдання інженерно-авіаційної служби авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на етапі переозброєння на новий тип авіаційної техніки. Проведено аналіз сучасного стану державної авіації України та причин деградації системи експлуатації її авіаційної техніки. Сформульовані основні етапні завдання, які потрібно виконати щодо організації перенавчання пілотів та інженерно-технічного складу правилам льотної і технічної експлуатації та ремонту нового типу авіаційної техніки, заходів інженерно-авіаційного забезпечення нового типу авіаційної техніки в умовах її бойового застосування. За результатами аналізу організаційної структури інженерно-авіаційної служби підрозділів, що експлуатують літаки F-16 у країнах-членах НАТО та організаційно-штатної структури підрозділів інженерно-авіаційного забезпечення цих країн сформовано вимоги до типової структури інженерно-авіаційної служби авіаційних бригад Повітряних Сил Збройних Сил України, які будуть переозброюватися на новий тип авіаційної техніки. Дана стаття може бути корисною для широкого кола фахівців-практиків і науковців, які займаються питаннями організації експлуатації військової авіаційної техніки, а також для керівного інженерного складу державної авіації України.

Ключові слова: *інженерно-авіаційне забезпечення, інженерно-авіаційна служба, інженерно-технічний склад, новий тип авіаційної техніки.*

Вступ

На сьогоднішній день критичне наближення термінів експлуатації майже всіх основних зразків авіаційної техніки (АТ) Повітряних Сил Збройних Сил України до своїх граничних значень є одним з основних внутрішніх чинників, що матиме вплив на подальший розвиток авіаційної складової наших Збройних Сил.

Повітряні Сили Збройних Сил України зразка 2024 року надалі 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 повітряного нападу противника [1].

Існуюча в Україні модель тактичної авіації у складі її родів (винищувальна, бомбардувальна, штурмова, розвідувальна), озброєних доволі

широкою номенклатурою літаків типу: МиГ-29, Су-27, Су-24М, Су-25, Су-24МР повинна зазнати змін у напрямку уніфікації та трансформуватися до моделі із багатофункціональними військовими частинами (підрозділами) тактичної авіації, на озброєнні яких, за можливістю, знаходиться єдиний тип багатоцільового винищувача покоління 4++ закордонного виробництва (наприклад, F-16, Saab JAS-39E/F Gripen тощо), що забезпечить уніфікацію та економію ресурсів [1].

Отже, для організації та безпосереднього здійснення переозброєння авіації Повітряних Сил, з урахуванням того факту, що інженерно-авіаційне забезпечення (ІАЗ) є основною складовою всебічного забезпечення авіації й проводиться у взаємодії з іншими видами логістичного та бойового забезпечення [2], виникає необхідність у визначенні першочергових завдань інженерно-авіаційної служби авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на етапі переозброєння на новий тип АТ.

Отже, метою дослідження є уточнення першочергових завдань інженерно-авіаційної служби (ІАС) щодо перенавчання льотної та інженерно-технічного складу підрозділів і частин, що визначені для переозброєння на новий тип АТ та вироблення пропозицій щодо змін у структурі

ІАС для ефективного виконання заходів щодо ІАЗ переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на новий тип АТ.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

Результати

Призначення сучасної ІАС – виконання значної кількості завдань щодо підтримання справності АТ та готовності її до бойового застосування [3, 4].

Але в умовах широкомасштабного російського вторгнення чисельність, склад і якість бойової техніки державної авіації швидко змінюється.

Тому необхідно провести глибокий аналіз сучасного стану бойової АТ Повітряних Сил Збройних Сил України та можливих шляхів подальшого підтримання бойового потенціалу авіації на рівні, достатньому для досягнення переваги у повітрі.

Аналіз сучасного стану державної авіації України та причин деградації системи експлуатації її АТ.

На даний час організаційні структури державної авіації України мають на озброєнні літаки і вертольоти з достатньо високими льотно-тактичними властивостями, які спроможні виконувати польоти у будь-яких метеоумовах по заданому маршруту і профілю. Для реалізації високих льотно-тактичних властивостей авіаційна техніка повинна постійно знаходитися у готовності до застосування за призначення, безвідмовно працювати при виконанні бойових польотних завдань. Для цього керівному інженерно-технічному складу суб'єктів авіаційної діяльності необхідно вміти оцінювати і аналізувати бойову готовність і надійність авіаційної техніки.

Надійність – це властивість АТ зберігати певний час у визначених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, ремонту, транспортування та зберігання. Надійність АТ закладається на етапах проектування та виготовлення, а в умовах експлуатації вона підтримується на заданому рівні [5].

Нажаль надійність АТ, як нової так і тієї, що давно експлуатується, на теперішній час далеко не достатня. Це проявляється у відмовах, які ведуть до виникнення інцидентів або авіаційних подій. Заходи щодо недопущення відмов АТ на етапі масового постачання її у війська промисловістю приймалися не ефективно.

Найважливішим показником експлуатаційної надійності є безвідмовність – це властивість виробу АТ безперервно зберігати працездатний стан протягом певного часу або напрацювання [5].

Безвідмовність притаманна виробу як при різних режимах роботи так і при збереженні і транспортуванні його.

Основний показник безвідмовності АТ – це наліт на одну відмову в польоті (Тп). Тп – визначається відношенням нальоту в годинах до суми всіх відмов і несправностей, що виявлені в польоті. До їх кількості, входять й інциденти. Показник Тп – це параметр, який характеризує надійність роботи авіаційної техніки в польоті.

Другий показник безвідмовності (Тс) – наліт на одну відмову, або несправність, які виявлено як в польоті так і на землі. Цей параметр характеризує ефективність використання АТ.

Ці параметри задавалися для кожного типу АТ Загальними технічними вимогами (ОТТ-ВВС-86), які були скасовані у 2016 році. Наразі у державній авіації України (ДАУ) застосовуються Європейські критерії до сертифікації військової льотної придатності (European Military Airworthiness Certification Criteria - EMACC) відповідно до наказу начальника Головного управління ДАУ від 09 травня 2023 року №43 “Про схвалення використання застосованих норм військової льотної придатності як стандартних засобів для доведення відповідності виробів, компонентів та обладнання відповідно до Правил сертифікації повітряних суден, пов’язаних з ними виробів, компонентів та обладнання, які належать до військової техніки, а також організацій розробника та виробника (Частина-21В)” [6].

Параметри надійності повинні бути закладені в конструкції. Чим вищі значення цих параметрів, тим вищим рівень експлуатаційної надійності. Так наприклад, згідно з ОТТ-ВВС-86 повинні були безумовно забезпечуватися такі значення показників, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вимоги ОТТ-ВВС-86 щодо основних показників безвідмовності АТ, що проектується

Показники надійності	Тип АТ		
	МиГ-29, Су-25, Су-24	Ан-26, Ан-30	Ми-8
Тс, годин	не менше 3	не менше 12	не менше 16
Тп, годин	не менше 100	не менше 300	не менше 400

Разом з тим, досвід серійного виробництва і експлуатації літаків МиГ-29 та Су-27 показав, що не вдалося добитися корінного покращення безвідмовності цих літаків. Це підтверджується результатами державних випробувань, де був отриманий рівень надійності МиГ-29 та Су-27 (табл. 2) в декілька разів нижче заданого.

Таблиця 2

Основні показники безвідмовності АТ, що отримані за даними військових випробувань нових зразків АТ

Показники надійності	Тип АТ	
	МиГ-29,	Су-27,
Тс, годин	менше 1	менше 0,8
Тп, годин	менше 5	менше 7

Основні показники безвідмовності авіаційної техніки, що отримані за даними військових випробувань нових зразків авіаційної техніки.

Не вдалось вирішити проблему і в серійному виробництві. При прийманні літаків на льотно-

випробувальній станції протягом 3-х років проводилось польотів в 1,5 - 2 рази більше встановленої кількості через велике число відмов. При входному контролі на літакобудівних заводах бракувалося 50-80% бортового навігаційного і радіоелектронного обладнання, 25-60% всієї кількості відмов вказаних систем відбувалося через вихід з ладу електро-радіо виробів.

Основні причини зниження надійності АТ:

всі відпрацьовані конструкторські документи не стали невід'ємною складовою частиною процесу створення літаків та вертольотів;

конструктори не приділяли питанням надійності необхідної уваги;

занижена роль науково-дослідних установ міністерства авіаційної промисловості (МАП) в розробці програм забезпечення надійності і безпеки польотів, забезпечення їх реалізації на етапах дослідного і серійного будівництва.

Наслідком цього є те, що близько 50% конструктивно-виробничих недоліків носили і продовжують носити повторний характер. Деякі залишалися не усунутими десятиріччями.

Так, наприклад, експлуатація у стройових частинах літака Су-24 почалася з 1973 р., а у 1975 р. літак було прийнято на озброєння радянських ВПС. Випуск літаків тривав до 1993 р., було побудовано близько 1200 літаків Су-24 різних модифікацій. В Україні, за оцінками західних експертів, на 01.01.1992 р. налічувалося близько 270 і у складі ВПС Росії на початку 1993 р. перебувало 540 літаків Су-24 різних модифікацій.

Руйнування деталей турбіни двигуна АЛ-21-Ф-3А літаків Су-24 виникали з 1974 року і продовжували мати місце багато десятиріч. У 14 авіаційному корпусі ВПС України тільки в 1999 році було два випадки руйнування в повітрі цього елемента на двигунах АЛ-21Ф3. Тобто конструкторські бюро і промисловість не реагували на недоліки конструювання і виробництва АТ.

Друга причина - це серйозні недоліки у розробці та забезпеченні лабораторно-стендовим комплексом для перевірки систем і агрегатів повітряних суден.

Вище викладений, аналіз показує, що МАП не зуміло забезпечити надійність згідно норм і перш за все, це технологія, яка використовується на підприємстві.

Функціонуюча в авіації Повітряних Сил Збройних Сил України система технічної експлуатації [5] дозволяє запобігати виникнення в польоті 95,4% всіх відмов та несправностей, однак 4,6% відмов все-таки проявляються в польоті і є наслідками:

КВН – 80%;

неякісний ремонт - 7,2%;

неякісна підготовка АТ і помилки ІТС - 4,2%;

помилки ІТС при експлуатації АТ – 3%;

інші причини - 5,6%.

Узагальнена статистика показує, що 97,5% цих відмов не мають наслідків, а 2,5% приводять до

серйозних наслідків. Якщо їх рахувати за 100%, то вони розподіляються наступним чином:

затримка вильоту – 18%;

невихід в політ - 24,5%;

політ з 1 двигуном, що відмовив – 23%;

невиконання завдання – 34%;

аварії та катастрофи - 0,5%.

У сучасних умовах ефективність системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) повітряних суден та рівень безпеки польотів великою мірою залежать від заходів щодо контролю технічного стану АТ і робіт, що виконуються за результатами такого контролю, тобто від – ефективності системи відновлення об'єктів АТ.

Інформаційною основою системи відновлення є застосовувані засоби експлуатаційного контролю, за допомогою яких вирішуються завдання з перевірки працездатності бортового обладнання повітряних суден (ПС) в польоті, при виконанні оперативних видів підготовки та профілактичних робіт, пошуку місця відмови під час військового ремонту АТ [1, 7].

В даний час для контролю АТ використовуються такі групи засобів [1, 5]:

1. Бортові автоматизовані засоби контролю (БАЗК).

2. Вбудовані засоби контролю (ВЗК) окремих систем.

3. Наземні автоматизовані системи контролю літальних апаратів (НАЗК1).

4. Наземні АЗК демонтованого обладнання (НАЗК2).

5. Наземно-бортові засоби контролю.

6. Контрольно-перевірочна апаратура (КПА).

Крім того, в останній час отримали інтенсивний розвиток системи штучного інтелекту та як один з їх напрямків – експертні системи, які широко впроваджуються в першу чергу у військовій галузі [4, 8].

Існуючі засоби експлуатаційного контролю бортового обладнання, наприклад, літака типу Су-24 складаються з вбудованих систем контролю за окремими системами та КПА і за своєю повнотою контролю, глибиною пошуку відмови та контролепридатністю бортового обладнання дозволяють визначити:

факт відмови системи, яку контролюють;

вихід параметра, що контролюється, за межі допуску або загальної справності системи з можливістю регулювання параметру за допомогою штатних органів регулювання;

несправний блок системи, що відмовила, шляхом побічного оцінювання оператором несправності або форми її прояву.

Застосування таких засобів контролю в сучасних умовах існування державної авіації призводить до наступних недоліків [5]:

зростання вартості експлуатації АТ (для ремонту несправні агрегати необхідно відправляти на АРЗ);

значні простой АТ у непрацездатному стані (необхідність великого за обсягом обмінного

фонду блоків систем в умовах обмеженого фінансування);

зниження ефективності функціонування системи експлуатації АТ в цілому.

Отже, підвищення контролепридатності бортового обладнання та удосконалення системи засобів контролю могли би стати потенційними шляхами уникнення зазначених недоліків.

У табл. 3 наведено порівняльну характеристику засобів контролю літаків, які знаходяться на озброєнні у державній авіації України, та їх закордонних аналогів, де: КП – контроль працездатності; ПМВ – пошук місця відмови; ПК – повнота контролю; Гпв – глибина пошуку відмови.

Таблиця 3

Система засобів експлуатаційного контролю літаків тактичної авіації

Тип ПС, початок експлуатації	БАЗК	НАЗК ₁	НАЗК ₂
МиГ-29 (Су-27) 1981 (1985)	“Екран”, $m = 12$ кг; КП з ПК= 0,5...0,8; ПМВ – відсутній; $\Gamma_{не} = 0$; $t_k = 9...12$ хвилин	МК-9.12 (МК- Т.10); $m = 6780$ кг (6 станцій) ПК= 0,8...0,9 ПМВ до групи блоків; $\Gamma_{не} = 0,2$	–
F-14 (1973)	КП з ПК=0,87; $t_k = 1,5$ хвилин	–	VAST (ВМС) 150 блоків до плати
F-15 (1974)	КП з ПК=0,95; ПМВ до блока; $\Gamma_{не} = 0,95$	–	AIS (6 станцій) 98 блоків до плати
F-16 (1980)	КП з ПК=0,83; (ПК ^{зал} =0,95); ПМВ до блоку; $\Gamma_{не} = 0,74$	–	AIS (4 станції) 100 блоків до плати (37 на аеродромі базування)
F-18 (1983)	польотний КП з ПК=0,8; КП з ПК=0,95; ПМВ до блока; $\Gamma_{не} = 0,98...0,99$	AFTA (ВМС) $m = 27$ кг; ПМВ 16 блоків на ПС до окремої плати	VAST (ВМС) 150 блоків до плати; CSS з 1992 року 300 блоків до плати

Аналіз застосування засобів контролю в нашій країні та за кордоном показав наявність низки проблем, що виникають під час їх розроблення та експлуатації [5, 9]:

ВЗК повинні вважатися одним з основних елементів бортових систем. На цей час розробники не можуть забезпечити при підготовці до польоту задану повноту контролю (95%), тому виявлення відмов, зазвичай, є на рівні 50...80%, що призводить до проблеми прихованих відмов, які знижують реальний рівень безпеки польотів;

вимоги до мобільності й автономності використання військових ПС, скорочення експлуатаційних витрат і кваліфікації обслуговуючого технічного персоналу призводять до необхідності підвищення глибини пошуку відмов на рівні окремої плати, елемента при їх 100% локалізації. З іншого боку, підвищення глибини та повноти бортового контролю систем літака веде до збільшення маси обладнання і

зростання частки “помилкових” відмов до 50% і вище;

багатофункціональність, комплексування, відмовостійкість, структурна й інформаційна надмірність сучасного бортового обладнання дозволяють виконувати бойове завдання при виявленні відмови в польоті, що підвищує вимоги до безперервності контролю і своєчасності індикації відмов. З іншого боку, індикація в польоті може викликати необґрунтоване припинення виконання бойового завдання у випадку незначних чи “помилкових” відмов;

негативний досвід використання в частинах НАЗК1 типу МК 9.12 та МК Т-10, а також високі технічні характеристики американської системи AFTA літака F/A-18 ставлять ряд питань стосовно шляхів удосконалення наземних засобів контролю (зміна стратегії використання, удосконалення показників контролепридатності, доопрацювання програмного забезпечення, інше конструктивне виконання тощо);

зростання частки “помилкових” відмов у демонтованому устаткуванні, порушення виробничих зв’язків у мережі ремонту бортового обладнання, дефіцит ремонтного фонду в експлуатуючих організаціях викликають необхідність розроблення і використання в стрійових частинах НАЗК2.

Вирішення цієї групи протиріч потребує розв’язання складного теоретичного і практичного завдання на етапах розроблення АТ (групи засобів контролю АТ 1, 2, 3) та обґрунтування вимог до бортових і наземних засобів контролю ПС, наземних АЗК демонтованого обладнання (групи засобів контролю АТ 4, 5). Натепер в Україні питання удосконалення груп засобів контролю АТ 1, 2, 3 вирішуються при розробленні нових літаків. Для державної авіації України, яка озброєна літаками радянського виробництва третього та четвертого покоління, актуальним є вирішення питання удосконалення груп засобів контролю АТ 4 та 6. Але вирішення питання удосконалення групи засобів контролю АТ 4 шляхом удосконалення НАЗК1 типу МК 9.12 малоефективне через застарілість цієї системи. Таким чином, найбільш перспективним напрямком є розроблення та використання в стрійових частинах НАЗК2.

Таким чином, одним з теоретично можливих напрямків підвищення ефективності та економічності вітчизняної системи ТО і Р ПС військового призначення є удосконалення системи засобів експлуатаційного контролю шляхом:

впровадження бортових автоматизованих систем контролю в поєднанні з мультиплексною шиною обміну даними;

впровадження уніфікованих наземних автоматизованих систем контролю демонтованого обладнання (НАЗК2);

підвищення контролепридатності систем літака (пошук місця відмови з точністю до конструктивно-змінної одиниці (КЗО));

забезпечення доступу до основних елементів та

агрегатів.

Але в умовах широкомасштабного російського вторгнення чисельність, склад і якість бойової техніки державної авіації швидко змінюється. За даними "The Military Balance" на початку вторгнення Україна мала на озброєнні 71 винищувач Су-27 / МиГ-29, 14 бомбардувальників Су-24М та 31 штурмовик Су-25 [10].

Витоки секретних документів розвідки США свідчать, що Україні вдалося зберегти близько половини цього парку. Станом на лютий 2023 року США оцінили втрати ЗС України в 60 літаків та 32 вертольоти [10].

Партнери частково змогли компенсувати їх шляхом постачання АТ виробництва колишнього СРСР, яка ще залишалася на зберіганні та на бойовому чергуванні, зокрема у країнах Східної Європи.

За даними аналітиків Орух Україна отримала 18 одиниць Су-25 та 24 винищувачі МиГ-29 [10]. Нажаль, наша держава знаходиться на критичній межі кількості своєї авіації. Наразі нам потрібно близько 80–100 винищувачів [1].

Як висновок зазначимо, що ремонт, модернізація та підтримання належного рівня справності наявної АТ потребують все більшого фінансового ресурсу, обсяг якого вже наблизився до показників фінансування закупівлі нових сучасних зразків. Отже, утримання існуючого парку старої АТ вже стає економічно недоцільним [11]. Треба шукати змін у напрямку уніфікації та трансформації авіації майбутнього до моделі із багатофункціональними військовими частинами (підрозділами) тактичної авіації, на озброєнні яких, за можливістю, знаходиться єдиний тип багатоцільового винищувача покоління 4++ закордонного виробництва.

Україна може отримати винищувач F-16, який спроможний замінити в українському небі більшість літаків тактичної авіації радянського виробництва.

Обговорення

Першочергові завдання системи інженерно-авіаційного забезпечення в процесі інтеграції F-16 у систему Повітряних Сил Збройних Сил України.

За повідомленням экс-першого заступника міністра оборони України генерал-лейтенанта Олександра Павлюка робота з інтеграції багатоцільового літака F-16 у загальну систему Сил оборони України вже відбувається як всередині України, так і за кордоном "... в межах наших спільних з партнерами зусиль в рамках діяльності міжнародної Коаліції військово-повітряних сил" [12].

Водночас відбувається робота над "Швидким треком", який планують запровадити до кінця 2024 року. У його рамках проведено оцінювання аеродромів для багатоцільових винищувачів. Крім того, наш льотний та інженерно-технічний склад проходить навчання на F-16 із серпня 2023 р. за широким спектром програм.

Одночасно в Україні триває доволі складна робота щодо підготовки захисту інфраструктури, у

тому числі засобами ППО. Зазначено, що підготовка на території нашої держави відбувається в умовах цілодобового використання інженерно-технічного та льотного складу, аеродромної інфраструктури для виконання бойових завдань, коли робиться все, щоби одночасно бити ворога, захищати власні спроможності та набувати нових [12].

Багатоцільовий винищувач F-16 потенційно може перебрати на себе функції, які виконували Су-27 та МиГ-29, а також частково бомбардувальники Су-24М.

Окрім технічної переваги сучасніших американських винищувачів, F-16 надає можливість використання сучасної ефективної зброї, яка потенційно дозволить відкинути авіацію ворога від лінії бойового зіткнення.

Україна потенційно може отримати понад 60 винищувачів F-16, всього їх може бути 100–150 одиниць [10].

Прем'єр-міністерка Данії Метте Фредеріксен заявила, що країна надасть українським Повітряним Силам 19 літаків F-16 [13].

Щодо F-16 від Нідерландів, прем'єр-міністр країни Марк Рютте зазначив, що на балансі їх ВПС є 42 винищувачі, які заплановано замінити на F-35. Україні обіцяють передати літаки з наявних запасів.

Президент Зеленський же, після зустрічі з Рютте, у своєму telegram-каналі повідомив, що: він домовився з Марком Рютте щодо передачі Україні 42 винищувачів F-16 [10].

19 серпня під час прес-конференції Зеленського у Швеції стало відомо про те, що українські пілоти вже почали навчання на шведських винищувачах JAS39 Gripen, яких загалом у Швеції є 204 одиниці [10]. Однак у 2014 році експлуатували тільки близько 100 з них. Тож потенційно Швеція може поставити нашій державі деяку кількість JAS39 Gripen без значного зниження боєздатності своїх збройних сил.

Потенційно можливими постачальниками АТ також називають Бельгію, яка має на озброєнні 44 винищувачі F-16. Аналогічно Нідерландам та Данії вона готується оновити свій парк АТ сучасними F-35.

Початок шляху до отримання F-16 – навчання українських пілотів та інженерно-технічного складу.

Одним з головних викликів є суттєва відмінність кабін пілота в радянських винищувачах та в американського літака, адже якщо у першій кабіні присутня велика кількість механічних датчиків та перемикачів, то друга є сучаснішою та більш насиченою електронікою. Пілот протягом польоту має контролювати велику кількість параметрів, отже він повинний автоматично відстежувати всі показники та миттєво приймати відповідні рішення.

Відмінності у розташуванні приладів, положень штурвалів, візуалізації параметрів у кабіні тощо вимагають від пілота не просто

навчитися літати, а й звикнути до нового літака й того, як він поводить себе в небі.

Навчання значно складніше, ніж для екіпажів танків, підготовка яких тривала близько двох місяців. Пілоту необхідно отримати значну кількість нальоту на новому типі літака, аби він мав змогу брати участь у своєму першому бою.

Для навчання українських пілотів знадобиться приблизно 4–6 місяців, зазначають західні ЗМІ з посиленням на дані розвідки й американських чиновників. У цьому Україні допомагатиме Польща, яка свого часу пройшла процес перенавчання пілотів на F-16.

Окрім навчання пілотів Україна має також підготувати відповідну інфраструктуру для обслуговування та утримання нових типів винищувачів. Аеродроми Повітряних сил України мають покриття з бетонних блоків, тоді як і аеродроми країн-членів НАТО зазвичай мають суцільне покриття. Вважається, що західна авіація більш чутлива до якості злітно-посадової смуги.

Отже Україні потрібно приховано провести реконструкцію своїх аеродромів.

Разом з пілотами для експлуатації F-16 нам необхідно навчити достатню кількість обслуговуючого персоналу та підготувати відповідне обладнання, тому що АТ вимагає періодичного контролю, проведення технічного обслуговування, регламентних робіт та ремонту.

Складність підготовки інженерно-технічного складу та оснащення підрозділів, що обслуговують літаки західних виробників усугубляється низькою дуже впливових причин технічного та організаційного спрямування.

Причини технічного спрямування пояснюються тим, що літаки F-16 від різних постачальників мають різне обладнання. Одні постачальники (португальські та норвезькі) мають F-16АМ/ВМ. Але “норвежці” і багато “данців” пройшли модернізацію середнього віку, тобто вони отримали нашоломний приціл, дисплей і можливість застосовувати сучасні ракети.

В процесі модернізації на літаках було проведено повну заміну кабелів та електроніки. Планер було розібрано, а всі виявлені на його елементах мікротріщини були зміцнені шляхом холодної обробки. Це дозволило продовжити гарантію додатково на 5–6 тисяч годин нальоту.

Найціннішою інновацією стало встановлення нового бортового комп'ютера та шини, що дозволило взаємодію із багатьма сучасними технологіями (контейнерами РЕБ, розвідувальною апаратурою, керованими авіаційними засобами ураження). Тобто літак стає багатофункціональним, тому в одній ескадрильї одні борти можуть бути розвідниками, інші виконувати завдання РЕБ, ще інші – нести протикорабельні ракети на стандартній підвісі. Причому саме роздавати РЕБ (глушити ракети з РЛС-наведенням), а не застосовувати засоби самооборони чи відстрілювати дипольні відбивачі – хоча F-16 ВПС Данії та Норвегії обладнані системою попередження про захоплення літака

радаром “Терма”.

Причинами організаційного спрямування є різниця в побудові організаційно-штатних структур підрозділів обслуговування авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України та авіаційного крила країн-членів НАТО. Коли в авіаційній бригаді види підготовки до польотів і періодичне технічне обслуговування виконуються за чотирма-п'ятьма спеціалізаціями, в авіаційному крилі все бортове обладнання розподіляється за його цільовим призначенням. Наслідком цього є вузька спеціалізація особового складу підрозділів обслуговування, що дає змогу досягати високої якості робіт при одночасному зниженні витрат на підготовку фахівців.

Співвідношення між кількістю літаків і особового складу ІАС у крилах, що озброєні різними типами АТ і знаходяться в різних умовах базування [4], наведено в табл. 4.

Таблиця 4

Співвідношення між кількістю літаків і особового складу ІАС у крилах ВПС країн – членів НАТО

Тип літака	Тактичне авіаційне крило та території США		Командування ВПС в Європі	
	Кількість літаків у крилі	Кількість особового складу ІАС у крилі	Кількість літаків у крилі	Кількість особового складу ІАС у крилі
A-10	72	1512	108	3168
F-15	72	1773	72	1968
F-16	72	1635	72	1773

Результатом підвищення якості робіт на землі є зменшення відмов у повітрі і підвищення надійності роботи АТ.

Однак вимоги до вузької спеціалізації спеціалістів призвели до необхідності мати велику кількість різних фахівців, тобто до збільшення штатів і зниження навантаження кожного фахівця.

Це збільшило витрати на утримання особового складу, а отже, й на експлуатацію АТ (наприклад, в брТА Повітряних Сил Збройних Сил України на 1 літак приходиться 8–10 чоловік ІТС, у крилі F-16 країн заходу – до 23 чоловік, тобто майже в 3 рази більше).

Тому основними заходами ІАЗ щодо організації перенавчання ІТС повинно бути [14]:

визначення кількості ІТС (за новими спеціальностями або видами обладнання) з врахуванням необхідності організації технічного обслуговування авіаційних засобів ураження, що будуть поставлятися з новим типом АТ. Цей ІТС буде проходити перенавчання для забезпечення приймання нової АТ та забезпечення польотів на протязі початкового періоду освоєння льотним складом нового типу АТ;

визначення кількості керівного ІТС (за спеціальностями або видами обладнання), який буде проходити перенавчання та у подальшому проходити додаткове навчання у якості інструкторів;

проведення відбору спеціалістів ІАС, що

плануються до відправлення на перенавчання;

організація, після проходження теоретичного та практичного перенавчання та отримання допуску (сертифікату, свідоцтва) до технічного обслуговування нового типу АТ, для спеціалістів, що навчалися 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).

Створення навчальних центрів для навчання інженерно-технічного складу на території України.

У подальшому, для перенавчання решти ІТС на території України повинні бути створені відповідні навчальні центри для навчання особового складу. Центри повинні бути 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) [14].

Основними заходами ІАЗ щодо безпосередньо 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 необхідної кількості та типу засобів технічного обслуговування нового типу АТ, необхідних запасних частин та матеріалів;

проведення адаптації Програм підтримання льотної придатності (програм технічного обслуговування та ремонту) нового типу 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 інфраструктури, яку необхідно створити (бази передового розгортання, операційні бази (центри технічного обслуговування));

визначення та обґрунтування штатної чисельності ІТС та засобів технічного обслуговування для нового типу АТ;

організація ІАЗ нового типу АТ безпосередньо в авіаційних військових частинах.

Формування орієнтовної структури інженерно-авіаційної служби авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України.

Аналіз системи технічного обслуговування військової АТ країн-членів НАТО (Сполучених Штатів Америки, Великої Британії, Федеративної Республіки Німеччини) та організаційно-штатної структури підрозділів ІАС (їх аналогів) цих країн під завдання переозброєння на нову АТ має стати

підґрунтям для формування попередньої структури ІАС авіаційної бригади Повітряних Сил Збройних Сил України, яка буде враховувати особливості експлуатації нової АТ в умовах базування на декількох аеродромах. 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 й вищих органів управління.

Для реалізації для нового типу АТ Правил державної авіації України з питань підтримання льотної придатності [7], 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).

Лідерні та спеціальні випробування нової авіаційної техніки у військах.

Лідерні випробування (за необхідністю) полягають в тому, що виділена група повітряних суден-лідерів експлуатується за спеціальною програмою, випереджуючи основний парк ПС цього типу за польотами, посадками або іншими параметрами. Це дозволяє виявити та своєчасно виконувати заміну вузлів, деталей з малою надійністю та приймати рішення на проведення робіт на АТ з метою продовження призначених показників (призначених і міжремонтних ресурсів і строків служби). Лідерні випробування на даній техніці проводяться за згодою з її виробником (постачальником).

Лідерні випробування зазвичай можуть проводитися у декілька етапів:

етап інтенсивної експлуатації ПС - лідерів в умовах військових частин з періодичним поглибленим контролем та аналізом їх технічного стану;

етап проведення контрольних льотних випробувань ПС - лідерів з метою оцінки ступеня зміни головних льотно-технічних та інших (експлуатаційних) характеристик в залежності від величини його напрацювання та строку служби і виконується за окремою програмою;

етап проведення наземних, міцносних, кліматичних, фізико-хімічних та інших випробувань та досліджень технічного стану лідерної АТ.

Забезпечення необхідного рівня оперативності системи управління інженерно-авіаційним забезпеченням перенавчання на нову авіаційну техніку в умовах ведення бойових дій.

Зважаючи на сучасні вимоги до оперативності прийняття рішень та організації ІАС військових частин та підрозділів [8, 15...17], стає зрозуміло, що без сучасного спеціального обладнання відповідних командних пунктів бригад та ПУ ІАЗ частини, ПУ ТЕЧ, ПУ ТППР неможливо своєчасно та якісно спланувати, організувати та виконати поставлені завдання інженерно-авіаційного та технічного забезпечення підрозділів і частин Повітряних Сил Збройних Сил України, що переходять на новий тип АТ.

Створення та впровадження сучасних автоматизованих систем управління інженерно-авіаційним та технічним забезпеченням як складових системи управління військами дозволить значно підвищити справність нового типу АТ та бойову готовність авіаційної частини в цілому, а також суттєво підвищити ефективність інженерно-авіаційного та технічного забезпечення перенавчання на новий тип АТ і, як наслідок, ефективність бойового застосування авіації в цілому.

Висновки

За результатами дослідження визначено першочергові завдання ІАС щодо ІАЗ переозброєння авіаційних частин на новий тип АТ. Запропоновано залишити ІАС в авіаційній бригаді окремою структурою під керівництвом заступника командира бригади з ІАС – начальника ІАС. Це обумовлюється тим, що всі без виключення види технічного забезпечення на АТ здійснюються через ІАЗ, а не самостійно. Тому обов'язковою умовою реалізації запропонованих структурних змін в ІАС авіації Повітряних Сил Збройних Сил України є зосередження централізованого управління консолідованим забезпеченням саме в цій службі, як основній структурі, яка спроможна забезпечити перенавчання, заданий рівень бойової готовності та дозволить суттєво підвищити ефективність бойового застосування нової АТ. Також це значно підвищить оперативність управління за рахунок виключення з системи управління ІАЗ надлишкових ланок та суттєвого зменшення впливу некомпетентних елементів.

Список використаних джерел

1. Україна, Міністерство оборони України (2020, 15 трав.). Рішення Військової ради Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Про схвалення Візії Повітряних Сил 2035.
2. Україна, Міністерство оборони України (2020, 29 вер.). Рішення Головнокомандувача Збройних Сил України, Про затвердження Доктрини Об'єднана логістика.
3. Україна, Міністерство оборони України. (2016, 05 лип.) Наказ Міністерства оборони України № 343, Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України.
4. І. П. Коровін та ін., Організація інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України:

підручник. Київ, Україна: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2021.

5. О. В. Радько, С. М. Коротін та ін., Організація експлуатації військової авіаційної техніки: підруч. Київ, Україна: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2023.

6. Україна, Міністерство оборони України. (2023, 09 трав.) Наказ начальника Головного управління державної авіації України № 43, Про схвалення використання застосованих норм військової льотної придатності як стандартних засобів для доведення відповідності виробів, компонентів та обладнання відповідно до Правил сертифікації повітряних суден, пов'язаних з ними виробів, компонентів та обладнання, які належать до військової техніки, а також організацій розробника та виробника (Частина-21В).

7. Україна, Міністерство оборони України. (2016, 23 груд.) Наказ Міністерства оборони України № 714, Про затвердження Правил державної авіації України з питань підтримання льотної придатності.

8. Воронин А.Н., Зиятдинов Ю.К., Харченко А.В. Сложные технические и эргодические системы. Харьков, Україна: Факт, 1997.

9. Інженерно-авіаційне забезпечення. Аналіз надійності військової авіаційної техніки. Терміни та визначення, ВСТ 01.204.005-2018 (01), Управління стандартизації, кодифікації та каталогізації МО України, Київ, Україна, 2018.

10. Нідерланди та Данія підтвердили готовність передати Україні винищувачі F-16. Як формувалася коаліція винищувачів, хто до неї входить та які ще літаки може отримати Україна, аналізував Forbes. Дата звернення: 15 лют. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://forbes.ua/war-in-ukraine/61-vinishchuvach-f-16-dlya-ukraini-shcho-zमित-zakhidna-aviatsiya-v-ukrainskomu-nebi-rozbit-forbes-21082023-15521>.

11. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки, ДСТУ В-П 15.004:2019, ДП “УкрНДНЦ”, Київ, Україна, 2019.

12. Робота з інтеграції F-16 у ЗСУ проходить в Україні та за кордоном Дата звернення: 16 лют. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://mil.in.ua/uk/news/robo-ta-z-integratsiyi-f-16-u-zsu-prohodyt-v-ukrayini-ta-za-kordonom/>.

13. Прем'єр-міністерка Данії Метте Фредеріксен заявила, що її країна надасть Україні 19 винищувачів F-16. Дата звернення: 15 лют. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://suspiilne.media/554943-dania-nadast-ukraini-19-litakiv-f-16-premer-ministerka-kraini/>.

14. А. В. Коцюрuba, О. В. Радько, І. П. Коровін, О. М. Братусь “Перспективні напрями інженерно-авіаційного забезпечення переозброєння авіації Повітряних Сил Збройних Сил України на нову авіаційну техніку”, Повітряна міць України, вип. 1, №1, груд. 2021, doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-96-99.

15. George Jiri Klir, Architecture of Systems Problem Solving. New York: Plenum Press, 1985.

16. І. П. Коровін “Імовірнісні характеристики процесів інженерно-авіаційного забезпечення застосування авіації”, у Перспективи розвитку військової авіації. Кооперація підприємств авіаційної промисловості з іноземними компаніями – головний напрямок співробітництва та основа створення нових зразків АТ, 12 жовтня, 2017. Київ, Україна: ДНДА, 2017, с. 6.

17. І. П. Коровін та ін., Довідник військового авіаційного інженера: навч. посіб. Київ, Україна: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2021.

Ivan Korovin (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

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

Andrii Kotsiuruba

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

Oleg Radko (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

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

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PRIORITY TASKS OF THE ENGINEERING SERVICE OF AVIATION REGARDING THE INTEGRATION OF THE F-16 INTO THE AIR FORCE SYSTEM OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

The article discusses modern views on the tasks of the engineering service of aviation of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine at the stage of rearmament with new type of aircraft. The current state of the state aviation of Ukraine and the reasons for the degradation of the system of operation of its aircraft are analyzed. The main milestone tasks to be accomplished in organizing the retraining of pilots and engineering and technical personnel in the rules of flight and technical operation and repair of a new type of aircraft, as well as measures for engineering and aviation support of a new type of aircraft in the conditions of its combat use are formulated. Based on the results of the analysis of the organizational structure of the engineering and aviation service of units operating F-16 aircraft in NATO member states and the organizational and staffing structure of engineering and aviation support units in these countries, requirements for the typical structure of the engineering and aviation service of aviation brigades of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, which will be re-equipped with a new type of aircraft, have been formed. This article may be useful for a wide range of practitioners and scientists dealing with the organisation of the operation of military aircraft, as well as for the senior engineering staff of the state aviation of Ukraine.

Keywords: *engineering support of aviation, engineering service of aviation, engineering and technical staff, a new type of aircraft.*

References

1. Ukraina, Ministerstvo obrony Ukrainy (2020, 15 trav.). Rishennia Viiskovoi rady Komanduvannia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy, Pro skhvalennia Vizii Povitrianykh Syl 2035.
2. Ukraina, Ministerstvo obrony Ukrainy (2020, 29 ver.). Rishennia Holovnokomanduvacha Zbroinykh Syl Ukrainy, Pro zatverdzhennia Doktryny Obiednana lohistryka.
3. Ukraina, Ministerstvo obrony Ukrainy. (2016, 05 lyp.) Nakaz Ministerstva obrony Ukrainy № 343, Pro zatverdzhennia Pravyl inzhenerno-aviatsiinoho zabezpechennia derzhavnoi aviatsii Ukrainy.
4. I. P. Korovin ta in., Orhanizatsiia inzhenerno-aviatsiinoho zabezpechennia derzhavnoi aviatsii Ukrainy: pidruchnyk. Kyiv, Ukraina: NUOU im. Ivana Cherniakhovskoho, 2021.
5. O. V. Radko ta in., Orhanizatsiia ekspluatatsii viiskovoi aviatsiinnoi tekhniki: pidruch. Kyiv, Ukraina: NUOU im. Ivana Cherniakhovskoho, 2023.
6. Ukraina, Ministerstvo obrony Ukrainy. (2023, 09 trav.) Nakaz nachalnyka Holovnoho upravlinnia derzhavnoi aviatsii Ukrainy № 43, Pro skhvalennia vykorystannia zastosovnykh norm viiskovoi lotnoi prydatnosti yak standartnykh zasobiv dlia dovedennia vidpovidnosti vyrobiv, komponentiv ta obladnannia vidpovidno do Pravyl sertyfikatsii povitrianykh suden, poviazanykh z nymy vyrobiv, komponentiv ta obladnannia, yaki nalezhat do viiskovoi tekhniki, a takozh orhanizatsii rozrobnyka ta vyrobnyka (Chastyna-21 V).
7. Ukraina, Ministerstvo obrony Ukrainy. (2016, 23 hrud.) Nakaz Ministerstva obrony Ukrainy № 714, Pro zatverdzhennia Pravyl derzhavnoi aviatsii Ukrainy z pytan pidtrymanna lotnoi prydatnosti.
8. Voronyn A.N., Zyatdynov Yu.K., Kharchenko A.V. Slozhnye tekhnicheskyye y erhodycheskiye systemy. Kharkov, Ukraina: Fakt, 1997.
9. Inzhenerno-aviatsiine zabezpechennia. Analiz nadiinosti viiskovoi aviatsiinnoi tekhniki. Terminy ta vyznachennia, VST 01.204.005-2018 (01), Upravlinnia standartyzatsii, kodyfikatsii ta katalogizatsii MO Ukrainy, Kyiv, Ukraina, 2018.
10. Niderlandy ta Daniia pidtverdly hotovnist peredaty Ukraini vynyshchuvachi F-16. Yak formuvalasia koalitsiia vynyshchuvachiv, khto do nei vkhodyt ta yaki shche litaky mozhe otrymaty Ukraina, analizuvav Forbes. Data zvernennia: 15 liut. 2024. [Onlain]. Dostupno: <https://forbes.ua/war-in-ukraine/61-vinishchuvach-f-16-dlya-ukraini-shcho-zminit-zakhidna-aviatsiya-v-ukrainskomu-nebi-rozbir-forbes-21082023-15521>.
11. Systema rozroblennia i postavlennia na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki. Stadii zhyttievoho tsykladu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki, DSTU V-P 15.004:2019, DP "UkrNDNTs", Kyiv, Ukraina, 2019.
12. Robota z intehtatsii F-16 u ZSU prokhodyt v Ukraini ta za kordonom Data zvernennia: 16 liut. 2024. [Onlain]. Dostupno: <https://mil.in.ua/uk/news/robota-z-integratsiyi-f-16-u-zsu-prohodyt-v-ukrayini-ta-za-kordonom/>.
13. Premier-ministerka Danii Mette Frederiksen zaiavyla, shcho yii kraina nadast Ukraini 19 vynyshchuvachiv F-16. Data zvernennia: 15 liut. 2024. [Onlain]. Dostupno: <https://suspilne.media/554943-dania-nadast-ukraini-19-litakiv-f-16-premer-ministerka-kraini/>.
14. A. V. Kotsiuruba, O. V. Radko, I. P. Korovin, O. M. Bratus "Perspektyvni napriamy inzhenerno-aviatsiinoho zabezpechennia pereozbroiennia aviatsii Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy na novu aviatsiinu tekhniku", Povitriana mits Ukrainy, vyp. 1, №1, hrud. 2021, doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-96-99.
15. George Jiri Klir, Architecture of Systems Problem Solving. New York: Plenum Press, 1985.
16. I. P. Korovin "Imovirnisni kharakterystyky protsesiv inzhenerno-aviatsiinoho zabezpechennia zastosuvannia aviatsii", u Perspektivy rozvytku viiskovoi aviatsii. Kooperatsiia pidprijemstv aviatsiinnoi promyslovosti z inozemnyimi kompaniiamy – holovnyi napriamok spivrobotnytstva ta osnova stvorennia novykh zrazkiv AT, 12 zhovtnia, 2017. Kyiv, Ukraina: DNDIA, 2017, s. 6.
17. I. P. Korovin ta in., Dovidnyk viiskovoho aviatsiinoho inzhenera: navch. posib. Kyiv, Ukraina: NUOU im. Ivana Cherniakhovskoho, 2021.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-23-27

УДК 159.9:358.43

Короп Сергій Вікторович

<https://orcid.org/0009-0005-3696-0382>

Рудич Катерина Володимирівна

<https://orcid.org/0009-0004-7466-9679>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТЧИКІВ ШТУРМОВОЇ АВІАЦІЇ ДО ДІЙ В ОСОБЛИВИХ ВИПАДКАХ ПОЛЬОТУ

У статті проведено аналіз дії стресогенних факторів на психологічний та психофізіологічний стан льотчиків штурмової авіації у особливих випадках (аварійних ситуаціях) польоту. Проаналізовано джерела та публікації, а також розглянуто психологічні аспекти розвитку у льотчиків штурмової авіації таких функціональних систем, як антиципація та оперативне мислення, щодо дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях). Проведений у науковій статті теоретичний аналіз підходів досліджень у поєднанні з опрацюванням комплексу методів спеціальної та цільової психологічної підготовки дозволяє сформулювати цілісне уявлення про наукове обґрунтування і розуміння особливостей психологічної підготовки льотчиків штурмової авіації щодо дій в особливих випадках польоту.

Ключові слова: аварійна ситуація, льотчик, психологічна готовність, оперативне мислення, антиципація.

Вступ

Діяльність льотчика штурмової авіації під час виконання бойових завдань обумовлена рядом факторів, серед яких особливе місце посідають збереження високого рівня виконання військово-професійної діяльності за ускладнених умов, при аварійних ситуаціях, виникнення особливих випадків в польоті [1]. Такі умови діяльності та додаткова дія стресогенних факторів на психіку льотчика типові для випадків, коли раптово виникають несприятливі обставини, що загрожують життю екіпажу та безпеці польоту, тобто аварійна ситуація або ураження літака засобами протиповітряної оборони ворога. Ступінь впливу аварійної ситуації на льотчика, а отже, ефективність і надійність його дій визначаються обставинами виникнення і перебігу ситуації, характером інформації, що надходить до льотчика, а також психологічною готовністю до дій в ускладнених і аварійних умовах. При цьому відмінності в ступені психологічної готовності льотного складу успішно діяти в аварійній ситуації найістотніше проявляються під час надходження недостатньо визначеної, помилкової або суперечливої інформації про те, що трапилося [5]. Актуальність вирішення проблематики зниження дії стресогенних факторів на психологічний та психофізіологічний стан льотчиків штурмової авіації у особливих випадках (аварійних ситуаціях) польоту обумовлює подальший розвиток досліджень в даному напрямку.

Матеріали та методи

Аналіз стресогенних факторів особливих випадків польоту (аварійних ситуацій) на

психологічний та психофізіологічний стан льотчиків штурмової авіації, огляд сформованих теорій і практик підтримання психічного здоров'я льотного складу, підвищення надійності системи "людина-машина-середовище", опрацювання досліджених методів спеціальної та цільової психологічної підготовки напередодні польотів, вироблення цілісного уявлення про наукове обґрунтування і розуміння особливостей психологічної підготовки льотчиків штурмової авіації до дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях).

Результати

Аналіз стресогенних факторів особливих випадків польоту (аварійних ситуацій) на психологічний та психофізіологічний стан льотчиків штурмової авіації, огляд сформованих теорій і практик підтримання психічного здоров'я льотного складу, підвищення надійності системи "людина-машина-середовище", опрацювання досліджених методів спеціальної та цільової психологічної підготовки напередодні польотів, вироблення цілісного уявлення про наукове обґрунтування і розуміння особливостей психологічної підготовки льотчиків штурмової авіації до дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях).

Одним із завдань підготовки льотчика штурмової авіації є збереження високого рівня виконання військово-професійної діяльності за ускладнених умов, при аварійних ситуаціях, виникненні особливих випадків в польоті [1]. Такі умови діяльності та додаткова дія стресогенних факторів на психіку льотчика типові для випадків, коли раптово виникають несприятливі обставини,

що загрожують безпеці польоту, тобто аварійна ситуація або ураження літака засобами протиповітряної оборони ворога. Ступінь впливу аварійної ситуації на льотчика, а отже, ефективність і надійність його дій визначаються обставинами виникнення і перебігу ситуації, характером інформації, що надходить до льотчика, а також психологічною готовністю до дій в ускладнених і аварійних умовах. При цьому відмінності в ступені готовності льотчиків успішно діяти в аварійній ситуації найістотніше проявляються під час надходження недостатньо визначеної, помилкової або суперечливої інформації про те, що трапилося. Різниця часу впізнання, наприклад, досягає двох порядків (від 3 до 300 секунд) [2]. Під дією додаткових стресових факторів суб'єктивна оцінка складності ситуації може бути різною: від визнання свого безсилля до думки про абсолютну простоту дій. Тому можна зробити висновок про зв'язок особливостей поведінки льотного складу в аварійних ситуаціях польоту насамперед з особливостями підготовки кожного льотчика, яка включає професійну, мотиваційну, психологічну (когнітивну, емоційно-вольову), психофізіологічну компоненти та весь минулий досвід даного льотчика [1].

В особливих випадках у польоті (аварійних ситуаціях) інструкції наказують строго фіксований порядок операцій. Здавалося б, що для дій в аварійних ситуаціях необхідні і достатні автоматизовані сенсомоторні навички. Але спроби підвищити надійність дій льотчика в аварійній ситуації шляхом відпрацювання тільки виконавчих дій суперечать об'єктивній психологічній сутності цієї ситуації.

Головна відмінність аварійної ситуації від нормальних умов польоту не тільки в підвищеній емоційній напруженості та складності рухових дій, а й у необхідності перебудувати план дій, сформувані новий “образ польоту”, що регулює дії. І це в умовах, коли звичні нейтральні подразники - шум, вібрації, прискорення, зусилля на органах управління - набувають сенсу сигналів [3]. Кожен із них може стати носієм важливої інформації про стан керованого об'єкта.

Процес вилучення інформації, зіставлення її з раніше сформованим образом становить зміст психічної діяльності в аварійній ситуації, спрямованої на підготовку ухвалення рішення. Цей процес протікає з великими труднощами, якщо у льотчика немає відповідного “образу польоту”, що допомагає ідентифікувати потрібні сигнали. Звідси несвоєчасні і помилкові дії навіть у досвідчених льотчиків, які вперше потрапили в конкретну аварійну ситуацію.

Результатом спрощеного тренування, спрямованого переважно на відпрацювання виконавчих рухів, стають допущені помилки, так як мета навчити розпізнаванню ознак аварійної ситуації, як правило, спеціально не ставиться. Відпрацьовується, доводиться до досконалості лише рухові навички, а для успішної роботи в нових важких умовах цього недостатньо. Наукові

дослідження в галузі психології та психофізіології (П.Анохін, М.Бернштейн, І.Сеченов) щодо формування сенсомоторних навичок та автоматизмів, часткової стереотипізації процесів руху та мислення показують, що у випадках екстремальних (аварійних) ситуацій, які потребують нестандартного (нетипового) вирішення, стереотипи можуть негативно вплинути як на процес визначення аварійних ситуацій, так і на виконання дій за ними. Адже автоматизація мислення та рухової діяльності виконує свої завдання у випадку стандартних (типових) операцій діяльності, але може суперечити необхідності адекватної оцінки і, що головне, зміні типового стандарту діяльності в екстремальній ситуації. Необхідно навчити льотчика розпізнавати ознаки конкретних ситуацій, що вимагає від нього формування нових специфічних, оперативних, когнітивно-поведінкових функціональних систем. У льотчиків, добре знайомих з ознаками особливих випадків у польоті тільки теоретично, не може бути сформований необхідний оперативний “образ польоту”, який забезпечує правильність дій. Звідси нездатність льотчика одразу виділити і розпізнати ознаки ситуації, в результаті - запізнані і недостатньо результативні дії.

Навіть найдокладніший і найправильніший опис ознак настання багатьох аварійних ситуацій не завжди забезпечує їх своєчасне розпізнання в реальних умовах. Теоретично підготовлений льотчик не завжди може впізнати сигнал, що надійшов, з яким він знайомий тільки за описом. У результаті - відтермінування початку дій, помилки. Якщо ж така ситуація ускладнюється дефіцитом часу, то ймовірність порушення надійності польоту дуже велика [2].

У льотній практиці чимало прикладів, які показують, що необхідні для успішних дій в аварійних ситуаціях якості формуються в міру набуття досвіду дій в аналогічних ситуаціях. Однак не можна покладатися на стихійне формування таких якостей. Необхідно цілеспрямовано формувати на землі та в повітрі готовність льотчика до дій у складній обстановці. Слід мати на увазі різницю між рівнями підготовки льотчика до дій у звичайних умовах, з одного боку, і в аварійних - з іншого.

Психологи неодноразово наголошували на специфічності тих якостей, які проявляються в аварійних ситуаціях, а також на їхній відмінності від якостей, які проявляються у звичайних умовах діяльності. Успішність дій в аварійних ситуаціях визначається здатністю льотчика до швидкого оцінювання альтернатив, виділення істотних ознак, неусвідомлюваного вибору значущих сигналів. Труднощі в діях пов'язані з формуванням під час навчання стандартизованого характеру мислення, з надмірною автоматизацією навички. Заздалегідь завчені сенсомоторні акти можуть зіграти свою позитивну роль тільки після завершення розумових процесів, спрямованих на розв'язання задачі, яка раптово виникла, на

визначення причини і сенсу того, що сталося.

Численні льотні дослідження показали, що саме розумові процеси займають переважну частину часу, що витрачається на ліквідацію аварійної ситуації, оскільки більшість ознак конкретної ситуації одночасно можуть бути ознаками низки інших ситуацій. Наприклад, у разі відмови різних систем літака виникають подібні впливи на літак і подібні неінструментальні сигнали, але дії льотчика при цьому мають бути різними. У разі виникнення пожежі або відмови двигуна дії льотчика також не можуть бути рефлекторними, вони визначаються багатьма обставинами польоту, які мають бути проаналізовані до початку дій.

Мета формування спеціального вміння якраз і полягає в тому, щоб скоротити процес розпізнавання ситуації. Характерні риси цього вміння для льотчика штурмової авіації такі:

- 1) оперативна обробка неповної інформації, перетворення неявного сигналу на явний, що спонукає до виконання конкретних дій;
- 2) гнучкість, легка пристосованість до мінливих умов, насамперед до складних і небезпечних;
- 3) внутрішня активність, що виражається в пошуку прихованих ознак аварійної ситуації;
- 4) мобілізація розумових зусиль для формування рішення.

У результаті аналізу дій льотчиків в особливих випадках польоту вдалося виявити найважливіші складові вміння діяти в аварійній ситуації: оперативне мислення та передбачення (антиципація).

Оперативне мислення - це здатність активно виділяти з одержуваної інформації характерні ознаки ситуації та шляхом умовиводів, аналізу швидко виробляти нову схему дій.

Оперативне мислення - специфічний спосіб обробки неповної інформації, що забезпечує успішність дій у невизначених умовах, дає змогу з багатьох ознак своєчасно виокремити ту єдину, потрібну, головну ознаку, за якою можливе впізнання ситуації та ухвалення рішення. Розвиток у кожного льотчика здатності оперативно мислити в аварійній ситуації має стати одним із завдань психологічної підготовки до польотів.

Наступний компонент спеціального вміння антиципація (передбачення) – це психічний процес орієнтації на майбутнє. У льотній практиці цей процес представляє здатність льотчика за окремими, на перший погляд малозначущими ознаками розпізнати подію, налаштуватися на певні дії. У результаті спеціального тренування можна розвинути здатність передбачати за невизначеними, непрямыми (неінструментальними) ознаками подію, що настає. У цьому разі невизначений сам по собі сигнал перетворюється на суб'єктивно визначену значущу ознаку цілком конкретної ситуації.

На відміну від здатності до оперативного мислення, здатність передбачати подію, що настає, є більш специфічною і має вироблятися стосовно

кожного конкретного особливого випадку, насамперед до тих випадків, виникнення яких супроводжується яскравою неінструментальною ознакою, надпороговим фізичним впливом на льотчика.

Зазначені складові розумового вміння слід цілеспрямовано формувати в процесі професійної підготовки як на комплексних тренажерах, так і в польоті. Для вироблення відповідного розумового вміння насамперед має бути проведений аналіз конкретних особливих випадків, причому не тільки теоретичний, заснований на вивченні інструкцій і технічних описів, але обов'язково з опорою на експериментальні матеріали.

Зокрема, необхідно мати на увазі, що психологічну сутність деяких особливих випадків на тренажерах з нерухомою кабіною змоделювати не вдається. Це ті особливі випадки, у виявленні яких істотну роль відіграють неінструментальні сигнали, тобто відчуття льотчика. Так, на тренажері і в польоті абсолютно різні інформативні ознаки відмови: якщо на тренажері провідну роль відіграють зорові сигнали (показання приладів), то в польоті - акселераційні відчуття (відчуття кутових прискорень та ін.). Аналогічна розбіжність визначальних інформативних ознак спостерігається під час відмови двигуна. У зв'язку з цим для зазначеної групи особливих випадків на тренажері з нерухомою кабіною можна з успіхом відпрацьовувати послідовність дій, рухові навички, але не можна виробити розумові вміння з упізнання ситуації.

Формування вмінь і навичок дій в аварійній обстановці здійснюється в процесі професійної та психологічної підготовки на всіх етапах. На попередній підготовці до польотів проводиться усне опитування щодо дій в особливих випадках (знання інструкції). З погляду психології такий метод спрямований на тренування довготривалої та оперативної пам'яті. Ця форма тренування необхідна і корисна, але, природно, недостатня. Наступний етап тренування проходить на тренажерах, які дають змогу моделювати більшість особливих випадків. На тренажерах з успіхом можна тренувати як рухові навички, так і розумові вміння.

Зловживати тренуваннями на тренажерах для вдосконалення рухових навичок під час оперування з обладнанням кабіни не слід. Такі навички краще освоювати в кабіні реального літака, де розміщення обладнання може дещо відрізнятись від його розміщення в кабіні тренажера. Для тренування на тренажерах навичок оперативного мислення корисно створювати проблемні та конфліктні ситуації. З цією метою можна подавати хибні сигнали про відмови тієї чи іншої системи (або її елементів), вводити особливі випадки без передбаченої сигналізації, використовувати психологічні перешкоди на кшталт коливань стрілок та індексів приладів.

Слід мати на увазі, що якщо для вироблення рухових навичок до дій в особливих випадках

необхідне неодноразове повторення однієї й тієї ж ситуації (до вироблення дій необхідної точності та швидкості), то для тренування оперативного мислення потрібні раптові та найрізноманітніші ускладнення.

Відповідні “ввідні” на даному занятті повинні програватися тільки один раз з докладним розбором характерних ознак ситуації і допущених льотчиком помилок.

Водночас методично корисно одну й ту саму “ввідну” давати на таких ділянках польоту, де рішення мають бути різними залежно від висоти польоту, віддаленості від аеродрому, польотного завдання.

Особливим прийомом є введення таких відмов, за яких дії можуть бути відтерміновані в часі. Наприклад, під час імітації відмови прибирання шасі льотчик повинен протягом усього польоту утримувати в пам'яті необхідність випуску шасі і закрилків аварійним способом. За допомогою таких прикладів можна не тільки тренувати оперативне мислення, а й формувати у льотчика здатність до витримування встановленого режиму польоту за одночасного витягування з пам'яті потрібних для ухвалення рішення відомостей.

Ефективність тренувань оперативного мислення досягається несподіваним для льотчика введенням відмов і ускладнень польотної ситуації. У практиці тренувань інструктор нерідко дає “ввідні” в категоричній формі, наприклад: “Відмовив двигун”, “Вийшов з ладу авіагоризонт” тощо. Це вимагає від льотчика тільки виконання відомих йому за інструкцією дій. Отже, такі “ввідні” не тренують оперативності мислення, тому що у льотчика не виникає необхідності самому аналізувати обстановку, за різними ознаками поведінки літака і показаннями приладів ставити “діагноз” і ухвалювати рішення.

У системі наземних тренувань льотної складу велике місце займають тренажі в кабінах літаків. При цьому не слід обмежуватися тільки тренажем з обладнанням кабіни. Обов'язково слід включати уявлення, програвання в розумі різних ситуацій і відповідних дій. Продуктивність такого роду тренувань відзначають методисти льотної навчання, визнають багато льотчиків. Після такого програву при виникненні в польоті аналогічна ситуація сприймається як уже знайома. У цьому разі нейтралізується один із суттєвих негативних чинників аварійної ситуації - раптовість її виникнення, зменшується напруженість. До того ж відпрацьовування в умі адекватних конкретним ситуаціям дій є також засобом формування та підтримання необхідних рухових навичок.

Обговорення

Формування складних умінь майбутніх льотчиків з авіаційної психології є одною з важливих складових формування професійної надійності льотчиків. Діяльність льотчика в критичних ситуаціях забезпечується знаннями, навичками, вміннями, адаптаційними механізмами до екстремальних факторів польоту до якої відноситься і навчання військових льотчиків

невербальному спілкуванню, стійкістю емоційно-вольової сфери, високим розвитком науково-дослідницьких компонентів діяльності і здатністю коректувати реалізацію рішення в залежності від ситуації, яка склалася.

Висновки

Проведений у статті аналіз дії стресогенних факторів на психологічний та психофізіологічний стан льотчиків штурмової авіації у особливих випадках (аварійних ситуаціях) польоту показав особливу важливість психологічних аспектів цільового розвитку у льотчиків штурмової авіації таких функціональних систем, як антиципація та оперативне мислення, щодо дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях). При цьому, весь комплекс підготовки льотчика до виконання бойових завдань окрім заходів загальної психологічної, медичної, фізичної, теоретичної і практичної підготовки обов'язково повинен включати до себе спеціальну психологічну підготовку до дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях). Розширення інструментарію діагностичних та психокорекційних спроможностей фахівців в галузі авіаційної військової психології за рахунок засвоєння теорії і практики спеціальної психологічної підготовки до дій в особливих випадках польоту (аварійних ситуаціях) надасть додаткових можливостей щодо формування у льотної складу антиципації, оперативного мислення, емоційно-вольової стійкості до негативних психогенних чинників особливих ситуацій польоту та збереження психічного здоров'я льотчиків.

Список використаних джерел

1. Ковальчук О.П. Психологічні особливості професійної мотивації офіцерів Повітряних Сил Збройних Сил України : дис. ... канд. псих. наук : 26.10.13. Київ, 2013, 135 с.
2. Корольчук М.С. Психофізіологія діяльності: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. - 2-е вид., випр. та доп. - К.: Ельга, Ніка-Центр, 2004,- 400 с.
3. Організація психологічної підготовки у Збройних Силах України: навч.-метод. посіб./ За редакцією генерал-майора В. Клочкова.- К.: НДЦ ГП ЗС України, 2023. – 325 с.
4. Психологічне забезпечення Збройних Сил України: навч.-метод. посіб. / за заг. ред. генерал-майора В. Клочкова. К.: НДЦ ГП ЗС України, 2023. 213 с.
5. Стасюк В.В. Військова психологія видорождової діяльності: Підручник для слухачів та студентів вищих навчальних закладів. - К.: ПП “Золоті Ворота”, 2012. - 458 с.
6. Погорільська Н. І., Іванюк М. О. Психологічні ресурси саморегуляції льотної складу повітряних сил. Актуальні проблеми психології: Збірник наукових праць Інституту психології імені Г.С. Костюка, 2012. Том 10. № 21. С. 155-166.
7. Методичні рекомендації з психологічної підготовки льотної складу під час організації заходів колективної підготовки особового складу Повітряних Сил Збройних Сил України: Повітряні сили Збройних сил України. Управління по роботі з особовим складом,

2015. 33 с.

8. Приходько Д. П., Зотніков А. Л. Особливості психологічної підготовки військових льотчиків до професійної діяльності. Науково-практична конференція ХНУПС ім. І.Кожедуба, 2018. С. 106-111.

9. Куфлієвський А.С. Формування професійної мотивації рятувальників МНС України. Проблеми екстремальної та кризової психології, Збірник наукових

праць. Вип. 6, С. 61-72. 2009.

10. Левченко Т.І. Мотивація суб'єкта в різних видах діяльності; Монографія. Вінниця: Нова книга, 2011. 448 с.

11. Осюдло В.І. Методика діагностики професійної мотивації. Вісник Національної академії оборони України : зб. наук, праць. № 2 (4). С.142-151. 2007.

Serhii Korop

<https://orcid.org/0009-0005-3696-0382>

Kateryna Rudych

<https://orcid.org/0009-0004-7466-9679>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF TRAINING OF ATTACK AVIATION PILOTS FOR ACTIONS IN SPECIAL FLIGHT CASES

The article analyzes the effect of stressful factors on the psychological and psychophysiological state of attack aviation pilots in special cases (emergency situations) of flight. Sources and publications are analyzed, as well as psychological aspects of the development of such functional systems as anticipation and operational thinking in special cases of flight (emergency situations) in attack aviation pilots are considered. The theoretical analysis of research approaches carried out in the scientific article in combination with the elaboration of a set of methods of special and targeted psychological training allows to form a holistic view of the scientific justification and understanding of the features of psychological training of attack aviation pilots regarding actions in special cases of flight.

Keywords: emergency situation, pilot, psychological readiness, operational thinking, anticipation.

References

1. Kovalchuk O.P. Psychological features of professional motivation of officers of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine: Candidate of Psychological Sciences: 26.10.13. Kyiv, 2013, 135 p.

2. Korolchuk M.S. Psychophysiology of activity: Textbook for students of higher educational institutions. - 2nd edition, revised and supplemented - K.: Elga, Nika-Center, 2004, - 400 p.

3. Organization of psychological training in the Armed Forces of Ukraine: a study guide / Edited by Major General V. Klochkov - K.: Research and Development Center of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2023. 325 p.

4. Psychological support of the Armed Forces of Ukraine: a study guide / edited by Major General V. Klochkov. K.: Research and Development Center of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, 2023. 213 c.

5. Stasiuk V.V. Military psychology of special activity: Textbook for students and students of higher educational institutions. - K.: Golden Gate Publishing House, 2012. - 458 c.

6. Poghoril'sjka N. I., Ivanjuk M. O. Psykhologichni resursy samoreguljacji ljetnogo skladu povitranjnykh syl.

Aktualjni problemy psykhologhiji: Zbirnyk naukovykh prac Instytutu psykhologhiji imeni Gh.S. Kostjuka, 2012. Tom 10. # 21. S. 155-166.

7. Metodichni rekomendaciji z psykhologhichnoji pidgotovky ljetnogo skladu pid chas orghanizaciji zachodiv kolektivnoji pidgotovky osobovogho skladu Povitranjnykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrajinu: Povitranji syly Zbrojnykh syl Ukrajinu. Upravlinnja po roboti z osobovym skladom, 2015. 33 s.

8. Prykhodjko D. P., Zotnikov A. L. Osoblyvosti psykhologhichnoji pidgotovky vijsjkovykh ljetchykiv do profesijnoji dijalnosti. Naukovo-praktychna konferencija KhNUPS im. I.Kozheduba, 2018. S. 106-111.

9. Kuflijevskij A.S. Formuvannja profesijnoji motyvaciji rjatuvalnykiv MNS Ukrajinu. Problemy ekstremalnoji ta kryzovoji psykhologhiji, Zbirnyk naukovykh pracj. Vyp. 6. Kharkiv : UCZU, 2009. S. 61-72.

10. Levchenko T.I. Motyvacija sub'jekta v riznykh vydakh dijalnosti; Monografija / Tetjana Levchenko. Vinnycja: Nova knygha, 2011. 448 s.

11. Osjodlo V.I. Metodyka diaghnostyky profesijnoji motyvaciji. Visnyk Nacionalnoji akademiji obrony Ukrajinu : zb. nauk, pracj. 2007. № 2 (4). S.142-151.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-28-35

УДК 519.6

¹Шевяков Юрій Іванович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-5322-6674>

²Миронюк Микола Юрійович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0001-7164-2700>

²Дзюбенко Юрій Анатолійович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

²Ярошенко Ярослав Віталійович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

²Національний університет оборони України, Київ, Україна

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛЬОТНОЇ ПІДГОТОВКИ ПІЛОТІВ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ

Дослідження спрямоване на розвиток нового підходу до оцінки ефективності льотної підготовки пілотів, використовуючи алгоритми нечіткого виведення. Цей підхід враховує комплексні аспекти, які впливають на професійну компетентність та безпеку пілота під час польотів. Врахування таких факторів, як рівень знань і навичок, досвід пілота, його психологічний стан і умови польоту, дає можливість отримати об'єктивну картину ефективності підготовки. Розроблений метод оцінювання є інноваційним і відкриває нові можливості для підвищення рівня підготовки пілотів та забезпечення безпеки в авіації. Використання алгоритмів нечіткого виведення дозволяє враховувати нестандартні ситуації та реальні умови польотів, що робить оцінку більш адаптивною та точною. Потенційні переваги цього підходу включають можливість ідентифікації слабких місць у підготовці пілотів та вчасного втручання для їх покращення. Крім того, врахування психологічного стану пілота може допомогти у запобіганні стресових ситуацій під час польоту, що також впливає на загальну безпеку.

Ключові слова: льотна підготовка; нечітка логіка; логічне виведення; ефективність.

Вступ

Питання ефективності льотної підготовки військових пілотів є ключовим у сучасних умовах, оскільки воно впливає на успішність виконання завдань та здатність пілотів ефективно реагувати на різноманітні бойові ситуації, які виникають в залежності від завдань, що виконуються, типів літальних апаратів та командної роботи направленої на вирішення завдання. Створення об'єктивних та комплексних методів оцінювання вимагає ретельного врахування різних аспектів навичок та здібностей пілотів, включаючи:

знання основ тактики ведення бойових дій, характеристик літака, тактичних прийомів ведення бою (нанесення авіаційних ударів);

навички пілотування, використання зброї та навігації;

стійкість до стресу, здатність до концентрації уваги, швидкість реакції;

вміння приймати рішення в умовах невизначеності та ризику.

Традиційні методи оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів можуть бути обмеженими в їх здатності враховувати множину аспектів навчання та мають ряд недоліків, таких як суб'єктивність оцінок, складність врахування

множини факторів, що впливають на успішність польоту, неможливість прогнозувати поведінку пілота в нештатних ситуаціях, тобто можуть бути не чутливими до нечіткості даних та вимог, що виникають під час польотів.

Підготовка пілотів розглядається як складний процес, який вимагає великих витрат часу, коштів та зусиль. Наразі існує потреба в удосконаленні методів оцінювання ефективності підготовки з метою забезпечення вищого рівня безпеки та професійності під час здійснення польотів. Очікується, що використання алгоритмів нечіткого виведення в оцінці льотної підготовки пілотів дозволить збільшити точність та об'єктивність цих оцінок, а також забезпечить більш гнучкий підхід до врахування різноманітних факторів, що впливають на процес навчання. Практична значимість дослідження полягає в його потенційній здатності покращити безпеку польотів та оптимізувати навчальні програми.

Особливості процесу професійної підготовки військових льотчиків висвітлені у наступних джерелах:

підготовка до льотної діяльності [1-4]
([1] Автор більше уваги приділяє педагогічним аспектам формування готовності, тоді як

психологічні особливості курсантів, їхні мотивації, страхи та емоційні стани розкриті не так детально; дослідження базується на теоретичних положеннях та літературних джерелах, але не містить результатів емпіричних досліджень); ([2] Розглянутий досвід виконання бойових завдань обмежений старим парком озброєння і військової техніки, якість підготовки на нових зразках техніки потребує навчання пілотів в сумісництві з країнами партнерами використовуючи нові підходи як до навчання так і до оцінювання самої підготовки.); ([3] Підкреслено необхідність комплексного підходу до формування психологічної готовності пілотів цивільної авіації який доцільно розглянути як складову психологічної готовності пілотів тактичної авіації.); ([4] Запропоновано практичні рекомендації щодо вдосконалення навчального процесу проте не запропоновано врахування емпіричних даних та методів щодо їх збору);

підготовка до дій в особливих ситуаціях у польоті [5-8]; ([5] Не висвітлено емпіричні дослідження наведених методів підготовки); ([6] Запропоновано розробка та впровадження програм підготовки персоналу які включають вивчення методики CRM та QRH для підвищення безпеки польотів та зменшити ризики авіаційних інцидентів, спричинені людським фактором. Однак, для того, щоб остаточно оцінити ефективність цих програм, необхідна чітка система оцінювання підготовки пілотів); ([7] Запропонована система оцінювання ефективності підготовки пілотів має багато переваг, які можуть допомогти покращити безпеку польотів. Однак, важливо враховувати й деякі недоліки системи, такі як складність, вартість та суб'єктивність.); ([8] Запропоновано оцінювати інтегральну кількісну оцінку індивідуального психофізіологічного стану з використанням п'яти методів, оцінювання яких порівнюються для оцінювання рівня придатності до виконання професійної діяльності, однак для оцінювання ефективності підготовки пілотів вони мають певні обмеження, а саме оцінка здатності пілотів діяти в умовах невизначеності та діяти в критичних ситуаціях);

формуванням професійних компетенцій у майбутніх авіаційних фахівців [3, 9, 11]. ([9-11] Наведено професійні компетенції проте не відображено емпіричні дослідження, які б вказували на достатній рівень професійної підготовки, що зумовлює необхідність в проведенні додаткових досліджень з визначення професійної компетентності).

Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що існуючі підходи мають свої переваги, але їх недоліки полягають у відсутності емпіричних даних, що свідчить про необхідність проведення емпіричних досліджень, щоб перевірити на практиці запропоновані моделі та методики підготовки пілотів, а також оцінити

рівень підготовки пілотів. Проте для проведення емпіричних досліджень в першу чергу потрібно запропонувати метод оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів. Враховуючи значний науковий інтерес до завдання оцінювання льотної підготовки пілотів в умовах скорочених термінів, одним з перспективних напрямків дослідження в цій галузі є використання алгоритмів нечіткої логіки, основи якої були закладено американським ученим Лютфі Заде [12], а її розвитку сприяли праці зарубіжних учених [13-15], тому для вирішення запропонованої задачі запропоновано розробити інтегрований підхід, який оцінюватиме ефективність льотної підготовки з використанням алгоритмів нечіткого виведення, які можуть бути використані для оцінювання пілотажної майстерності (яка включає в себе навички, знання та досвід пілота) та аналізу помилок пілотів (які спричиненні психологічним станом або умовами польоту), враховуючи які, отримаємо змогу оцінювати підготовку комплексно, а також забезпечити збір емпіричних даних для об'єктивної оцінювання ефективності навчання пілотів, яка є актуальною науковою задачею.

Мета статті полягає в розробці методу оцінювання ефективності льотної підготовки пілотів.

Матеріали і методи

У статті використано загальнонаукові методи дослідження, такі як аналіз (для визначення вимог до підготовки пілота) та синтез (для узагальнення процесу оцінювання ефективності підготовки пілота), а також теорію нечіткої логіки для визначення рівня підготовки пілота.

Результати

Статистика авіаційних подій свідчить про те, що переважна їх кількість пов'язана з людським фактором, оцінка якого складне завдання і у відповідь на яке, не існує єдиного методу, який би дозволив точно оцінити всі його аспекти. Ця теза відображає не лише складність та відповідність роботи пілотів, але й потребу у постійній оптимізації професійної підготовки.

Професійну готовність пілота можливо характеризувати складовими, які охоплюють теоретичні знання, навички, досвід та психологічний стан, вміння діяти в критичних ситуаціях та різних умовах польоту. Традиційні методи оцінювання професійної готовності пілотів, такі як тести, практичні вправи та симуляційні сценарії, мають певні обмеження. Вони можуть бути суб'єктивними, не враховувати всі аспекти професійної готовності та не давати чіткої картини того, як пілот буде діяти в реальних умовах польоту. Алгоритм Сугено, який є методом нечіткого висновку, може бути використаний для подолання цих обмежень та забезпечення більш об'єктивного та точного оцінювання професійної готовності пілота.

Формально алгоритм Сугено може бути визначений наступним чином:

1. Формування бази правил системи нечіткого виводу в формі[24]:

$$\text{if } \beta_1 \in \alpha_1 \text{ and } \dots \beta_n \in \alpha_n \quad (1)$$

$$\text{then } \omega = \varepsilon_1 \cdot \alpha_1 + \dots + \varepsilon_n \cdot \alpha_n$$

- де β_n – вхідна лінгвістична змінна;
 α_n – значення, якому відповідає окремий лінгвістичний терм із початкової терм множин T лінгвістичних змінних β_n ;
 ω – значення вихідної змінної;
 α_n – вагові коефіцієнти (можуть бути рівні або знаходиться методом експертних оцінок), при проведенні досліджень запропоновано використати рівні коефіцієнти для всіх правил.

2. Фазифікація вхідних змінних (знаходження функцій належності нечітких термів (множин)) виконується з використанням функцій належності нечітких термів.

Вхідні змінні (фактори, які впливають на систему): навички пілота, знання пілота, досвід пілота, психологічний стан пілота, умови польоту.

Для визначення числової міри кожного фактору у вигляді нечітких множин скористаємося експертними знаннями у відповідності до [16, 17], і сформуємо відповідні рівні оцінок пілота.

Рівень знань оцінюється за шкалою від 0 до 100, що відповідає правам, які надаються свідоцтвом, за такими напрямками:

повітряне право;

загальні відомості про повітряне судно конструкція / системи / силова установка / приладове обладнання; маса і центрування; характеристики;

льотне планування та моніторинг;

можливості людського організму;

метеорологія; загальні принципи навігації; радіонавігація; експлуатаційні процедури; принципи польоту;

зв'язок в контексті правил польотів за приладами або правила візуальних польотів.

Оцінка також може ґрунтуватися на попередній освіті пілота, його успішності на тестах та інших оцінювальних заходах. Іспити вважаються складеними, якщо заявник отримав не менше ніж 75 % максимальної кількості балів за отримане завдання. Крім того, знання англійської або будь-якої іншої мови – на середньому побутовому рівні є достатнім для початку навчання, проте, для здійснення радіозв'язку у польоті у визначеному повітряному просторі потребує визначеного рівня володіння англійською мовою, який зазначається в самому сертифікаті (мова, рівень володіння та строк дії). Визначений *рівень знань (Rz)* наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Рівень знань пілота		
№	Рівень	Значення
1	Низький	0-76
2	Середній	75-80
3	Високий	79-100

Найбільш вагомим та складним етапом професійної підготовки пілотів є процес безпосередньої підготовки до польотів та практичне отримання первинних навичок в техніці пілотування повітряним судном з наступним поетапним вдосконаленням льотної майстерності в повітрі. Рівень навичок відповідає шкалі від 0 до 25, де 0 відповідає найнижчому рівню навичок, а 25 – найвищому. В роботі [18], виділено особливості роботи пілота (пілот за політ виконує, в середньому, 14 дій за хвилину у штатній ситуації і до 21 дії у нештатній). Тому для оцінювання навичок виникає необхідність оцінювати не тільки засвоєнні знання, але й фізичні, психофізіологічні та морально-вольові якості пілота [19, 20], які впливають на максимальний рівень навичок.

Рівень навичок (Rn) визначено відносно кількості дій пілота за хвилину у нештатній ситуації наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Рівень навичок пілота		
№	Рівень	Значення
1	Низький	10-20
2	Середній	19-23
3	Високий	23-25

Досвід льотної підготовки (D) за програмою комплексного курсу не враховуючи підготовку для отримання рейтингу типу, становить загалом не менше ніж 150 годин з урахуванням усіх проміжних перевірок, з яких не більше ніж 5 годин може становити час наземного тренування за приладами [21]. Крім цього, враховується кількість виконаних польотів, рівень знань і навичок пілотування в різних умовах та режимах польоту, виконання вправ. Для узагальнення свого досвіду, може складатись список найбільш складних ситуацій. Для проведення дослідження досвід пілота визначено в кількості годин нальоту і відповідає шкалі від 50 до 200 (табл. 3).

Таблиця 3

Досвід польотів		
№	Рівень	Значення
1	Не великий	50-80
2	Середній	78-147
3	Великий	146-200

Пілот може бути добре підготовленим у професійному відношенні, але в екстремальних умовах здатний бути безпорадним через причини відсутності у нього надійності, стійкості до різних

стрес-факторів льотної діяльності. За таких умов він буде пропускати сигнали та інформацію, або буде приймати невірні рішення, або залишиться бездіяльним [1]. Психологічний стан (Ps) вимірюється за бінарною шкалою:

- 0 – відповідає незадовільному рівню психологічного комфорту;
- 1 – задовільному.

Це може включати рівень стресу, тривожності та загальний емоційний стан пілота перед польотом.

Аналогічно за бінарною шкалою оцінюються умови польоту (Um):

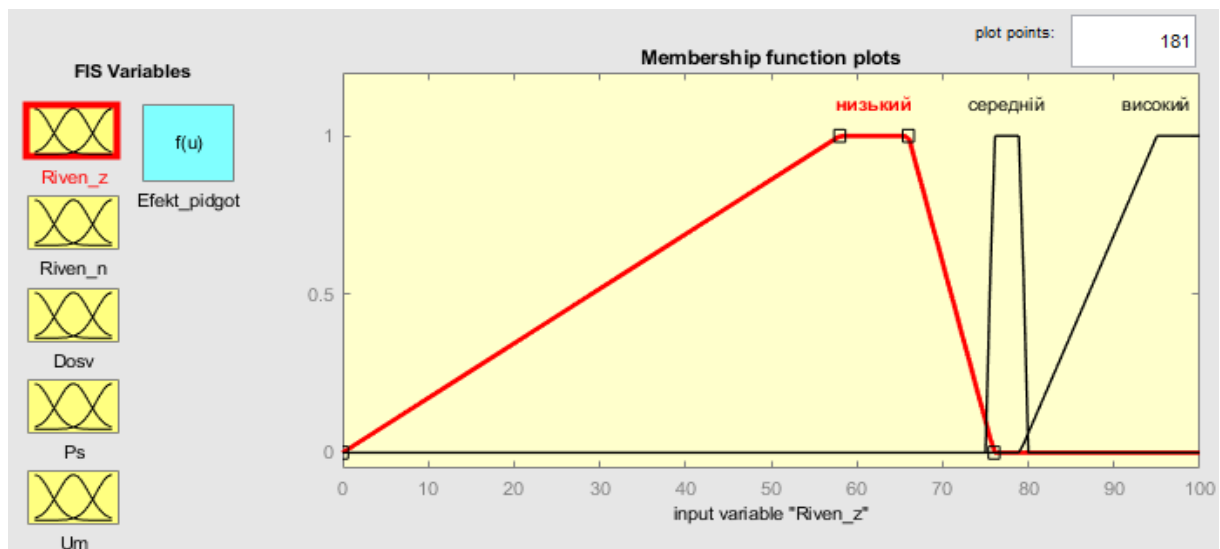
- 0 – прості метеорологічні умови (ПМУ), прості;
- 1 – складні метеорологічні умови (СМУ), складні.

Це може включати оцінку видимості, швидкості вітру, ступеня хмарності та інші метеорологічні умови.

Для дослідження системи нечіткого виводу було використано програмне забезпечення *MatLab*, а саме редактор функцій приналежності систем нечіткого виводу *Membership Function Editor*. У редакторі побудовані трапецієподібні функції приналежності нечітких термів побудовані на основі експертних оцінок.

Лінгвістична змінна “Рівень знань” визначено: універсальна множина: $U = [0, 100]$; терм-множина: $T = \{ \text{“низький”} [0\ 58\ 66\ 76], \text{“середній”} [75\ 76\ 79\ 80], \text{“високий”} [79\ 95\ 100\ 100] \}$.

На рис. 1 наведено приклад завдання функції приналежності для змінної “Рівень знань”.



Рисуюнок 1. Завдання функції приналежності для змінної “Рівень знань”

Аналогічно визначені функції приналежності для інших вхідних змінних.

3. Агрегування підумов в нечітких правилах виконується за логічною операцією кон’юнкції: ті правила ступінь приналежності умов яких є відмінним від нуля вважаються активними та беруть участь у нечіткому виводі.

4. Активізація підзаключень в нечітких правилах продукції здійснюється за допомогою методу [22]:

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}$$

- де c_i – ступінь істинності підзаключень;
- $\mu(y)$ – функція приналежності терма, який являється значенням вихідної перемінної ω_i , заданої в області значень Y .

Використовуючи формулу (1) заміняємо значення α_n значеннями вхідних перемінних до етапу фазифікації.

5. Акумуляція висновку за нечіткими правилами виконується з використанням дійсних чисел ω .

Емпіричні знання представлено у формі евристичних продуктивних правил наведених в табл. 4 (загальна кількість правил дорівнює добутку кількості рівнів для кожної змінної і становить 108, оскільки 3 параметра мають по 3 рівня і 2 параметра по 2 рівня).

правило №1:

if R_z = “низький” and R_n = “низький” and D = “невеликий” and P_s = “незадовільний” and U_m = “прості” then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

правило №2:

if R_z = “низький” and R_n = “низький” and D = “невеликий” and P_s = “задовільний” and U_m = “складні” then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

правило №3:

.....

правило №108:

if R_z ="високий" and R_n ="високий" and
 D ="невеликий" and P_s ="задовільний" and
 U_m ="прості" then $\omega = \varepsilon_1 \cdot \beta_1 + \varepsilon_2 \cdot \beta_2 + \varepsilon_3 \cdot \beta_3 + \varepsilon_4 \cdot \beta_4 + \varepsilon_5 \cdot \beta_5$,

Для визначення векторів вагових коефіцієнтів використовується метод Саати [25], який дозволяє ранжувати критерії за їх важливістю шляхом порівняння їх попарно. За результатами опитування експертів щодо важливості елементів ефективності підготовки пілота складено співвідношення, представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Експертна оцінка

Параметр	Rz	Rn	D	Ps	Um	СГ	НЗ
Rz	1	2	4	6	4	2.867	0.4
Rn	0.5	1	5	6	5	2.377	0.3
D	0.25	0.2	1	5	5	1.046	0.15
Ps	0.17	0.17	0.2	1	5	0.488	0.07
Um	0.25	0.2	0.2	0.2	1	0.288	0.04
Сума	-	-	-	-	-	7.06	1

де СГ – середні геометричні значення кожного рядка;

НЗ – нормовані значення параметрів (вагові коефіцієнти параметрів).

Проводимо розрахунок вагових коефіцієнтів для кожного параметра, як середнє значення в кожному рядку поділене на суму середніх значень, отримаємо: ε_1 : 0.4; ε_2 : 0.3; ε_3 : 0.15; ε_4 : 0.07; ε_5 : 0.04.

З розрахунку векторів пріоритетів (R_z-U_m) видно, що кінцеві результати суттєво залежать від оцінки експерта. Для перевірки достовірності експертних оцінок запропонована процедура оцінювання за допомогою індексу узгодженості і порядкової узгодженості експертних оцінок. Індекс узгодженості визначається за формулою [26]:

$$I_u = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

де n – число порівнюємих елементів;

λ – число, яке перевищує n , в залежності від грубості експертних оцінок, тому $\lambda - n$.

Отримано значення $I_u = 0,17$. Узгодженість може виявитись випадковою U_v якщо її величина буде залежати від розміру матриці. В нашому випадку для розмірності п'ять на п'ять дорівнює $U_v = 1.12$. Маючи індекс узгодженості і випадкову узгодженість розраховано відношення узгодженості I_v за формулою [26]:

$$I_v = \frac{I_u}{U_v}$$

Отримали (I_v) відношення узгодженості, яке складає 15%, що являється задовільним.

6. Дефазифікація здійснюється за допомогою обчислення зваженого середнього (w_{taver}) значення, з урахуванням ваги кожного виходу правила [23]

$$w_{taver} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2)$$

де x_i – значення функції приналежності для кожного можливого варіанту вихідного значення;

μ_i – ступінь належності для кожного можливого варіанту вихідного значення;

n – кількість можливих варіантів вихідного значення.

Для прикладу оцінювання ефективності підготовки трьох пілотів визначені наступні вхідні дані для кожного пілота табл. 5.

Таблиця 5

Вхідні значення підготовки

№	Rz	Rn	D	Ps	Um	Ep
Пілот 1	75	10	150	0,3	0,7	0,51
Пілот 2	87	20	91	0,8	0,2	0,59
Пілот 3	83	23	91	0,7	0,8	0,85

де E_p – ефективність підготовки пілота.

Для кожного конкретного випадку вплив вхідних параметрів може бути різним в залежності від специфіки ситуації та умов. Наприклад, якщо пілот має високий рівень досвіду і знань, то його психологічний стан може бути більш важливим чинником, оскільки від нього може залежати його здатність реагувати на стресові ситуації в повітрі. Однак, якщо пілот має обмежені знання або досвід, то ці параметри можуть мати більший вплив на його ефективність.

Таким чином, важливо аналізувати конкретні ситуації та умови для визначення того, які вхідні параметри найбільше впливають на ефективність підготовки пілотів.

Чутливість алгоритму визначено формуванням вагових коефіцієнтів, які визначають вплив кожного правила на вихідну змінну, а функції

належності враховують вплив на вихідну змінну, вхідних значень. Провівши співставлення результатів оцінювання ефективності запропонованим методом та з використанням експертних оцінок результати практично ідентичні, що може свідчити про адекватність моделі. Проте врахування різнорідних факторів в запропонованому методі значно підвищує обґрунтованість оцінювання ефективності підготовки пілотів.

Обговорення

Використання методу Сугено дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні нечіткі параметри, на основі яких отримується кількісна оцінка ефективності підготовки пілотів. Важливість правил враховується за допомогою експертних оцінок. Завдяки запропонованому методу можна швидко моделювати складні динамічні системи та порівнювати їх з заданим рівнем точності, не змінюючи при цьому саму логіку. Для кожного конкретного випадку вплив вхідних параметрів може бути різним в залежності від специфіки ситуації та умов в яких перебуває пілот.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробку складних нечітких систем, які здатні адаптуватися до змінних умов та отримувати більш точні результати. Це може включати вдосконалення алгоритмів нечіткого виводу, розробку нових методів навчання чи створення інтерактивних систем нечіткого оцінювання.

Висновок

Алгоритми нечіткого виведення дозволяють оцінювати ефективність підготовки пілотів навіть у випадках, коли інформація є відсутньою або неповною, що робить їх корисними для оцінювання ефективності підготовки пілотів. Використання представленої методики дозволить залучати до бойових завдань найбільш підготовлених пілотів, що в свою чергу дозволить підвищити ефективність виконання бойових завдань.

Список використаних джерел

1. О. М. Керницький, “Формування готовності курсантів льотних навчальних закладів до професійної діяльності”, *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*. Вип. 41 (94), С. 155–162, 2015.
2. Р. В. Невзоров, Досвід виконання бойових завдань авіаційними підрозділами у сучасних збройних конфліктах: методичні рекомендації, за заг. ред. А. М. Алімпієва. Харків, Україна: ХУПС, 2014.
3. С. М. Чернявська, О. П. Хохліна, “Професійна готовність до діяльності як умова професійної самореалізації студентів-пілотів цивільної авіації. Moderní aspekty vědy: XIV. Díl mezinárodní kolektivní monografie / Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2021. Т. 14. С. 287-306. <http://perspectives.pp.ua/public/site/>

monograph-14.pdf.

4. О. І. Москаленко, “Критерії, показники та рівні готовності авіаційних фахівців до виконання професійних дій”, *Вища школа*, № 5 (142). С. 118–124. 2016. [Онлайн]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VZhDU_2015_1_25

5. О. Задкова, “Теоретичні основи підготовки курсантів-пілотів до дій в особливих випадках польоту.” *Наукові записки Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка. Серія: Педагогічні науки*, № 120, С. 166-171. 2013. [Онлайн]. Доступно: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2013_120_27

6. О. М. Компанієць, М. В. Касаткін, Ю. В. Сікідра, “Методика управління ресурсами екіпажу літаків транспортної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України в особливих випадках у польоті”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. № 2 (51), С. 31-37, 2023. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.04>

7. О. Задкова, О. Бродова, “Комунікативні уміння як компонент вирішення проблемних ситуацій в структурі професійної готовності пілота”, *Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Volme 6*, P. 125-127, 2B/2018.

8. О. М. Кокур, О. В. Нічик, “Психофізіологічні аспекти професійного відбору фахівців для діяльності в особливих умовах”, *Проблеми екстремальної та кризової психології*, № 5, С. 67-78, 2008.

9. О. Г. Марченко, П. М. Онипченко, “Організаційно-педагогічні умови формування соціально-правової компетентності курсантів ВВНЗ авіаційного профілю”, *Перспективи та інновації науки*, № 15(33), С. 326-338, 2023. [Онлайн]. Доступно: DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15\(33\)-326-338](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15(33)-326-338)

10. Т. С. Плачинда, “Особливості організації освітнього середовища ЗВО авіаційного профілю”, *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, № 6 (90), С. 120-129, 2019.

11. Е. В. Лузік, “Системно-синергетичне діагностування готовності майбутніх фахівців авіаційної галузі до професійної діяльності” *Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology*, № 9, 2016, PP. 103-108.

12. L. A. Zadeh. Fuzzy sets, *Information and control*, № 8(3), 338-353, 1965.

13. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, *Applied fuzzy systems*, Academic Press, 2014.

14. Tanaka, Kazuo & Wang, Owen, *Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach*, 2002. [Онлайн]. Доступно: <https://doi.org/10.1002/0471224596.ch2>

15. D. K. Chaturvedi, *Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink (1st ed.)*, CRC Press, 2010. <https://doi.org/10.1201/9781315218335>.

16. Україна, Державна служба України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації. (2005, 17 серп.). Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації № 601, Про затвердження Правил сертифікації авіаційних навчальних закладів цивільної авіації з підготовки льотного складу в Україні. Дата звернення: 7 квітня 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-05#Text>

17. Україна, Державна авіаційна служба України. (2017, 20 лип.). Наказ Державної авіаційної служби України № 565, Про затвердження Авіаційних правил України “Технічні вимоги та адміністративні процедури

для льотних екіпажів цивільної авіації”. Дата звернення: 7 квітня 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-17>.

18. П. М. Онипченко, “Професійно-педагогічна підготовка льотно-інструкторського складу ВПС України у вищих навчальних військових закладах”, дис. канд. пед. наук, ЛНПУ ім. Тараса Шевченка, Луганськ, Україна, 2004.

19. А. В. Скрипець, О. Ю. Буров, В. В. Павлов, Інженерна психологія, ергономіка та людський чинник в авіації: Підручник, за заг. ред. проф. А. В. Скрипця. Київ, Україна: “НАУ-друк”, 2010.

20. А. В. Скрипець, Основи авіаційної інженерної психології. Київ, Україна: НАУ, 2002.

21. Ю. Бершадська, “Сучасні тенденції професійної підготовки авіаційного персоналу цивільної авіації в

провідних країнах світу”, Krakowskie Studia Małopolskie. № 2 (34), P. 134-151, 2022.

22. Fuzzy Logic Projects with Matlab. In: Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-35781-0_9

23. Sivanandam, SN., Sumathi, S., Deepa, S. N, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.

24. Ross, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. JohnWiley&Sons, 2009.

25. Raudenbush, Stephen W., and Anthony S. Bryk. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Vol. 1. sage, 2002.

26. Х. В. Бурштинська, Аерофотографія : Підруч. для студ. вищ. закл. освіти. Львів, Україна: Львів. астрон-геодез. т-во, 1999.

¹**Yurii Sheviakov** (Doctor of Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-5322-6674>

²**Mykola Myroniuk** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0001-7164-2700>

²**Yurii Dziubenko** (PhD, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

²**Yaroslav Yaroshenko** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0001-6213-6905>

¹*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

²*The National Defence university of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF PILOT FLIGHT TRAINING BASED ON FUZZY INFERENCE ALGORITHMS

The study is aimed at applying fuzzy logic to evaluate the effectiveness of pilot training. The work uses a system of fuzzy inference using the Sugeno model, which allows you to make decisions in conditions of incomplete or missing information. The main parameters that affect the effectiveness of pilot training are the level of knowledge, experience, psychological state, as well as flight conditions.

During the research, a system with five input parameters and one output was developed. Input parameters include the level of knowledge of pilots, their experience, psychological state, as well as flight conditions. Each of these parameters is considered using triangular and trapezoidal membership functions.

For each pilot, specific values of these parameters were determined, after which, using a set of rules, the fuzzy inference system calculated his training efficiency. Using the weighted average method, the performance level was established for each pilot, which allowed for a comparative analysis of their training.

The obtained results showed that the level of knowledge and experience of pilots have the greatest influence on their training effectiveness. It was also found that the psychological state and flight conditions also significantly affect this indicator, although to a lesser extent.

In general, the results of the study indicate that the application of fuzzy logic is an effective method for evaluating the effectiveness of pilot training, as it allows taking into account both quantitative and qualitative parameters.

Keywords: flight training, fuzzy logic, fuzzy inference efficiency.

References

1. O. M. Kernycjkyj, “Formuvannja ghotovnosti kursantiv ljetnykh navchalnykh zakladiv do profesijnoi dijialnosti”, Pedagoghika formuvannja tvorchoji osobystosti u vyshhij i zaghaljnoosvitnij shkolakh. Vyp. 41 (94), S. 155–162, 2015.

2. R. V. Nevzorov, Dosvid vykonannja bojovykh zavdanj aviacijnymu pidrozdilamy u suchasnykh zbrojnykh konfliktakh: metodychni rekomendaciji, za zagh. red. A. M. Alimpijeva. Kharkiv, Ukraїna: KhUPS, 2014.

3. S. M. Chernjavsijka, O. P. Khokhlina, “Profesijna ghotovnistj do dijialnosti jak umova profesijnoi samorealizaciji studentiv-pilotiv cyviljnoji aviaciji. Moderni aspekty vedy: XIV. Dil mezinarodni kolektivni monografije /

Mezinarodni Ekonomicky Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinarodni Ekonomicky Institut s.r.o., 2021. T. 14. C. 287 - 306. <http://perspectives.pp.ua/public/site/mono/monography-14.pdf>.

4. O. I. Moskalenko, “Kryteriji, pokaznyky ta rivni ghotovnosti aviacijnykh fakhivciv do vykonannja profesijnykh dij”, Vyshha shkola, # 5 (142). S. 118–124. 2016. [Onlajn]. Dostupno: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VZhDU_2015_1_25

5. O. Zadkova, “Teoretychni osnovy pidghotovky kursantiv-pilotiv do dij v osoblyvykh vypadkakh poljotu.” Naukovi zapysky Kirovohradsjkogho derzhavnogho pedagoghichnogho universytetu imeni Volodymyra

- Vynnychenka. Serija: Pedagogichni nauky, # 120, S. 166-171. 2013. [Onlajn]. Dostupno: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2013_120_27
6. O. M. Kompanijecj, M. V. Kasatkin, Ju. V. Sikirda, "Metodyka upravlinnja resursamy ekipazhu litakiv transportnoji aviaciji Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy v osoblyvykh vypadkakh u poljoti", Nauka i tekhnika Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. # 2 (51), S. 31-37, 2023. [Onlajn]. Dostupno: <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.04>.
7. O. Zadkova, O. Brodova, "Komunikatyvni uminnja jak komponent vyrishennja problemnykh situacij v strukturі profesijnoji ghotovnosti pilota", Scientific Letters of Academic Society of Michal Baludansky, Volme 6, P. 125-127, 2B/2018.
8. O. M. Kokun, O. V. Nychyk, "Psykhofiziologichni aspekty profesijnogho vidboru fakhivciv dlja dijalnosti v osoblyvykh umovakh", Problemy ekstremalnoji ta kryzovoji psykhologhiji, # 5, S. 67-78, 2008.
9. O. Gh. Marchenko, P.M. Onypchenko, "Orghanizacijno-pedagoghichni umovy formuvannja socialjno-pravovoji kompetentnosti kursantiv VVNZ aviacijnogho profilju", Perspektyvy ta innovaciji nauky, # 15(33), S. 326-338, 2023. [Onlajn]. Dostupno: DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15\(33\)-326-338](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2023-15(33)-326-338).
10. T. S. Plachynda, "Osoblyvosti orghanizacijni osvıtnjogho seredovyshha ZVO aviacijnogho profilju", Pedagoghichni nauky: teoriji, istorija, innovacijni tekhnologhiji, # 6 (90), S. 120-129, 2019.
11. E. V. Luzik, "Systemno-synerghetychne diagnostuvannja ghotovnosti majbutnikh fakhivciv aviacijnoji ghaluzi do profesijnoji dijalnosti" Proceedings of the National Aviation University. Series: Pedagogy, Psychology, # 9, 2016, PP. 103-108.
12. L. A. Zadeh. Fuzzy sets, Information and control, № 8(3), 338-353, 1965.
13. T. Terano, K. Asai, M. Sugeno, Applied fuzzy systems, Academic Press, 2014.
- [14] Tanaka, Kazuo & Wang, Owen, Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach, 2002. [Onlajn]. Dostupno: <https://doi.org/10.1002/0471224596.ch2>.
15. D. K. Chaturvedi, Modeling and Simulation of Systems Using MATLAB and Simulink (1st ed.), CRC Press, 2010. <https://doi.org/10.1201/9781315218335>
16. Ukraina, Derzhavna sluzhba Ukrainy z naghljadu za zabezpechennjam bezpeky aviaciji. (2005, 17 serp.). Nakaz Derzhavnoji sluzhby Ukrainy z naghljadu za zabezpechennjam bezpeky aviaciji # 601, Pro zatverdzhennja Pravyl sertyfikaciji aviacijnykh navchalnykh zakladiv cyvilnoji aviaciji z pidghotovky ljotnogho skladu v Ukraini. Data zvernennja: 7 kvitnja 2024. [Onlajn]. Dostupno: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0981-05#Text>.
17. Ukraina, Derzhavna aviacijna sluzhba Ukrainy. (2017, 20 lyp.). Nakaz Derzhavnoji aviacijnoji sluzhby Ukrainy # 565, Pro zatverdzhennja Aviacijnykh pravyl Ukrainy "Tekhnichni vymoghy ta administratyvni procedury dlja ljotnykh ekipazhiv cyvilnoji aviaciji". Data zvernennja: 7 kvitnja 2024. [Onlajn]. Dostupno: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-17>.
18. P. M. Onypchenko, "Profesijno-pedagoghichna pidghotovka ljotno-instruktorsjkogho skladu VPS Ukrainy u vyshhykh navchalnykh vijsjkovykh zakladakh", dys. kand. ped. nauk, LNU im. Tarasa Shevchenka, Lughansjk, Ukraina, 2004.
19. A. V. Skrypecj, O. Ju. Burov, V. V. Pavlov, Inzhenerna psykhologhija, erghonomika ta ljudsjkyj chynnyk v aviaciji: Pidruchnyk, za zagh. red. prof. A. V. Skrypcja. Kyjiv, Ukraina: "NAU-druk", 2010.
20. A. V. Skrypecj, Osnovy aviacijnoji inzhenernoji psykhologhiji. Kyjiv, Ukraina: NAU, 2002.
21. Ju. Bershadsjka, "Suchasni tendenciji profesijnoji pidghotovky aviacijnogho personalu cyvilnoji aviaciji v providnykh krajynakh svitu", Krakowskie Studia Malopolskie. # 2 (34), P. 134-151, 2022.
23. Sivanandam, SN., Sumathi, S., Deepa, S. N, Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB.
24. Ross, Timothy J. Fuzzy logic with engineering applications. JohnWiley&Sons, 2009.
25. Raudenbush, Stephen W., and Anthony S. Bryk. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. Vol. 1. sage, 2002.
26. Kh. V. Burshtynsjka, Aerofotografija : Pidruch. dlja stud. vyshh. zakl. osvity. Ljviv, Ukraina: Ljviv. astron-gheodez. t-vo, 1999.

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

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-36-42

УДК 623.486

Медведєв Володимир Костянтинівич (кандидат військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0001-5187-4435>

Дроник Андрій Миколайович

<https://orcid.org/0009-0000-8852-1879>

Присяжнюк Віталій Юрійович

<https://orcid.org/0009-0006-1096-1763>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНОГО КОМАНДУВАННЯ

У статті розглянуто удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування. Функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління для забезпечення підвищення ефективності процесу управління підпорядкованими військовими частинами структурно за функціональними ознаками представлено у вигляді ряду підсистем, кожна з яких виконує визначені функціональні завдання. Наведена удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління на відміну від відомих дозволяє здійснювати оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління за підсистемами; враховує виконання покладених на неї завдань як на оперативному так і на тактичному рівнях; враховує важливість й відповідну вагу показників в ході оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління та підсистем, що її утворюють. Розроблена методика може стати основою дослідження ефективності функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування та бути інструментом для надання обґрунтованих рекомендацій щодо покращення як її складових підсистем, так і системи загалом.

Ключові слова: методика, оцінювання, ефективність, технічне забезпечення, зв'язок, радіотехнічне забезпечення та автоматизація управління.

Вступ

Успішне вирішення завдань покладених на повітряне командування залежить від багатьох факторів. Оперативно-тактичні фактори, які були розглянуто в попередніх дослідженнях [1] обумовлюють необхідність впровадження організаційних та технічних заходів щодо підвищення ефективності функціонування системи технічного забезпечення (ТхЗ) зв'язку, радіотехнічного забезпечення (РТЗ) та автоматизації управління (АУ) повітряного командування (ПвК). Зазначені завдання вирішуються роботою посадових осіб органів військового управління та підпорядкованих військових частин (підрозділів). Одним із основних завдань, що виконується є

технічне забезпечення системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління.

Актуальність теми обраного дослідження обумовлена необхідністю науково-обґрунтованого підходу до організації системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ в повітряному командуванні (ПвК) оперативного угруповання військ (сил) (ОУВ), оскільки згідно проведеного аналізу наявні проблеми технічного забезпечення, в основному, вирішуються за рахунок особистого досвіду командирів та начальників різних рівнів управління [2].

Сучасні виклики вимагають реалізації методики оцінювання ефективності системи ТхЗ системи зв'язку, РТЗ та АУ ПвК, оскільки від ефективності її

функціонування залежить і якість управління та успішність виконання бойових завдань покладених на повітряне командування.

Розвиток ОВТ на сучасному етапі призвів до зміни форм і способів застосування військ (сил). Але ці зміни призводять до зміни збільшення виконання завдань підрозділами забезпечення, тобто потреби в підвищенні виробничих можливостей підрозділів забезпечення, які відновлюють ОВТ з експлуатаційними або бойовими пошкодженнями [3, 4].

Система ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ згідно з діючою нормативно-правовою базою оцінюється за методом оцінювання технічного стану техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС на основі комплексної оцінки. Цей метод враховує різні аспекти, такі як готовність до використання, справність, догляд і зберігання, якість обслуговування та ремонту, результати перевірок, недоліки та інциденти. Загальна оцінка визначається як середнє арифметичне значення усіх оцінок, але не може перевищувати оцінку, встановлену за найнижчим показником серед усіх компонентів.

Діючий метод оцінювання системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на основі комплексної оцінки передбачає вирішення проблеми складності об'єктивного визначення параметрів. Оскільки параметри, такі як якість обслуговування або ступінь справності, можуть бути неоднозначними та не мати чітко визначених метрик, їх визначення може стати складним завданням. Крім того, даний метод має деякі недоліки [5]. Він довготривалий та не завжди об'єктивний для ведення бойових дій, оскільки не завжди враховує з плином часу динамічні зміни в стані ОУВ та відповідно системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ [6]. Оцінка здійснюється в певний момент часу і не враховує попередніх та майбутніх змін.

Оцінка методом нормалізації (стандартизації) [7, 8] може допомогти у вирішенні деяких зазначених проблем. Цей метод дозволяє порівнювати та оцінювати різні аспекти системи на одному шкальному інтервалі, що може спростити процес оцінки та зробити його більш об'єктивним. Також, він дозволяє враховувати динамічні зміни у стані системи з плином часу, оскільки оцінка проводиться на основі стандартизованих показників, які можуть бути оновлені та адаптовані до змінних умов.

Ефективність можна виміряти у багатьох контекстах [9], залежно від того, що саме хоче оцінити дослідник. Наприклад, у бізнесі ефективність можна виміряти за допомогою різних показників, таких як прибуток, рівень задоволеності клієнтів, час виконання завдань тощо. У соціальних науках або управлінні можуть використовуватися інші метрики, такі як ефективність програм або стратегій. Підсумовуючи зазначене, ефективність можна виміряти через будь-які засоби, що відображають досягнення поставлених цілей або результатів у порівнянні з ресурсами, витраченими

на досягнення цих результатів.

У багатьох випадках ефективність може бути виміряна на шкалі від 0 до 1, де 0 представляє повну невдачу або нульовий результат, а 1 вказує на ідеальну або максимальну ефективність. Цей підхід часто використовується в аналізі даних, в управлінні проектами, в оцінці ризиків тощо. Це дозволяє кількісно оцінити, наскільки успішно досягнуті поставлені цілі або виконані завдання порівняно з очікуваними результатами. Чим ближче значення до 1, тим ефективніше виконання.

В даній науковій роботі пропонується використовувати критерій допустимого значення (threshold criterion) для визначення ефективності на шкалі від 0 до 1. Цей критерій встановлює певне значення, яке вважається прийнятним або допустимим для визначення того, чи було досягнуто мету чи завдання. Наприклад, якщо ви маєте деяку ціль, яку ви хочете досягти, ви можете встановити критерій допустимого значення на рівні, скажімо, 0.8. Це означає, що якщо ваша ефективність вище 0.8, ви вважаєте, що досягнули мету або завдання достатньо ефективно. В іншому випадку, якщо ефективність нижче 0.8, це може вказувати на те, що потрібно прийняти додаткові заходи для досягнення бажаного рівня успішності. Отже, критерій допустимого значення може бути корисним інструментом для оцінки ефективності на шкалі від 0 до 1, допомагаючи визначити, коли результат вважається задовільним або незадовільним з точки зору поставлених цілей чи стандартів.

Враховуючи зазначене, науковим завданням є удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК в оборонній операції ОУВ. Зазначена методика повинна стати інструментом для даної системи, який дозволить легко виявляти наявні в ній загрози. У разі їх виявлення можливе негайне реагування, виконання дій необхідних для приведення її до якісного (допустимого) стану посадовими особами на всіх ланках управління.

Метою статті є удосконалення методики оцінювання ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу, синтезу та теорії систем масового обслуговування.

Результати

Функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК спрямоване на забезпечення ефективного управління підпорядкованими військовими частинами та підрозділами зв'язку, РТЗ та АУ.

Систему ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ, застосовуючи принцип декомпозиції, можливо структурно за функціональними ознаками представити у вигляді підсистем, кожна з яких виконує певні функціональні завдання.

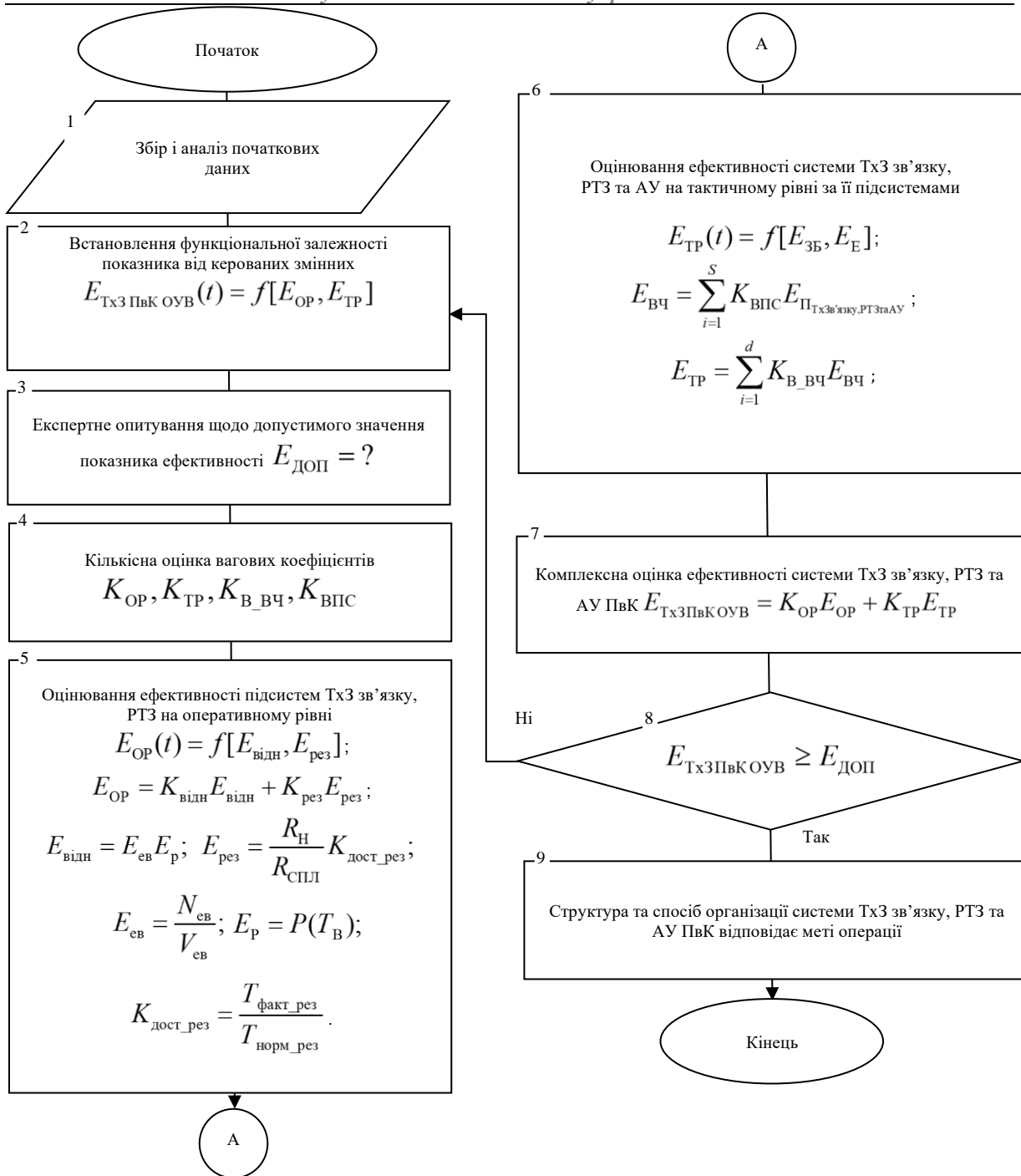


Рисунок 1. Блок-схема методики оцінювання ефективності функціонування системи Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ ПвК

За функціональними ознаками підсистеми, що утворюють систему Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ, мають вагові значення, тобто мають різний вплив на виконання загального процесу зазначеної системи. Крім того, система Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ функціонує на оперативному і тактичному рівнях ПвК, відповідно й ефективність їх функціонування буде визначатись відповідними складовими з двох частин, які будуть мати різну вагу впливу. Коефіцієнти вагомості даних складових доцільно визначити методом експертних оцінок у залежності від значимості кожного пріоритету. Зазначене описано наступним виразом:

$$E_{Тх3ПвК ОУВ} = K_{ОР} E_{ОР} + K_{ТР} E_{ТР} \quad (1)$$

де $E_{Тх3ПвК ОУВ}$ – ефективність функціонування системи Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ ПвК;

$E_{ОР}$ – ефективність функціонування системи Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні;

$K_{ОР}$ – коефіцієнт вагомості системи Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ оперативного рівня;

$E_{ТР}$ – ефективність функціонування системи Тх3 зв'язку, РТЗ та АУ на тактичному рівні;

$K_{ТР}$ – коефіцієнт вагомості системи Тх3

зв'язку, РТЗ та АУ тактичного рівня.

Ефективність функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК повинна бути не меншою ефективності допустимого рівня ($E_{\text{доп}}$), мінімальне значення показника якого визначається методом експертного опитування. Зазначене повинне відповідати наступній умові:

$$E_{\text{ТхЗПвК ОУВ}} \geq E_{\text{доп}} \quad (2)$$

де мінімально-допустиме значення показника ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК визначене методом експертного опитування.

При невідповідності умови (2) функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК не допускається до виконання завдань в операції ОУВ до покращення її показника ($E_{\text{ТхЗПвК ОУВ}}$) шляхом постачання зразків озброєння та військової техніки, наповнення резервів [10,11], заміни застарілих зразків озброєння та тих що вичерпали свій ресурс, врахування відповідності вагомості поставлених завдань підпорядкованим частинам та підрозділам у відповідності до оперативної побудови оборони та визначених методом експертних оцінок коефіцієнтів вагомості викладених у даній роботі, що буде змінювати її часткові показники, а відповідно і ефективність системи. Ефективність функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК ($E_{\text{доп}}$) повинна бути не меншою допустимого мінімально-необхідного рівня також встановленою експертною комісією.

Блок-схема методики оцінювання ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК в ході виконання завдань має такий вигляд (рис. 1).

До завдань, що вирішуються на оперативному рівні ПвК ОУВ за відсутності ремонтних органів в підпорядкованих частинах можна віднести: відновлення техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС та створення необхідного резерву. Вагові коефіцієнти вагомості пріоритетів визначають методом експертних оцінок залежно від значимості кожного пріоритету, а їх сума дорівнює одиниці.

$$E_{\text{ОР}} = K_{\text{відн}} E_{\text{відн}} + K_{\text{рез}} E_{\text{рез}} \quad (3)$$

де $E_{\text{відн}}$ – ефективність функціонування підсистеми відновлення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні;

$K_{\text{відн}}$ – коефіцієнт вагомості підсистеми відновлення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні;

$E_{\text{рез}}$ – ефективність функціонування підсистеми забезпечення щодо створення резерву системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні;

$K_{\text{рез}}$ – коефіцієнт вагомості підсистеми забезпечення щодо створення резерву системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні.

До завдань, що вирішуються при відновленні техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС пропонується віднести:

технічну розвідку, евакуацію та ремонт [3]. За умови, якщо невиконання кожного із заходів технічної розвідки, евакуації та відновлення, призводить до зриву виконання завдання в цілому, тому їх взаємозв'язок будемо здійснювати множенням. Враховуючи зазначене ефективність функціонування підсистеми відновлення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному рівні можна представити виразом:

$$E_{\text{відн}} = E_{\text{ев}} E_{\text{р}} \quad (4)$$

Ефективність евакуації техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС ($E_{\text{ев}}$) можливо оцінювати за допомогою коефіцієнта, який характеризує ступінь освоєння евакуаційного фонду в ході операції (кількість евакуйованих зразків техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС):

$$E_{\text{ев}} = \frac{N_{\text{ев}}}{V_{\text{ев}}} \quad (5)$$

де $N_{\text{ев}}$ – кількість фактично евакуйованих зразків техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС з об'єму евакуаційного фонду, од.;

$V_{\text{ев}}$ – загальна кількість зразків техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС виявлених технічною розвідкою, що необхідно евакуувати, од.

Визначальною умовою функціонування системи відновлення техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС є постійна підтримка справності засобів на рівні, що забезпечує здатність виконувати завдання за призначенням.

Відповідність системи відновлення техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС поставленим завданням може бути вирішено тільки за умови достатності сил і засобів технічного забезпечення, які застосовуються за єдиним замислом і планом. Під достатністю варто розуміти ту мінімальну межу, при якій досягається виконання поставлених завдань тільки в умовах максимального використання своїх можливостей у конкретній обстановці. За фізичною суттю достатність – це відношення наявних можливостей системи до потрібних.

Для досягнення поставленої мети обраний метод теорії систем масового обслуговування (СМО). Даний метод дозволяє здійснювати завдання в СМО різних законів розподілу вхідного потоку заявок і часу обслуговування, облік фізичної сутності процесів, які моделюються та створення адекватної моделі. В даному дослідженні використана модель багатоканальної СМО з відмовами [12].

Під час оцінювання ефективності функціонування підсистеми відновлення на оперативному рівні існуючої системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ за допомогою вдосконаленої методики були проведені розрахунки ефективності підсистеми ремонту та підсистеми евакуації. Виявлено, що ефективність функціонування підсистеми відновлення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ в цілому залежить від середнього часу поступання заявок на ремонт, яке обумовлене інтенсивністю бойових дій, а при збільшенні інтенсивності вогневого ураження противника рекомендується збільшити кількість каналів обслуговування, наприклад, шляхом введення додаткової ремонтної

бригади. Цей показник також тісно пов'язаний із здатністю системи здійснити евакуацію пошкоджених засобів зв'язку, РТЗ, А та ІС у зв'язку з вогневим впливом противника.

Аналізуючи наведені дані, зміст яких зображено на рис. 2, можна зробити висновок, що необхідно утримувати резерв сил та засобів, які будуть

додатково залучені для відновлення техніки зв'язку, РТЗ, А та ІС із зростанням інтенсивності бойових дій [9, 10]. Без вжиття відповідних заходів ефективність функціонування підсистеми ремонту системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ буде знижуватись до критичного значення, і в найгіршому варіанті буде неспроможна виконати завдання за призначенням.

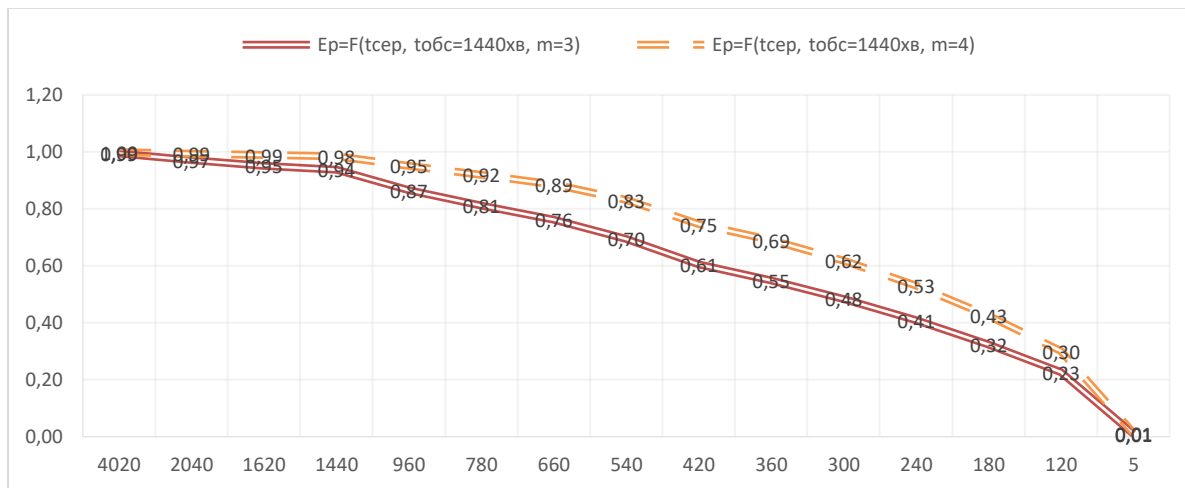


Рисунок 2. Ефективність функціонування підсистеми ремонту системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ в залежності від середнього часу надходження заявок на ремонт

Систематичне ведення статистики заявок на ремонт та їх виконання для аналізу обсягів робіт та визначення оптимального рівня ефективності функціонування підсистеми ремонту системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ, вчасне виявлення нестачі ремонтних ресурсів та швидке реагування на зміни в обстановці, шляхом розширення кількості ремонтних бригад, надасть змогу керівництву прийняти рішення про необхідність введення вчасних додаткових резервів в підсистему відновлення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ [13].

Обговорення

Наведена методика дозволяє визначити ефективність функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК на оперативному та тактичному рівнях.

На оперативному рівні оцінювання застосовуючи принцип декомпозиції за функціональними ознаками у вигляді ряду частин та підсистем врахованих у методиці, кожна з яких відображає ефективність вирішення завдань технічного забезпечення враховуючи їх вагомості відповідно до оперативної побудови, здатності ефективного функціонування підсистеми відновлення в інтересах підпорядкованих частин та наявного резерву за часом його доступності.

Крім того, за рахунок порівняння відповідності ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ до допустимого мінімально необхідного рівня отримуємо механізм допуску/заборони до виконання завдань угруповання військ в операції ще на етапі планування [14].

На тактичному рівні оцінювання наведена методика дозволяє визначити ефективність функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК в оборонній операції ОУВ в цілому та окремо у

кожній військовій частині застосовуючи метод декомпозиції за функціональними ознаками. Методика враховує забезпеченість технікою зв'язку, РТЗ, А та ІС, якісний технічний стан й рівень організації експлуатації, а також її доступність за часом в ході операції (період оцінювання).

У запропонованій методиці передбачена можливість врахування вагомості часткових показників відповідно до важливості виконання завдань та топології побудови угруповання військ, що дозволяє у разі зміни обстановки з часом їх змінювати.

Отримано механізм для вдосконалення системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ на оперативному та тактичному рівнях шляхом покращення її часткових показників.

Висновки

Таким чином, наведена удосконалена методика оцінювання ефективності функціонування системи технічного забезпечення системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування на відміну від відомих:

дозволяє здійснювати оцінювання ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ за підсистемами;

враховує виконання покладених на неї завдань як на оперативному так і на тактичному рівнях;

враховує важливість показників ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ та підсистем, що її утворюють.

Розроблена методика може стати основою дослідження ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ повітряного командування та бути інструментом для надання обґрунтованих рекомендацій щодо покращення її як складових

підсистем, так і системи загалом.

Напрямом подальших досліджень слід вважати обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності функціонування системи ТхЗ зв'язку, РТЗ та АУ ПвК в ОУВ.

Список використаних джерел

1. В.К. Медведєв, А.М. Дроник, Є.А. Юфа, Д.Р. Кондрацов “Фактори впливу на ефективність функціонування системи технічного забезпечення зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління повітряного командування в операції оперативного угруповання військ (сил)”, Повітряна міць України, № 2 (5), 2023, DOI 10.33099/2786-7714-2023-2-5-69-73.
2. Д.О. Люлін, О.В. Михайлов, І.Н. Кайдаш “Удосконалення системи технічного забезпечення засобів зв'язку і автоматизації”, Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ КПІ. – 2011. № 2, С. 68-75.
3. В.В. Старцев, О.П. Мусієнко, О.М. Гурін, В.В. Просяник, Коломійцев О.В. “Методики оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки Повітряних Сил Збройних Сил України”, Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022, No2(12) DOI: 10.37701/dndivsovt.12.2021.14.
4. І. Овчаренко; А. Звонко; А. Ткаченко; О. Ярошенко “Аналіз функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки”, Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”, Vol. 11, No. 4, – 2021, DOI: 10.33445/sds.2021.11.4.16.
5. В. Дачковський “Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки”, Military cybernetics and system analysis, DOI:10.33099/2311-7249/2020-37-1-5-14.
6. Н.С. Гришина, О.А. Білий, Т.В. Побережець, А.О. Новак, В.О. Ткач “Оптимізація системи технічного забезпечення військ зв'язку Збройних Сил України за досвідом проведення бойових дій”, Молодий вчений. 2018. № 12(64). С. 563-565. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2018-12-64-128>.
7. І.І. Д'яконова, Д.В. Шиян, “Методика оцінки ефективності фінансового моніторингу”, УДК 336.71.078.3, Вісник Української академії банківської справи № 1(34) 2013 р.
8. С.Валерій, П.Андрій, Т.Василь, Є.Власенко “Методика розрахунку матеріальних резервів як інструмент механізму державного управління силами цивільного захисту”, Науковий вісник: Державне управління № 4(6)2020, [https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4\(6\)-122-142](https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4(6)-122-142).
9. Р.К. Мурашов, Я.В. Мельник, В.П. Марко “Порівняння існуючих методик оцінювання загроз і ризиків для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні ведення бойових дій цілями”, Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони № 3(45)/2022, ISSN 2311-7249.
10. М.О. Єрмошин, О.В. Кулешов, А.М. Гордієнко, С.І. Клівець “Методичний підхід щодо оцінки втрат озброєння і військової техніки частинами та підрозділами протиповітряної оборони угруповання військ (сил)”, DOI: 10.30748/soivt.2020.61.18.
11. Д.М. Запара, М.Б. Бровко, В.В. Старцев, Р.Ю. Кушпета, М.В. Дудко “Впровадження процедури прогнозування пошкоджень ОБТ від впливу осколкової дії засобів ураження в перспективну АСУ матеріально-технічним забезпеченням”, Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 4(58). – С. 50-56, DOI: 10.30748/soivt.2020.61.18.
12. А.Г. Салій, В.В. Поліщук, В.П. Диптан, В.І. Іванов. “Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення”, Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2017. - № 3. - С. 162-165, DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-162-165>.
13. В. Коцюруба; С. Ганненко “Методика оцінювання ефективності функціонування системи підтримки аварійно-відновлювальних робіт, пов'язаних з надзвичайними ситуаціями воєнного характеру”, Scial Development and Security, Vol. 10, No. 5, – 2020, DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.10.
14. Ю. Репіло, О. Іщенко “Методика оцінювання відповідності можливостей безпілотних авіаційних комплексів щодо повітряної розвідки в інтересах виконання вогневих завдань артилерією у збройних конфліктах”, Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби УКРАЇНИ, УДК 355.422:358.1, № 3(88) 2022, с. 125.

Volodymyr Medvediev (PhD, professor)

<https://orcid.org/0000-0001-5187-4435>

Andrii Dronyk

<https://orcid.org/0009-0000-8852-1879>

Vitalii Prysiazhniuk

<https://orcid.org/0009-0006-1096-1763>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE EFFECTIVENESS ASSESSING METHOD OF COMMUNICATION SYSTEM TECHNICAL SUPPORT, RADIO-TECHNICAL SUPPORT, AND AUTOMATION OF AIR COMMAND MANAGEMENT IN DEFENSIVE OPERATIONS OF A RAPID RESPONSE MILITARY FORCE (TROOPS)

The purpose of the article is to improve the methodology for evaluating the effectiveness of the functioning of the communication system, radio-technical support, and automation management of the air command. Scientific methods of analysis, synthesis, and queuing theory were utilized in the work. The functioning of the communication system, radio-technical support, and automation management system to enhance the effectiveness of the process of managing subordinate military units structurally by functional characteristics is presented in the form of a series of subsystems, each of which performs specific functional tasks. The proposed improved methodology for evaluating the effectiveness of the functioning of the communication system, radio-

technical support, and automation management system, unlike the known ones, allows for the evaluation of the effectiveness of the functioning of the communication system, radio-technical support, and automation management system by subsystems; takes into account the performance of tasks assigned to it both at the operational and tactical levels; considers the importance and appropriate weight of indicators in evaluating the effectiveness of the functioning of the communication system, radio-technical support, and automation management system and its constituent subsystems.

The developed methodology can serve as the basis for researching the effectiveness of the functioning of the communication system, radio-technical support, and automation management of the air command and be a tool for providing reasoned recommendations for improving both its component subsystems and the system as a whole.

Keywords: *method, assessment, evaluation, effectiveness, technical support, communication, radio-technical support, and automation of management, operation.*

References

1. V.K. Medvediev, A.M. Dronyk, Ye.A. Yufa, D.R. Kondratsov “Faktory vplyvu na efektyvnist funktsionuvannia systemy tekhnichnoho zabezpechennia zviazku, radiotekhnichnoho zabezpechennia ta avtomatyzatsii upravlinnia povitrianoho komanduvannia v operatsii operatyvnoho uhrupovannia viisk (syl)”, *Povitriana mits Ukrainy*, № 2 (5), 2023, DOI 10.33099/2786-7714-2023-2-5-69-73.
2. D.O. Liulin, O.V. Mykhailov, I.N. Kaidash “Udoskonalennia systemy tekhnichnoho zabezpechennia zasobiv zv'iazku i avtomatyzatsii”, *Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU KPI*. – 2011. № 2, S. 68-75.
3. V.V. Startsev, O.P. Musiienko, O.M. Hurin, V.V. Prosiyan, Kolomiitsev O.V. “Metodyky otsiniuvannia efektyvnosti vidnovlennia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy”, *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo naukovogo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki*. 2022, No2(12) DOI: 10.37701/dndivsovt.12.2021.14.
4. I. Ovcharenko; A. Zvonko; A. Tkachenko; O. Yaroshenko “Analiz funktsionuvannia systemy vidnovlennia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki”, *Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”*, Vol. 11, No. 4, – 2021, DOI: 10.33445/sds.2021.11.4.16.
5. V. Dachkovskiy “Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia systemy vidnovlennia ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki”, *Military cybernetics and system analysis*, DOI:10.33099/2311-7249/2020-37-1-5-14.
6. N.S. Hryshyna, O.A. Bilyi, T.V. Poberezhets, A.O. Novak, V.O. Tkach “Optimizatsiia systemy tekhnichnoho zabezpechennia viisk zv'iazku Zbroinykh Syl Ukrainy za dosvidom provedennia boiovykh dii”, *Molodyi vchenyi*. 2018. № 12(64). С. 563-565. DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2018-12-64-128>.
7. D'iakonova, D.V. Shyian, “Metodyka otsinky efektyvnosti finansovoho monitorynhu”, *UDK 336.71.078.3, Visnyk Ukrainskoi akademii bankivskoi spravy* № 1(34) 2013 r.
8. Ye.Valerii, P.Andrii, T.Vasyl, Ye.Vlasenko “Metodyka rozrakhunku materialnykh rezerviv yak instrument mekhanizmu derzhavnogo upravlinnia sylamy tsyvilnoho zakhystu”, *Naukovyi visnyk: Derzhavne upravlinnia* № 4(6)2020, [https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4\(6\)-122-142](https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4(6)-122-142).
9. R.K. Murasov, Ya.V. Melnyk, V.P. Marko “Porivniannia isnuuichykh metodyk otsiniuvannia zahroz i ryzykiv dlia potentsiino-nebezpechnykh ob'iektiv krytychnoi infrastruktury v zoni vedennia boiovykh dii tsiliamy”, *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony* № 3(45)/2022, ISSN 2311-7249 (Print) / ISSN 2410-7336 (Online).
10. M.O. Yermoshyn, O.V. Kulieshov, A.M. Hordienko, S.I. Klivets “Metodychnyi pidkhid shchodo otsinky vtrat ozbroiennia i viiskovoi tekhniki chastynamy ta pidrozdilamy protypovitrianoi oborony uhrupovannia viisk (syl)”, DOI: 10.30748/soivt.2020.61.18.
11. D.M. Zapara, M.B. Brovko, V.V. Startsev, R.Yu. Kushpeta, M.V. Dudko “Vprovadzhennia protsedury prohozuvannia poshkodzen OVT vid vplyvu oskolkovoi dii zasobiv urazhennia v perspektyvnu ASU materialno-tekhnichnym zabezpechenniam”, *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*. – 2018. – № 4(58). – S. 50-56, DOI: 10.30748/soivt.2020.61.18.
12. A.H. Salii, V.V. Polishchuk, V.P. Dyptan, V.I Ivanov. “Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia systemy vidnovlennia avtomobilnoi i spetsialnoi tekhniki viiskovoho pryznachennia”, *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, 2017. - № 3. - S. 162-165, DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2017-30-3-162-165>.
13. V. Kotsiuruba; S. Hannenko “Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia systemy pidtrymky avariino-vidnovliuvalnykh robit, poviazanykh z nadzvychainymy sytuatsiiami voiennoho kharakteru”, *Scial Development and Security*, Vol. 10, No. 5, – 2020, DOI: 10.33445/sds.2020.10.5.10.
14. Yu. Repilo, O. Ishchenko “Metodyka otsiniuvannia vidpovidnosti mozhlyvostei bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv shchodo povitrianoi rozvidky v interesakh vykonannia vohnevnykh zavdan artyleriieiu u zbroinykh konfliktakh”, *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby UKRAINY*, UDK 355.422:358.1, № 3(88) 2022, s. 125.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-43-48

УДК 355.424.4

Глоба Олександр Володимирович (доктор філософії, старший викладач)
<https://orcid.org/0000-0002-1423-8365>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЇВ ОПТИМАЛЬНОСТІ ПІД ЧАС ОБҐРУНТУВАННЯ СПРОМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМИ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ПРИКРИТТЯ

Середовище функціонування системи зенітного ракетного прикриття характеризується, як правило, непередбачуваністю дій повітряного противника, що значно ускладнює процес прийняття рішення щодо вибору кращого варіанту системи. Це підтверджує актуальність додаткового вивчення придатності відомих критеріїв теорії прийняття рішень до обґрунтування спроможностей системи.

В статті розглядаються можливості щодо використання класичних критеріїв прийняття рішень (Вальда, Байєса-Лапласа, Севіджа) і одного похідного від них (критерію Гурвіца) для вибору кращого варіанту. Аналізується доцільність їх застосування щодо зенітного ракетного прикриття, вказуються на переваги застосування одних і складнощі при використанні інших. Фахівцям в галузі протиповітряної оборони також пропонується розглянути можливість усереднення або додавання рангових значень прийнятних до використання критеріїв з подальшим ранжуванням отриманих результатів.

Ключові слова: система протиповітряної оборони, система зенітного ракетного прикриття, спроможності, прийняття рішень, операція, угруповання військ.

Вступ

Однією із головних доктрин НАТО для планування об'єднаних операцій Альянсу [1] визначається, що командири повинні нарощувати здатність швидкого прийняття рішень, оскільки така здатність є необхідною умовою для здійснення успішного паралельного планування. З одного боку, це акцентує значимість розвитку систем підтримки прийняття рішень, а з іншого, говорить про необхідність аналізу вже наявного арсеналу теоретичних знань для забезпечення прийнятими рішеннями належного рівня обґрунтованості.

Успішне виконання бойових завдань системою зенітного ракетного прикриття також вимагає використання обґрунтованих підходів до створення такої системи, адже середовище її функціонування висуває безліч умов, які будуть впливати на остаточний результат. Спрямованість очікуваних результатів формується основним призначенням системи, а також тими особами (групою осіб), які залучаються до процесу її створення. Рішення про структуру приймаються з урахуванням існуючих доктринальних вимог [2-4] і вимог старшого начальника.

Обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття часто проводиться шляхом її оптимізації, що зводиться до пошуку математичних моделей функціонування системи, тобто, вирішенні прямої задачі дослідження операцій, а потім, пошуку таких її варіантів або альтернатив, які будуть відповідати екстремальним значенням цільових функцій спроможностей, тобто, зворотної задачі, як це зображено у [5]. По суті, це є типовими задачами теорії дослідження

операцій, які відносяться до добре структурованих та кількісно сформульованих [6].

У той же час, така структурована задача може містити елементи невизначеності. Вони пов'язані, у першу чергу, з невизначеністю дій повітряного противника, що полягає у відсутності достовірних прогнозів щодо кількості його сил і засобів, напрямків та порядку нанесення ударів. Тобто, частина інформації, яка необхідна для повного й однозначного визначення вимог до розв'язку, може бути принципово відсутньою. Це призводить до ускладнення побудови моделей, що адекватно описують функціонування системи та наближення задачі прийняття рішення до класу слабо структурованих задач.

Тому, є актуальним пошук методів і підходів вирішення задачі обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття, як слабо структурованої задачі прийняття рішень. Саме розгляду таких підходів присвячується стаття.

Матеріали та методи

Доволі часто існує бажання використати відомі формальні задачі та методи для розв'язання слабо структурованих проблем. Насправді, якщо такі дії не обґрунтовані, то це призведе не до розв'язання реальної проблеми, а до розв'язання тієї, яку вигадали для отримання можливості застосування вже відомої моделі і розв'язання відомої задачі, хоча вони можуть і не відобразити сутності реальної проблеми. Таким чином, зенітне ракетне прикриття як процес є структурованим доволі умовно і знаходиться буквально на межі структурованості, визначеності та невизначеності вихідних умов.

Теорія прийняття рішень, як і деякі інші дисципліни (системний аналіз, психологія тощо), призначена для розв'язання слабо структурованих задач. Такі задачі мають міждисциплінарний характер [7-11]. В статті відображені результати дослідження використання наступних функцій (критеріїв) корисності теорії прийняття рішень:

- мінімакний критерій, його ще називають критерій Вальда або ММ-критерій;
- критерій Байєса-Лапласа (BL-критерій);
- критерій Гурвіца (GW-критерій);
- критерій Севіджа (S-критерій).

Зазначені критерії часткового згадуються і в трудах сучасних військових дослідників [12-14]. Та новизною їх використання є перевірка придатності та адаптація до застосування в середовищі функціонування системи зенітного ракетного прикриття. Також, здійснюється спроба надання логічного змісту використання усередненого значення розглянутих критеріїв для його застосування під час досліджень процесів створення та функціонування системи зенітного ракетного прикриття. Така адаптація проводиться автором вперше, тому заздалегідь висловлюється подяка наданню корисних зауважень і коментарів.

Результати

Практичною цінністю від застосування теорії очікуваної корисності вважають наявність можливості формалізації процесу прийняття рішень в умовах ризику і невизначеності [6,8]. При цьому, деталізація передумов виникнення такої невизначеності в загальних положеннях теорії не проводиться. Якщо задачу прийняття рішень для системи вважати визначеною на множині альтернатив (варіантів рішень, аргументів) – X , множині наслідків – Y (відгуків, функцій) і множині станів – V (зовнішніх умов, неконтрольованих факторів), де множина V є проявом стохастичної невизначеності у прийнятті рішень, то, як правило, говорять про дві форми взаємного зв'язку множин X, V, Y . Це – екстенсивна й нормальна форми. Кожна з них відповідає своєму визначенню множини станів і своєму підходу до оцінки очікуваної корисності альтернатив.

В екстенсивній формі стан визначається як відображення альтернатив у наслідки $v: X \rightarrow Y$. У такій постановці множина станів природи в задачі не фігурує. А стохастичну невизначеність можна описати розподілом імовірностей на множині наслідків Y , що відповідають альтернативам із X . Переваги об'єкта прийняття рішень виражаються у вигляді функцій корисності $u(y)$, визначеній на множині наслідків Y . Очікувана корисність альтернативи x може бути оціненою деякою функцією корисності $B(x) = B(u(y), p(x, y))$, де $p(x, y)$ – розподіл імовірностей на множині наслідків Y , що відповідають альтернативі x . Оскільки кожній альтернативі однозначно відповідає свій розподіл імовірностей, то в такій постановці задачі можна говорити про вибір найкращого розподілу імовірностей.

Для задач прийняття рішень у нормальній формі альтернативи $x \in X$ визначаються як відображення станів у наслідки $x: V \rightarrow Y$ [8]. Тут множина станів V фігурує в задачі, а стохастична невизначеність описується за допомогою одного незалежного від альтернатив розподілу імовірностей на V і задається відповідною щільністю. Переваги об'єкта прийняття рішень, як і у попередньому випадку, задаються функціями корисності, але тепер вони будуються не на множині наслідків Y , а на множині $X \times V$, оскільки будь-який наслідок однозначно визначається парою $(x, v) \in X \times V$. Для задачі прийняття рішень у нормальній формі очікувана корисність альтернативи x може бути оціненою деякою функцією корисності (або функціоналом) – $B(x) = B(u(x, v), p(x))$.

За наявності погодженості, тобто, коли невизначеність викликана однаковими причинами, екстенсивна і нормальна форми задачі прийняття рішення вважаються еквівалентними з погляду очікуваної корисності розглянутих альтернатив.

Розглянемо послідовно деякі види функцій корисності (критеріїв) для нормальної форми задачі прийняття рішення, які найчастіше використовуються під час прийняття рішень.

Мінімакний критерій (ММ-критерій, критерій Вальда). Мінімакний критерій використовує функцію корисності альтернатив

$$E_{MM}(x) = \min_{v \in V} u(x, v), \quad (1)$$

що відповідає позиції крайньої обережності. Шукана альтернатива обирається за такої умови, що

$$x^* \in \text{Arg max}_{x \in X} E_{MM}(x) = \text{Arg max}_{x \in X} \min_{v \in V} u(x, v). \quad (2)$$

Обрані таким чином альтернативи повністю виключають ризик. Це означає, що які б стани природи $v \in V$ не реалізувалися, відповідний результат не може виявитися гіршим за $E_{MM}(x^*)$. Ця властивість робить мінімакний критерій одним із фундаментальних і найбільш придатним до застосування в практичних задачах.

Віобразимо приклад використання мінімакного критерію Вальда для випадку прийняття рішення щодо майбутньої системи зенітного ракетного прикриття. Нехай пропонуємо альтернативи x_1, x_2, x_3, x_4 відобразатимуть вплив досліджуємого фактору на загальний результат, а стани природи v_1, v_2, v_3 відповідають можливим варіантам дій противника. Тоді, результати застосування критерію Вальда відображені у табл. 1.

Таблиця 1

Використання критерію Вальда

	Результати			min	max	maxmin	maxmax	Ранг песс.	Ранг опт.
	v_1	v_2	v_3						
x_1	0,31	0,21	0,28	0,21	0,31			2	3
x_2	0,42	0,19	0,33	0,19	0,42		0,42	3	1
x_3	0,23	0,27	0,34	0,23	0,34	0,23		1	2
x_4	0,09	0,29	0,27	0,09	0,29			4	4

За допомогою таблиці можна зрозуміти порядок застосування критеріїв крайнього оптимізму і крайнього песимізму до наявних результатів функціонування системи.

Запропонований підхід дає підстави для вибору альтернативи x_3 , як тієї, що відповідає кращому результату при найгіршому розвитку подій. Альтернатива x_2 повинна бути обраною за умов найкращого розвитку подій для системи зенітного ракетного прикриття.

У той же час, відсутність ризику може привести до певних втрат. Продемонструємо це на прикладі. При рівноімовірних варіантах дій повітряного противника найкраще середнє значення отриманих результатів виявиться при реалізації другої альтернативи, а не першої, як це відображено у табл. 2.

Таблиця 2

Недосконалість критерію Вальда							
	Результати			Середнє значення	Ранг за середн.	Ранг песс.	Ранг опт.
	v_1	v_2	v_3				
x_1	0,31	0,21	0,28	0,27	3	2	3
x_2	0,42	0,19	0,33	0,31	1	3	1
x_3	0,23	0,27	0,34	0,28	2	1	2
x_4	0,09	0,29	0,27	0,21	4	4	4

Якщо ж імовірності виявлення станів будуть неоднакові, то втрати явних переваг іншої альтернативи можуть виявитися ще більшими.

Запропонованим прикладом ми підтверджуємо думку про те, що песимізм мінімаксного критерію не завжди виявляється вигідним [6]. Застосування мінімаксного критерію буде більш доцільним, коли прийняттю рішення відповідають наступні умови:

імовірності виникнення зовнішніх станів невідомі;

потрібно рахуватися з появою різних зовнішніх станів природи $v \in V$;

рішення реалізується лише раз;

необхідно виключити будь-який ризик, тобто за жодних умов $v \in V$ не допускається отримання результату, меншого за $E_{MM}(x^*)$.

Критерій Байєса-Лапласа (BL-критерій). На відміну від мінімаксного критерію, цей критерій враховує кожен із можливих наслідків альтернативи. Якщо $p(v)$ вважати імовірністю появи стану $v \in V$, то для критерію Байєса-Лапласа корисність кожної альтернативи можна охарактеризувати математичним очікуванням корисностей її наслідків, тобто

$$E_{BL}(x) = \int p(v)u(x,v)dv, \quad (3)$$

при $v \in V$. Тоді, потрібну нам альтернативу можна обирати як

$$x^* \in \text{Arg max}_{x \in X} E_{BL}(x) = \text{Arg max}_{x \in X} \int p(v)u(x,v)dv, \quad (4)$$

при $v \in V$. При цьому, рішення приймається за наступних обставин:

імовірності появи станів відомі об'єкту, що приймає рішення і не залежать від часу;

теоретично рішення може реалізуватися нескінченну кількість разів;

для малого числа реалізацій рішення допускається деякий ризик.

При досить великій кількості реалізацій середнє значення корисностей альтернативи x наближається до математичного сподівання корисностей її наслідків. Тому при нескінченній реалізації будь-який ризик виключається. Критерій Байєса-Лапласа є більш оптимістичнішим, ніж критерій Вальда, однак він вимагає вищого рівня інформованості й досить тривалої реалізації. Це піддає сумніву доцільність його використання під час обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття, що створюється.

Варто також зазначити, що імовірності набуття визначених станів природи (варіантів дій повітряного противника) до створення системи є невідомими, а рішення реалізується лише один раз під час ведення реального протиповітряного бою. Це не відповідає прийнятним умовам застосування критерію Байєса-Лапласа при вирішенні задачі вибору потрібної альтернативи.

Критерій Гурвіца (GW-критерій). При виборі рішення пан Л. Гурвіц рекомендує керуватися деяким середнім результатом, що характеризує стан між крайнім песимізмом і нестримним оптимізмом, тобто критерій пропонує до реалізації альтернативу з максимальним середнім результатом. Тут є важливим те, що при всьому цьому діє припущення про рівноімовірність станів середовища. За критерієм Гурвіца корисність кожної альтернативи характеризується величиною

$$E_{GW}(x) = \alpha \max_{v \in V} u(x,v) + (1-\alpha) \min_{v \in V} u(x,v), \quad (5)$$

де $\alpha \in [0,1]$ – ваговий коефіцієнт, що характеризує схильність об'єкту, який приймає рішення до ризику. При цьому, рішення приймається за умови:

$$x^* \in \text{Arg max}_{x \in X} E_{GW}(x) = \text{Arg max}_{x \in X} (\alpha \max_{v \in V} u(x,v) + (1-\alpha) \min_{v \in V} u(x,v)). \quad (6)$$

Цілком очевидно, що при $\alpha=0$ критерій Гурвіца перетворюється в критерій Вальда, а для $\alpha=1$ він перетворюється у критерій $\max\max$. Під час обґрунтування рішень щодо кращої системи зенітного ракетного прикриття обирати значення коефіцієнту α може бути так само важко, як при правильному виборі самого критерію. Навряд чи можливо знайти кількісну характеристику для тих часток оптимізму й песимізму, що присутні під час прийняття рішення. Тому дуже часто обирають $\alpha=0,5$ (щось нахшталт “середньої” точки зору).

В теорії прийняття рішень для вирішення практичних задач коефіцієнт α інколи пропонують обирати для обґрунтування вже прийнятого рішення. Для рішення, що “сподобалося”, обчислюється потрібний ваговий коефіцієнт α , а потім він інтерпретується як доцільний показник співвідношення оптимізму та песимізму. Таким чином, рішення, які приймаються, можна

обґрунтувати заднім числом. Варто прокоментувати, що це є доволі сумнівною практикою і такий підхід не слід розглядати під час вибору найкращого рішення для варіантів бойового застосування угруповання зенітних ракетних військ.

Приклад застосування критерію Гурвіца для відомих нам раніше результатів функціонування системи наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Використання критерію Гурвіца (для $\alpha=0,5$)

	Результати			min	max	$\alpha \cdot \max$	$(1-\alpha) \cdot \min$	$\max_0 \text{GW}$	Ранг
	v_1	v_2	v_3						
x_1	0,31	0,21	0,28	0,21	0,31	0,15	0,1	0,25	3
x_2	0,42	0,19	0,33	0,19	0,42	0,21	0,09	0,3	1
x_3	0,23	0,27	0,34	0,23	0,34	0,17	0,11	0,28	2
x_4	0,09	0,29	0,27	0,09	0,29	0,14	0,04	0,18	4

Слід також прокоментувати, що в наведеному прикладі прийняття такої “усередненої” точки зору з використанням критерію Гурвіца врешті решт призвело до обґрунтування використання такої ж альтернативи, як і при використанні критерію Вальда, але, так би мовити, більш “обережно” і “виважено”.

Варто додати, що в окремих джерелах [6,8,9] наводяться приклади прийняття нерациональних рішень під час використання критерію Гурвіца.

До ситуації, яка складається під час прийняття рішень для застосування критерію Гурвіца висуваються наступні вимоги:

інформація про імовірності виникнення станів відсутня;

із появою нових станів обов'язково необхідно рахуватися;

реалізується мала кількість рішень;

допускається деякий ризик.

Придатність використання даного критерію для прийняття рішень щодо обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття можна визначити за результатами аналізу і співставлення особливостей і вимог середовища функціонування системи з вимогами, які сприяють застосуванню критерію. В цілому, зазначені вимоги доволі прийнятні, проте, залишається відкритим питання обґрунтування значення коефіцієнту α .

Критерій Севіджа (S-критерій). Як і мінімакський критерій, цей критерій за своєю суттю є доволі песимістичним. Під час вибору оптимальної стратегії він рекомендує орієнтуватись не на виграш від використання альтернативи, а на ризик прогашу, або “втрат”. Оптимальною обирається та стратегія, за якої величина гарантованих втрат мінімальна. За цим критерієм корисність кожної альтернативи характеризується як

$$E_{SE}(x) = \max_{v \in V} (\max_{b \in X} u(b, v) - u(x, v)), \quad (7)$$

де $b = x_{i\max}$ – множина найбільших значень альтернатив за різними станами природи

(варіантами застосування сил і засобів повітряного противника). Саме цю величину інтерпретують як втрати, що виникають у станах $v \in V$ при заміні оптимальної для неї альтернативи на альтернативу x . Тоді прийняття рішення відбувається за умовою мінімізації максимально можливих втрат, тобто

$$x^* \in \text{Arg min}_{x \in X} E_{GW}(x) = \text{Arg min}_{x \in X} \max_{v \in V} (\max_{b \in X} u(b, v) - u(x, v)). \quad (8)$$

Приклад проведених розрахунків із застосуванням критерію Севіджа для наявних результатів функціонування системи наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Використання критерію Севіджа

	Результати, x_{ij}			$x_{i\max}$	Матриця втрат, $r_{ij} = x_{i\max} - x_{ij}$			r_{\max}	min-max	Ранг
	v_1	v_2	v_3		r_{1j}	r_{2j}	r_{3j}			
x_1	0,31	0,21	0,28	0,31	0	0,1	0,03	0,1	0,1	1
x_2	0,42	0,19	0,33	0,42	0	0,23	0,09	0,23		4
x_3	0,23	0,27	0,34	0,34	0,11	0,07	0	0,11		2
x_4	0,09	0,29	0,27	0,29	0,2	0	0,02	0,2		3

Використання критерію Севіджа надає нам дещо інший ранговий розподіл альтернатив, ніж у попередніх випадках.

До ситуації прийняття рішень за цим критерієм висуваються такі ж самі вимоги, що і у випадку мінімакського критерію, що говорить про можливість його використання в ході прийняття рішень щодо обґрунтування спроможного варіанту системи зенітного ракетного прикриття.

Обговорення

Структурування задачі обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття повинно в решті решт привести до можливості її формалізації у вигляді задачі дослідження операцій. Надання визначеності вихідним умовам дає змогу обирати кращу систему навіть при появі передумов багатокритеріальності.

Якщо ж формалізуватися у площині визначеності не вдається, то з використанням розглянутих критеріїв теорії прийняття рішень можна по іншому здійснювати вибір кращого варіанту (альтернативи). В табл. 5 відображені результати порівняння рекомендацій щодо вибору кращої альтернативи при використанні MM -, BL -, GW -, S - критеріїв оптимальності.

Таблиця 5

Використання основних критеріїв оптимальності

	Результати			R_{MM}	R_{BL}	R_{GW}	R_S	Σ	R
	v_1	v_2	v_3						
x_1	0,31	0,21	0,28	2	3	3	1	9	2-3
x_2	0,42	0,19	0,33	3	1	1	4	9	2-3
x_3	0,23	0,27	0,34	1	2	2	2	7	1
x_4	0,09	0,29	0,27	4	4	4	3	11	4

В стовпчику R_{BL} при проведенні допоміжних розрахунків для ранжування альтернатив за BL - критерієм імовірності настання варіантів подій в

розглянутому прикладі обрані однакові, тобто, $p(v_1) = p(v_1) = p(v_1)$. Ранжування за загальним критерієм пропонується проводити шляхом додавання всіх обчислених рангів $R_{MM} + R_{BL} + R_{GW} + R_S$ для кожної альтернативи, а потім їх впорядкування за зростанням отриманих сум. Якщо ж розглядати використання лише так званих “основних” критеріїв, то зазначену послідовність дій слід проводити для $R_{MM} + R_{BL} + R_S$.

За такого підходу найвищий ранг буде відповідати альтернативі, яка обрана шляхом поєднання відразу трьох підходів формування критеріїв з огляду на користність їх реалізації:

вибору найкращого серед найгіршого;
усереднення результатів з урахуванням імовірностей умов реалізації альтернатив;
мінімізації очікуваних втрат.

Складнощі, які можуть бути пов'язані з визначенням імовірностей виникнення станів $p(v)$ під час практичного застосування BL - критерію можна вирішити шляхом введення додаткової умови про рівноімовірність дій повітряного противника, що ніяк не суперечить невизначеності вихідних умов для прийняття рішення і відповідає практичним умовам і реаліям функціонування системи зенітного ракетного прикриття.

Що стосується GW - критерію, то варто зазначити, що на даному етапі розвитку теорії прийняття рішень відсутні підходи для обґрунтування вибору значень вагового коефіцієнту α . Тому, застосування цього критерію в теорії і практиці зенітних ракетних військ поки що можна вважати необґрунтованим.

Висновки

Результати вивчення розглянутих критеріїв оптимальності свідчать про їх придатність до використання для прийняття рішень під час обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття за невизначеності вихідних умов і в умовах ризику, а також при невідомих імовірностях виникнення зовнішніх станів.

При цьому, потрібно рахуватися з можливою появою нових, відмінних від попередніх зовнішніх станів (появою нових варіантів дій повітряного противника), розуміти складнощі середовища функціонування системи зенітного ракетного прикриття і того факту, що прийняте рішення реалізується лише раз, тому необхідно виключити будь-який ризик, тобто, за жодного варіанту розвитку подій не допустити отримання результату, меншого за конкретно визначене значення результату діяльності системи.

Тому, для прийняття рішень щодо створення і функціонування системи зенітного ракетного прикриття за невизначеності вихідних умов є доцільним застосування MM - і S - критеріїв. Застосування BL - критерію рекомендується здійснювати за умов рівноімовірного виникнення станів (варіантів дій повітряного противника).

Використання GW - критерію для вирішення задачі обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття на даний момент не рекомендується.

Зусилля наступних пошуків було б доцільно зосередити на вивченні придатності і умовам використання й інших критеріїв оптимальності, які пропонуються теорією прийняття рішень, до використання в теорії і практиці бойового застосування зенітних ракетних військ.

Список використаних джерел

1. AJP-5, Allied Joint Doctrine for the Planning of Operations, NATO/OTAN Edition A, Version 2. May, 2019.
2. AJP-3.3 Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations. NATO/OTAN Edition B Version 1. April 2016.
3. FM 3-01 U.S. Army Air and Missile Defense Operations. Headquarters Department of the Army Washington, D.C., 22 December 2020.
4. ATP-82, Allied Doctrine for Ground-Based Air Defence, NATO/OTAN Edition A, Version 1, January, 2018.
5. Глоба, О., Левченко, М., Мельниченко, В., & Дранник, П. (2023). Формалізація завдання обґрунтування спроможностей системи зенітного ракетного прикриття. *Повітряна міць України*, 2 (5), 23–28. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-23-28>.
6. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко. 3-є вид., перероб. Київ : “Видавництво Людмила”, 2018. 292 с.
7. Теорія прийняття рішень. Конспект лекцій / Уклад.: В.К. Анікін, Є.В. Крилов, В.П. Пасько, Київ : НТУУ “КПІ”, 2023. 134 с.
8. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. Ф. Волошин, С. О. Мащенко. – 2-ге вид., перероб. та допов., Київ : Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2010. 336 с.
9. Теорія прийняття рішень. Конспект лекцій / Уклад.: С.О. Мащенко, Київ : КНУ імені Т.Шевченка, 2020. 61 с.
10. Мащенко С. О. Збірник задач з теорії прийняття рішень: навч. посіб. Київ : “Видавництво Людмила”, 2018.
11. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Дніпро : НГУ, 2014. 300 с.
12. Горопчин А. Я., Кириченко І. О., Єрмошин М. О., Дробаха Г. А., Доліна М. П. Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності. Харків : ХВУ, 2006. 348 с.
13. Загорка О. М., Мосов С. П., Сбітнев А. І., Стужук П. І. Елементи дослідження складних систем військового призначення : навч. посіб. для докторантів, ад'юнктів, здобувачів. Київ : НАОУ, 2005. 124 с.
14. Основи воєнно-технічних досліджень. Теорія та приклади : монографія в 4 т. Т.4. Методологія дослідження складних систем військового призначення. / С. В. Лапицький та ін. Київ : Видавничий дім Дмитра Бураго, 2013. 480 с.

Oleksandr Hloba (PhD)

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

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE USE OF OPTIMALITY CRITERIA FOR SUBSTANTIATION THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE COVER SYSTEM CAPABILITIES

The anti-aircraft missile cover system's functioning environment is characterized by the unpredictability of the aerial enemy's actions, which greatly complicates decision-making process to choose the best system variant. This fact confirms the topicality of an additional study of known criteria from the decision-making theory for the system's capabilities justifying.

The article considers the possibilities of using classical decision-making criteria (Wald, Bayes-Laplace, Savage) and one derivative of them (Hurwitz criterion) for choosing the best system variant. Their advisability for use in the field of anti-aircraft missile defense is analyzed, the advantages of using some and the difficulties in using others are specified. For air defense specialists are also encouraged to consider the possibility of averaging or adding rank values of criteria acceptable for use, followed by ranking of the obtained results.

Key words: *air defense system, anti-aircraft missile cover system, capabilities, decision-making, operation, grouping of troops.*

References

1. AJP-5, Allied Joint Doctrine for the Planning of Operations, NATO/OTAN Edition A, Version 2. May, 2019.
2. AJP-3.3 Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations. NATO/OTAN Edition B Version 1. April 2016.
3. FM 3-01 U.S. Army Air and Missile Defense Operations. Headquarters Department of the Army Washington, D.C., 22 December 2020.
4. ATP-82, Allied Doctrine for Ground-Based Air Defence, NATO/OTAN Edition A, Version 1, January, 2018.
5. Hloba, O., Levchenko, M., Melnychenko, V., & Drannyk, P. (2023). Formalizatsiia zavdannia obgruntuvannia spromozhnosti systemy zenitnoho raketnoho prykyttia. *Povitriana mits Ukrainy*, 2 (5), 23–28. <https://doi.org/10.33099/2786-7714-2023-2-5-23-28>
6. Voloshyn O.F., Mashchenko S.O. Modeli ta metody pryiniattia rishen: navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. zakl. / O.F. Voloshyn, S.O. Mashchenko. – 3-ye vyd., pererob. – K.: “Vydavnytstvo Liudmyla”, 2018. – 292 s.
7. Teoriia pryiniattia rishen. Konspekt leksii / Uklad.: V.K. Anikin, Ye.V. Krylov, V.P. Pasko, Kyiv : NTUU “KPI”, 2023. 134 s.
8. Voloshyn O.F., Mashchenko S.O. Modeli ta metody pryiniattia rishen : navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. zakl. / O. F. Voloshyn, S. O. Mashchenko. – 2-he vyd., pererob. ta dopov. – K. : Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr “Kyivskiy universytet”, 2010. – 336 s.
9. Teoriia pryiniattia rishen. Konspekt leksii / Uklad.: S.O. Mashchenko, Kyiv : KNU imeni T.Shevchenka, 2020. 61 s.
10. Mashchenko S. O. Zbirnyk zadach z teorii pryiniattia rishen: navch. posib. – K.: “Vydavnytstvo Liudmyla”, 2018.
11. Modeli y metody pryiniattia rishen: navch. posib. / S.A. Us, L.S. Koriashkina; M-vo osvity i nauky Ukrainy, Nats. him. un-t. – D. : NHU, 2014. – 300 s.
12. Toropchyn A. Ya., Kyrychenko I. O., Yermoshyn M. O., Drobakha H. A., Dolina M. P. Syntez adaptivnykh struktur systemy zenitnoho raketno-artylerskoho prykyttia obektiv i viisk ta otsinka yii efektyvnosti. Kharkiv : KhVU, 2006. 348 s.
13. Zahorka O. M., Mosov S. P., Sbitniev A. I., Stuzhuk P. I. Elementy doslidzhennia skladnykh system viiskovoho pryznachennia : navch. posib. dlia doktorantiv, adiunktiv, zdobuvachiv. Kyiv : NAOU, 2005. 124 s.
14. Osnovy voienno-tekhnichnykh doslidzhen. Teoriia ta pryklady : monohrafiia v 4 t. T.4. Metodolohiia doslidzhennia skladnykh system viiskovoho pryznachennia. / S. V. Lapytskyi ta in. Kyiv : Vydavnychii dim Dmytra Buraho, 2013. 480 s.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-49-55

УДК 358.4

Титаренко Олександр Борисович (кандидат військових наук, доцент)

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

Власенко Євген Валерійович

<https://orcid.org/0009-0005-6376-6104>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ПРОТИПОВІТРЯНА ОБОРОНА В РОСІЙСЬКО-УКРАЇНСЬКІЙ ВІЙНІ: УРОКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

В статті розглянуто досвід ведення протиповітряної оборони України з початку широкомасштабного вторгнення російської федерації, тенденції зміни ефективності системи протиповітряної оборони України під час відбиття ракетно-авіаційних ударів. Розкривається питання особливостей нанесення ракетно-авіаційних ударів по території України та тактик їх нанесення. Розглянуто питання отримання технічної допомоги від наших партнерів у вигляді зенітних ракетних комплексів та її вплив на результати боротьби в повітряному просторі. На основі аналізу досвіду ведення протиповітряної оборони України в російсько-українській війні обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності застосування системи протиповітряної оборони України.

Ключові слова: протиповітряна оборона, ефективність, зенітні ракетні війська, зенітні ракетні комплекси, ракетно-авіаційні удари, повітряна наступальна операція, операція угруповання військ, крилаті ракети, безпілотні літальні апарати.

Вступ

Локальні війни і збройні конфлікти другої половини ХХ – початку ХХІ сторіччя продемонстрували стійку тенденцію до зростання впливу на їх хід результату протиборства в повітряному просторі між засобами повітряного нападу і засобами протиповітряної оборони, в першу чергу засобами зенітних ракетних військ. Особливого значення ця боротьба набула з появою високоточної зброї (як повітряного, так і наземного (морського) базування) та початком її масового застосування в 1991 році коаліцією держав багатонаціональних сил проти Іраку.

Аналіз протиборства авіації та сил і засобів с(з) протиповітряної оборони у локальних війнах і збройних конфліктах ХХ – ХХІ століть свідчить, що в їх ході були реалізовані поодинокі удари, групові удари, зосереджені удари, масовані авіаційні удари, масовані ракетно-авіаційні удари та удари крилатими ракетами [1].

З появою безпілотних літальних апаратів (БпЛА) протиборство в повітрі дещо змінилось, але коли з'являється новий засіб ураження то з'являються й засоби, які здатні їх знищити. Хоча у російської федерації до російсько-української війни вже був досвід застосування БпЛА, проте своєї актуальності вони набули саме в цій війні.

Матеріали та методи

У даному дослідженні використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз і узагальнення.

Результати

Для кращого розуміння ситуації звернемося до подій на фронті кінця лютого 2022 року.

Потужні авіаційні угруповання противника, зосереджені навколо наших кордонів, мали стати козирем сил вторгнення російської федерації та забезпечити абсолютну перевагу як у повітрі, так і на землі, вирівнявши певний паритет на суші.

Більш того, здавалося б, повітряна частина плану “спеціальної військової операції” проти України не повинна була особливо турбувати російське командування. Адже всі об'єктивні показники – від чисельної переваги до локалізації та непропорційних можливостей повітряного нападу противника та української протиповітряної оборони (ППО) – вказували саме на це. Іншими словами, всі об'єктивні дані “військової математики” свідчили про незаперечну перевагу російської федерації, як кількісно, так і якісно. А отже, результат масштабного “повітряного вторгнення” начебто не викликав жодних сумнівів у ворога [2].

До початку широкомасштабного вторгнення, до системи протиповітряної оборони України входили лише зенітні ракетні комплекси, літаки, радіолокаційні станції радянського виробництва (рис. 2).



Рисунок 2. Структура ППО України

Ранок 24 лютого 2022 року став найбільшим випробуванням для української ППО. З 10 години вечора 23 лютого надходила інформація про початок підготовки до ударів, а вже о 3 годині ночі російські літаки почали злітати та формувати повітряні ударні ешелони для нанесення масованого повітряного удару.

У перший день війни військово-повітряні сили (ВПС) російської федерації намагалися завоювати перевагу (панування) у повітряному просторі України.

Агресор наніс удари близько по 50 об'єктам. Це були об'єкти військової інфраструктури, пункти управління, військові аеродроми, пункти постійної дислокації військових частин та позиції бойового чергування підрозділів зенітних ракетних військ (ЗРВ) та радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних Сил (ПС) Збройних Сил України (рис. 2).

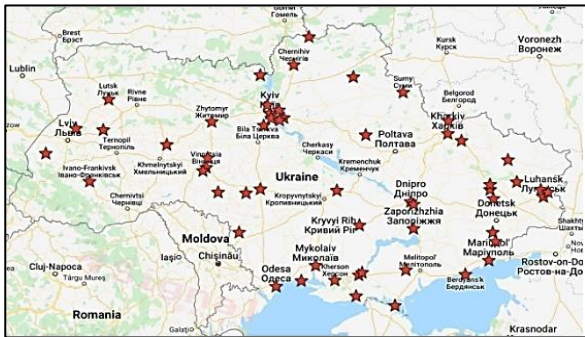


Рисунок 2. Об'єкти ударів противника

А після ударів 24 лютого російське командування було впевнене, що завдання виконано, українська ППО знищена і наземну операцію можна продовжувати.

Але насправді все було не так, як очікував агресор. Противник застосував з різних напрямків близько 100 ракет різних типів і 140 літаків і гвинтокрилів.

Якщо подивитися на ефективність української системи ППО - вона становила близько 10%, може виникнути питання: "Чому вона така низька?". Відповідь дуже проста.

По-перше, вже 23 лютого 2022 року українське командування мало інформацію від партнерів і від своєї розвідки про те, що росія планує завдати удару в першу чергу виключно по об'єктах системи ППО

По-друге, з одного боку, головним завданням агресора є знищення української системи ППО та авіації на аеродромах. А з іншого боку, завдання українських захисників – все це зберегти і, якщо можливо, знищити ворога в повітрі [2].

І це вдалося. 90 % підрозділів, було вчасно виведено на резервних позиції та виведено з під удару. І в більшості випадків ворог атакував позиції на яких вже не перебували підрозділи ПС.

Як і в перший день війни, надалі діє головне правило: негайно змінювати позицію після вистрілу ракети або виявлення БПЛА (або – вогонь та маневр) [3].

Як ворог завдавав ударів, якими засобами, з яких напрямків і як діяла система ППО України? Крилаті ракети "Калібр" (рис. 3).



Рисунок 3. Основні характеристики крилатих ракет "Калібр"

Головною особливістю застосування крилатих ракет "Калібр" є їх пуск з носіїв морського базування, які перебувають у складі Чорноморського флоту РФ в Чорному морі.

Наступна особливість - можливість літати на малих висотах, що ускладнює завдання протиповітряної оборони. Управління ракетою в польоті автономне, а сам політ здійснюється за заданістю заданим маршрутом.

Зазначимо, що відстань від точки пуску ракет до точки перетину сухопутної території України становить близько 300 км, а з огляду на їх швидкість близько 800 км/год українська система ППО мала близько 30 хв., для реакції на загрозу.

Крилаті ракети X-101 (рис. 4).



Рисунок 4. Основні характеристики крилатих ракет X-101

На початку війни, протягом лютого-березня 2022 року, ці ракети запускали з Чорного моря у двох напрямках. А з квітня ворог почав здійснювати пуски з території РФ, а саме з району Енгельса, Волгодонська та над акваторією Каспійського моря [4,5].

Політ здійснюється за заданістю визначеними маршрутами. У разі застосування ракет X-101 українська система ППО мала приблизно від 30 хв. до однієї години, для реакції на загрозу.

З вересня 2022 року Україна почала отримувати значну кількість зенітних ракетних комплексів середньої дальності, а вже в жовтні 2022 року успішно їх застосували.

У табл. 1 наведено статистичні дані щодо кількості запущених і знищених ракет та ефективності системи ППО України.

Таблиця 1

Кількість запущених і знижених ракет,
ефективність ППО України

Місяць та рік	Кількість запущених ракет, од.	Кількість знижених ракет, од.	Ефективність ППО України, %
Березень, 2022	181	46	25%
Квітень, 2022	120	26	22%
Травень, 2022	147	37	25%
Червень, 2022	205	39	19%
Липень, 2022	188	37	20%
Серпень, 2022	113	29	26%
Вересень, 2022	170	49	29%
Жовтень, 2022	248	136	55%
Листопад, 2022	193	119	62%
Грудень, 2022	271	190	70%
Січень, 2023	125	80	64%
Лютий, 2023	124	79	64%
Березень, 2023	126	54	43%
Квітень, 2023	32	21	66%
Травень, 2023	203	154	76%
Червень, 2023	207	157	76%
Липень, 2023	158	88	56%
Серпень, 2023	138	97	70%
Вересень, 2023	109	97	89%
Жовтень, 2023	44	17	39%
Листопад, 2023	39	19	49%
Грудень, 2023	169	133	79%
Січень, 2024	225	157	70%
Лютий, 2024	115	64	56%

Таблиця 2

Кількість запущених і знижених БпЛА “
Shahed-136”, ефективність системи ППО України

Місяць та рік	Кількість запущених БпЛА, од.	Кількість знижених БпЛА, од.	Ефективність ППО України, %
Вересень, 2022	38	27	71%
Жовтень, 2022	206	163	79%
Листопад, 2022	76	64	84%
Грудень, 2022	120	108	90%
Січень, 2023	96	95	99%
Лютий, 2023	49	47	96%
Березень, 2023	94	71	76%
Квітень, 2023	89	74	83%
Травень, 2023	406	364	90%
Червень, 2023	201	166	83%
Липень, 2023	235	193	82%
Серпень, 2023	187	150	80%
Вересень, 2023	504	397	79%
Жовтень, 2023	285	231	81%
Листопад, 2023	369	307	83%
Грудень, 2023	625	509	81%
Січень, 2024	334	244	73%
Лютий, 2024	356	288	81%

Безпілотний літальний апарат “Shahed-136” (рис. 5).



ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:
 Дальність пуску - 2000 km
 Швидкість польоту - 180 km/h
 Висота польоту - 50-4000 m
 Маса бойової частини - 50 kg

Рисунок 5. Основні характеристики безпілотного літального апарату “Shahed-136”

Основні особливості їх використання:
 характерний звук;
 мала швидкість польоту - до 200 км/год;
 переважно прогнозовані маршрути та напрямки;
 низька ціна;
 можливість ураження навіть зі стрілецької зброї.

У разі використання безпілотного літального апарату (БпЛА) “Shahed-136” система ППО України мала від однієї до двох годин на готовність до відбиття удару і навіть мала можливість здійснити маневр підрозділів ППО на найбільш загрозливі напрямки.

У табл. 2 наведено статистичні дані щодо кількості запущених і знижених БпЛА “Shahed-136” та ефективності системи ППО України.

З вересня 2022 року – росія почала застосовувати БпЛА “Shahed-136” для нанесення ударів по населених пунктах та об’єктах критичної інфраструктури України [7].

Високою ефективністю система ППО України завдячує допомозі партнерів та стійкості українських захисників.

З жовтня 2022 року українські захисники знищили як складні цілі – крилаті ракети, так і прості цілі – БпЛА “Shahed-136”, майже з однаковою ефективністю, і все це завдяки допомозі партнерів.

На початку війни, у березні-квітні 2022 року, російська федерація, витративши велику частину своїх авіаційних і ракетних ресурсів і зазнавши значних втрат, була змушена відмовитися від широкомасштабного використання своєї авіації в повітряному просторі України.

ПС Збройних Сил України вдалося не лише зберегти свій бойовий потенціал, а й зірвати повітряну наступальну операцію противника, досягти паритету та утримати контроль над повітряним простором над більшою частиною території України.

У табл. 3 наведено порівняння ефективності системи ППО України у знищенні ракет і БпЛА “Shahed-136”.

Таблиця 3

Порівняння ефективності системи ППО України у знищенні ракет і БпЛА “Shahed-136”

Місяць та рік	Ефективність ППО України у знищенні ракет	Ефективність ППО України у знищенні БпЛА “Shahed-136”
Березень, 2022	25%	-
Квітень, 2022	22%	-
Травень, 2022	25%	-
Червень, 2022	19%	-
Липень, 2022	20%	-
Серпень, 2022	26%	-
Вересень, 2022	29%	71%
Жовтень, 2022	55%	79%
Листопад, 2022	62%	84%
Грудень, 2022	70%	90%
Січень, 2023	64%	99%
Лютий, 2023	64%	96%
Березень, 2023	43%	76%
Квітень, 2023	66%	83%
Травень, 2023	76%	90%
Червень, 2023	76%	83%
Липень, 2023	56%	82%
Серпень, 2023	70%	80%
Вересень, 2023	89%	79%
Жовтень, 2023	39%	81%
Листопад, 2023	49%	83%
Грудень, 2023	79%	81%
Січень, 2024	70%	73%
Лютий, 2024	56%	81%

Зміни у війні в повітрі

Не досягнувши стратегічної мети, ворог розпочав ракетні обстріли важливих об'єктів критичної інфраструктури та населених пунктів України.

За рік (з 24 лютого 2022 року по 28 лютого 2023 року) було завдано 255 ударів по 112 об'єктах енергетики України.

Найбільше їх було у жовтні 2022 року – 82 ракетно-авіаційних ударів. Це пов'язано зі спробою агресора залишити українців без світла і тепла взимку. Але йому це не вдалося.

Особливостями нанесення ракетно-авіаційних ударів по території України є те, що противник періодично змінює тактику їх нанесення, при цьому слід зазначити:

1. Противник завдавав масованих ракетних ударів різними типами крилатих ракет повітряного та морського базування, які були рознесені в часі та за напрямками. Кількість ракет за один удар досягала близько 100 одиниць, а іноді й більше. Масовані ракетні удари рф по Україні завдавалися в середньому раз на два тижні.

2. Згодом противник почав застосовувати застарілі зразки озброєння, крилаті ракети Х-22, Х-59, а також більш сучасні ракети типу Х-101, “Калібр” та “Іскандер”.

3. Згодом противник почав застосовувати БпЛА “Shahed-136” напередодні ракетних ударів, переважно вночі.

4. Під час масованого обстрілу 31 жовтня 2022 року росіяни вперше застосували ракети, які досі не

запускали по Україні. Мова йде про стратегічну крилату ракету Х-55, яка є носієм ядерної боеголовки (Х-555 є її модернізованим варіантом). Замість ядерної бойової частини встановили еквівалент бойової частини (імітатор), щоб не порушити аеродинамічні якості ракети.

5. У лютому 2023 року противник вперше в Україні застосував перед ракетним ударом аеростати з кутовими відбивачами та, ймовірно, розвідувальне обладнання з одночасним пуском літаків-розвідників Су-24МР, Су-34МР, А- 50У.

6. На сьогодні, противник активно почав застосовувати керовані авіаційні бомби не лише на лінії бойового зіткнення, а й при нанесенні ударів по населених пунктах України.

Так, лише за лютий 2024 року російська федерація застосувала понад 1500 керованих авіаційних бомб і зараз нажал, ця тенденція лише збільшується.

росія, модернізувала свої керовані бомби із застосуванням пристрою випускання крил, а на деяких, під час польоту є можливість здійснювати маневри та коригувати маршрут, що дозволяє їм планувати та збільшити свою дальність польоту від 10-20 до 80-100 кілометрів в залежності від типу бомби та виду модернізації.

Всі ці особливості були враховані.

Звернемо увагу на роботу системи ППО України у травні 2023 року.

У табл. 4 наведено загальну кількість знищених безпілотників і ракет в Україні та ефективність української системи протиповітряної оборони у травні 2023 року.

Таблиця 4

Загальна кількість знищених БпЛА та ракет та ефективність української системи ППО загалом по Україні у травні 2023 року

Загальна кількість знищених БпЛА та ракет та ефективність української системи ППО загалом по Україні у травні 2023 року			
Балістична ракета	Х-47 “Кінджал”	БпЛА “Шахед”	Крилаті ракети
14 (100%)	7 (100%)	364 (90%)	133 (73%)

Чому травень?

По-перше, Україна отримала від партнерів зенітні ракетні комплекси (ЗРК) Patriot, SAMP-T та Avenger.

По-друге, противник застосував найбільшу кількість БпЛА “Shahed-136” та ракет “Кінджал”.

Надалі ворог наносив ракетно-авіаційні удари з різних напрямків, різними видами засобів, в один і той же час і переважно вночі.

Агресор намагався за будь-яку ціну знайти і знищити ЗРК Patriot.

Допомога партнерів

До 24 лютого 2022 року весь світ пророкував, що українці не встоять і організують партизанський опір. У січні 2022 року в Україну почали надходити протитанкові комплекси Javelin та NLAW. Ці системи стали фактично основною зброєю проти російських танків.

Але набагато важливішу роль відіграли переносні зенітні комплекси (ПЗРК).

Нагадаємо що в перші дні війни, російська федерація наносила масовані повітряні атаки по населеним пунктам та об'єктам критичної інфраструктури. У небі Київщини літали десятки ворожих вертольотів та літаків. Це становило колосальну загрозу для столиці, та випробуванням для нашої системи ППО.

Загалом наприкінці березня - на початку квітня 2022 року в Україну було поставлено близько 2000 переносних зенітних ракетних комплексів різних типів, таких як Stinger, Piorun, Mistral та Starstreak.

Це змінило ситуацію в небі – росія отримала величезні втрати в авіації. Адже найбільші втрати російської авіації припали на березень 2022 року, коли ворог ще не встиг адаптуватися до нових умов війни. У наступні місяці авіація противника здебільшого застосовувалася без перетину лінії бойового зіткнення.

Кілька слів про процес прийняття рішення про передачу Україні ЗРК.

Побачивши, що Україна вистояла, і під тиском своїх виборців, західні політики змушені були приймати нові рішення. Спочатку ці рішення максимально блокувалися російськими лобістами. Наприклад, через спеціальні інформаційні операції просувалися меседжі про те, що в Україні, мовляв, страшна корупція, все розкрадуть, на фронт нічого не дійде, що наші військові не вміють цим користуватися, не зможуть це обслуговувати. І взагалі, Україна все одно програє, тому нам треба думати про свою економіку.

Тут варто підкреслити потужну роботу нашої дипломатії, яка, будучи підкріплена перемогами Збройних сил, все ж таки зруйнувала цю стіну бюрократії.

І в цей час, не досягаючи успіху на фронті, росія почала все активніше використовувати терор, руйнуючи міста і завдаючи ракетних ударів по цивільних об'єктах. Україна відчайдушно просила Захід “ЗАКРИТИ НЕБО”.

Але відповідь партнерів завжди була однаковою: “Ми не можемо використовувати власні системи ППО для збиття російських ракет, бо це спровокує путіна на ескалацію”.

Перший прорив: вдалося отримати радянські системи ППО С-300 зі Словаччини.

Таким чином, ця допомога протягом лютого-травня 2022 року мала значний вплив на хід війни. Якщо на початку широкомасштабного вторгнення повідомлень про знищення російських ракет було небагато, то в наступні місяці вони почали з'являтися все частіше. Збройні сили України почали знищувати близько половини запущених агресором ракет.

Наприкінці липня 2022 року Німеччина почала постачання Україні перших трьох зенітних самохідних артилерійських установок Gepard, а до кінця літа поставила понад 30.

Також до України прибули перші шість ЗРК

Stormer.

У середині жовтня 2022 року Німеччина передала Україні перші ЗРК IRIS-T. Після цього українська система ППО була посилена ЗРК Hawk з Іспанії. Саме з жовтня 2022 року завдяки допомозі партнерів вдалося підвищити ефективність української системи протиповітряної оборони.

У листопаді 2022 року США передали Україні два ЗРК NASAMS, а Франція – два ЗРК Crotale NG.

У квітні 2023 року в Україну прибули ЗРК Patriot виробництва Нідерландів та Німеччини.

У травні 2023 року Україна отримала перші італо-французькі ЗРК SAMP-T та американські ЗРК Avenger. Patriot та SAMP-T є системами великої дальності.

З червня 2023 по січень 2024 року Україна отримала:

італійський зенітний ракетний комплекс Spada 2000;

британську систему ППО Raven з ракетами ASRAAM;

німецький зенітний артилерійський комплекс Skyplex [8].

Таким чином, отримані від партнерів системи дозволили нам з більшою ефективністю захищатися від російських крилатих ракет і безпілотних літальних апаратів.

З отриманням ЗРК західного виробництва, система протиповітряної оборони України набула зовсім іншого вигляду (рис. 6).

ПЕРЕНОСНІ ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ	ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ БЛИЗЬКОЇ ДІЇ	ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ СЕРЕДЬНОЇ ДАЛЬНОСТІ	ЗЕНІТНІ РАКЕТНІ КОМПЛЕКСИ ДАЛЬНОЇ ДІЇ
ПЕРЕБУВАЛИ НА ОЗБРОЄННІ УКРАЇНИ			
Стріла Irná	Оса Тор Шилка	С-125-2Д Стріла-10 Тунгуска	Бук-М1 Куб С-300П(С) С-300В
ДОПОМОГА ПАРТНЕРІВ			
Piorun Mistral Skyplex	Stinger Starstreak Stormer Spada	с-125 "Neva SC" Avenger Crotale Gepard Raven	IRIS-T NASAMS Hawk Patriot SAMP-T

Рисунок 6. Зміна засобів системи протиповітряної оборони України

До 24 лютого 2022 року Україна мала на озброєнні лише системи ППО радянського виробництва – морально застарілі, розроблені ще в шістдесятих-вісімдесятих роках. І відповідно до цього, ефективність системи ППО України в перший день війни була дуже низькою – близько 10% [9].

Але з кінця лютого 2022 року почалася ера нової протиповітряної оборони України, яка розпочалася з ПЗРК різних типів (таких як Stinger, Piorun, Mistral, Starstreak) і поступово посилювалася сучасними ЗРК, в порядку надходження, такими як Gepard, Stormer, IRIS-T, Hawk, С-125, Nassams, Crotal, SAMP-T, Avenger, Patriot.

І відповідно змінилася ефективність системи протиповітряної оборони України, яка суттєво зросла в середньому до 70-80%.

Обговорення

Отже, отримані від партнерів системи дозволяли, дозволяють і будуть дозволяти знищувати російські ракети, БпЛА та літаки.

На основі аналізу досвіду ведення протиповітряної оборони України в російсько-українській війні були вивчені уроки та обґрунтовані рекомендації, практична реалізація яких в цілому і для цього необхідно змінити традиційні (класичні) підходи до її організації.

Рекомендації щодо підвищення ефективності застосування системи протиповітряної оборони України:

1. Для своєчасного отримання інформації про повітряну обстановку мають бути задіяні всі засоби.

Використовувати космічні супутники, різні види безпілотних літальних апаратів, розвідувальну діяльність Збройних Сил України і особливо інформацію від населення, яке виявило літальний апарат і негайно передало інформацію про нього в загальну систему ППО.

2. Важливість пасивної протиповітряної оборони.

Оманні дії: імітація активності з метою введення противника в оману щодо дійсного знаходження зенітного ракетного комплексу на позиції.

Приховування: переміщення підрозділів тільки вночі різними маршрутами. Під час переміщення необхідно організувати протиповітряну та наземну оборону. Не можна забувати про розосередження підрозділів.

3. Необхідність постійної зміни позицій.

Як і в перший день війни, надалі діє головне правило: негайно змінювати позицію після пуску ракети або після прольоту БпЛА (вогнь та маневр).

4. Застосування нестандартної тактики ППО.

Використання окремих вогневих засобів ЗРК для організації засідок.

5. Використання мобільних вогневих груп ППО.

Створення та застосування мобільних вогневих груп у складі двох кулеметів та двох ПЗРК для ураження противника в повітрі на основних прогнозованих напрямках (маршрутах).

6. Створення постів спостереження за повітряним простором.

Для забезпечення дій мобільних вогневих груп ППО, створення і застосування постів повітряного спостереження для виявлення противника в повітрі на основних прогнозованих маршрутах і навколо важливих об'єктів. Надавати інформацію до об'єднаної системи ППО.

Уроки, які отримані з урахуванням нанесених ракетно-авіаційних ударів російської федерації – тактика російських повітряних атак адаптується до ситуації.

Загалом наприкінці березня та на початку квітня 2022 року в Україну було поставлено близько 2 тис. переносних зенітно-ракетних комплексів різних типів, таких як: Stinger, Piorun, Mistral та Starstreak. Це змінило ситуацію в небі - росія отримала

величезні втрати в авіації. Адже найбільші втрати російської авіації припали на березень 2022 року, коли ворог ще не встиг адаптуватися до нових умов війни. У наступні місяці авіація противника здебільшого застосовується без перетину лінії бойового зіткнення та противник застосовує переважно далекобійні різноманітні ракети класу "повітря-земля", крилаті ракети, БпЛА "Shahed-136".

Висновки

Таким чином, ми бачимо, що на початку війни росія не досягла своєї мети – вона не здобула переваги в повітрі, а отже, не досягла успіху і на землі. Противник був змушений змінити тактику використання своїх повітряно-космічних сил і сконцентрувати свої зусилля на ракетних і безпілотних ударах. Завдяки допомозі партнерів система ППО України значно підвищила свою ефективність.

Водночас слід відзначити, що досягнутий дорогою ціною паритет з противником у повітрі є нестабільним, а ситуація з протидією ракетному терору російської федерації, на жаль, далека від контрольованої. Від авіаударів продовжують гинути мирні жителі та зазнавати втрат Збройні Сили України. Групові авіаудари ударної авіації противника відходять у минуле, але застосування крилатих ракет та атаки БпЛА все ще становлять смертельну загрозу.

Отже, ми повинні розуміти, що те, що відбувається, суттєво відрізняється від того, що мало статися, за планами російського командування, ще понад двох років тому.

Список використаних джерел

1. Александров М., Владимиров С. Чи могла встояти систем ППО Іраку? – М.: Вісник протиповітряної оборони, 1992. – Вип. 4. – С. 49-51.
2. Justin Bronk, et al, The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence, Special Resources, Royal United Services Institute, London: 7 November 2022. Accessed at: The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence | Royal United Services Institute (rusi.org) (Required Reading).
3. Valius Venckunas, Eight Lessons Air Forces are Learning from the War in Ukraine, Aerotime Hub, 8 January 2023. Accessed at: Eight military aviation lessons from the war in Ukraine - AeroTime (Required Reading).
4. Seth Jones, "Russia's Ill-Fated Invasion of Ukraine: Lessons in Modern Warfare," Center for Strategic and International Studies (CSIS), Washington, DC, June 2022. Accessed at: https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/220601_Jones_Russia%27s_Ill-Fated_Invasion_0.pdf?VersionId=Ggqjb.JsRbJzr_wlu5jrVT_Xe3AW3jur.
5. ACdre. Prof. Dr. Frans Osinga, "Putin's War, A European tragedy and The strategic impact of Air Denial". March 2023. Accessed at: https://missiledefenseadvocacy.org/wp-content/uploads/2023/03/AirDenialBriefing_10Feb23_ACdreOsinga.pdf.
6. Maxmilian Bremer and Kelly Grieco, "Air Defense Upgrades, Not F-16, are a Winning Strategy for Ukraine," Defense News Commentary, 22 January 2023. Accessed at: <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2023/01/25/air-defense-upgrades-not-f-16s-are-a-winning-strategy-for-ukraine/> (Required Reading).

7. Anmol Chowdhary, "How Ukrainian Air Defense Strategy is Adapting to More Drone Attacks," American Security Project Blog, 9 June 2023. Accessed at: Air Defense in Ukraine-Russia War | ASP American Security Project (Required Reading).

8. Jonathan Masters and Will Mellow, (2023) "How Much Aid Has the U.S. Sent Ukraine? Here are Six Charts," Council

on Foreign Relations, 19 May 2023. https://www.cfr.org/article/how-much-aid-has-us-sent-ukraine-here-are-six-charts?gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWYwZQ_bXxep6fydt7xf5_xbV27Bs8ZL-Y69GjsF0ouQcXiQMCDjU4WRoCaZ0QAvD_BwE

9. ATP-82, Allied Doctrine for Ground Based Air Defence, January 2018.

Oleksandr Tytarenko (Candidate of Military Sciences, Associated Professor)

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

Yevhen Vlasenko

<https://orcid.org/0009-0005-6376-6104>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

AIR DEFENCE IN THE RUSSIAN-UKRAINIAN WAR: LESSONS AND RECOMMENDATIONS

The article examines the experience of conducting air defence of Ukraine since the beginning of the large-scale invasion of the Russian Federation, trends of changes in the effectiveness of the air defence system of Ukraine during the repulsion of missile and air strikes. The question of the specifics of launching missile and air strikes on the territory of Ukraine and the tactics of their launch is revealed. The question of receiving technical assistance from our partners in the form of anti-aircraft missile systems and its impact on the results of the struggle in air space was considered. Based on the analysis of the experience of air defence of Ukraine in the Russo-Ukrainian war, justified recommendations are made to increase the effectiveness of the use of the air defence system of Ukraine.

Keywords: air defence, effectiveness, anti-aircraft missile forces, anti-aircraft missile systems, air-missile strikes, air offensive operation, troop group operation, cruise missiles, unmanned aerial vehicles.

References

1. Aleksandrov M., Vladimirov S. Could the air defense systems of Iraq withstand? - M.: Herald of air defense, 1992. - Vol. 4. - P. 49-51.

2. Justin Bronk, et al, The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence, Special Resources, Royal United Services Institute, London: 7 November 2022. Accessed at: The Russian Air War and Ukrainian Requirements for Air Defence | Royal United Services Institute (rusi.org) (Required Reading).

3. Valius Venckunas, Eight Lessons Air Forces are Learning from the War in Ukraine, AeroTime Hub, 8 January 2023. Accessed at: Eight military aviation lessons from the war in Ukraine - AeroTime (Required Reading).

4. Seth Jones, "Russia's Ill-Fated Invasion of Ukraine: Lessons in Modern Warfare," Center for Strategic and International Studies (CSIS), Washington, DC, June 2022. Accessed at: https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/220601_Jones_Russia%27s_Ill-Fated_Invasion_0.pdf?VersionId=Ggqjb.JsRbJzr_wlu5jrVT_Xe3AW3jur

5. ACdre. Prof. Dr. Frans Osinga, "Putin's War, A European tragedy and The strategic impact of Air Denial". March 2023. Accessed at: https://missiledefenseadvocacy.org/wp-content/uploads/2023/03/AirDenialBriefing_10Feb23_ACdreOsinga.pdf

https://missiledefenseadvocacy.org/wp-content/uploads/2023/03/AirDenialBriefing_10Feb23_ACdreOsinga.pdf

6. Maxmilian Bremer and Kelly Grieco, "Air Defense Upgrades, Not F-16, are a Winning Strategy for Ukraine," Defense News Commentary, 22 January 2023. Accessed at: <https://www.defensenews.com/opinion/commentary/2023/01/25/air-defense-upgrades-not-f-16s-are-a-winning-strategy-for-ukraine/> (Required Reading).

7. Anmol Chowdhary, "How Ukrainian Air Defense Strategy is Adapting to More Drone Attacks," American Security Project Blog, 9 June 2023. Accessed at: Air Defense in Ukraine-Russia War | ASP American Security Project (Required Reading).

8. Jonathan Masters and Will Mellow, (2023) "How Much Aid Has the U.S. Sent Ukraine? Here are Six Charts," Council on Foreign Relations, 19 May 2023. https://www.cfr.org/article/how-much-aid-has-us-sent-ukraine-here-are-six-charts?gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAKwIWYwZQ_bXxep6fydt7xf5_xbV27Bs8ZL-Y69GjsF0ouQcXiQMCDjU4WRoCaZ0QAvD_BwE

9. ATP-82, Allied Doctrine for Ground Based Air Defence, January 2018.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-56-62

УДК 623.486

Хажанець Юрій Анатолійович (доктор філософії)

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

Білоус Олег Володимирович

<https://orcid.org/0000-0002-3103-732X>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОТОКОЛІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ MESH-МЕРЕЖ

У даній роботі було проведено аналіз та класифікацію протоколів маршрутизації mesh-мереж. Mesh-мережі відіграють важливу роль в організації бездротового зв'язку, проте ефективність їх функціонування залежить від вибору оптимальних протоколів маршрутизації. У статті розглянуті різноманітні аспекти, такі як характеристики mesh-мереж, вимоги до протоколів маршрутизації та їх класифікація з урахуванням різних факторів, таких як маршрутні метрики, методи вибору шляху та реакція на зміни у мережі. Розуміння сучасних протоколів маршрутизації в mesh-мережах може служити важливим джерелом інформації для фахівців у галузі бездротових мереж та дослідників, які цікавляться цією проблематикою. Завданням дослідження було проведення аналізу та порівняння різних протоколів маршрутизації, таких як OLSR, B.A.T.M.A.N., Vabel тощо, з метою визначення їхніх переваг, недоліків та сфер застосування, а також аналіз основних проблем, таких як масштабованість, якість обслуговування (QoS), безпека тощо, з метою визначення основних викликів та можливих шляхів їх вирішення.

Ключові слова: аналіз, класифікація, маршрутизація, mesh-мережа, зв'язок, ефективність функціонування.

Вступ

У світі швидко розвиваються технології бездротових мереж, і однією з найбільш важливих та перспективних є технологія mesh-мереж.

Mesh-мережі на відміну від інших мереж вирізняються своєю динамічною топологією та здатністю до автономної роботи без необхідності наявності центральних вузлів. Завдяки своїм унікальним властивостям, mesh-мережі здобули широке визнання та використовуються в різноманітних сферах, від домашнього застосування до індустріальних розгалужених мереж. Слід зауважити, що дана технологія використовується і в Збройних Силах України.

Одним із ключових аспектів ефективності функціонування mesh-мереж є протоколи маршрутизації за якими вони працюють, адже саме вони визначають шляхи передачі даних між вузлами та абонентами. Дослідження та аналіз цих протоколів є критично важливим для розуміння їхнього впливу на ефективність функціонування mesh-мереж. У цій статті проведено огляд, аналіз та класифікацію протоколів маршрутизації у mesh-мережах з метою розкриття їхніх особливостей, переваг та недоліків.

Оскільки в більшості випадків mesh-мережі мають складну топологію, яка ще може і динамічно змінюватись, то під час їх розгортання та експлуатації часто виникають різні труднощі щодо забезпечення вимог до якості обслуговування (QoS), ефективності маршрутизації, масштабованості та ефективного використання ресурсів.

Метою статті є проведення аналізу та класифікації протоколів маршрутизації для

виявлення їх недоліків та переваг.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи аналізу та синтезу.

Результати

Мережі типу Mesh (або mesh-мережі) – це тип бездротових мереж, у яких кожен вузол мережі має можливість спілкуватися напряму з кожним іншим вузлом, що знаходиться в його зоні покриття. В таких мережах вузли можуть бути як стаціонарними пристроями, так і рухомими [1]. Саме тому дана технологія добре підходить для організації зв'язку в різних видах військових операцій, адже має гнучку архітектуру та продовжує працювати за динамічної зміни обстановки на полі бою.

Особливості функціонування mesh-мереж [1-16]:

Самоорганізація: mesh-мережі є самоорганізованими, що означає, що вони можуть автоматично адаптуватися до змін у топології та структурі мережі без централізованого керування.

Резервування маршрутів: в mesh-мережі кожен вузол може використовувати кілька маршрутів для комунікації з іншими вузлами, що забезпечує більшу надійність та стійкість мережі.

Масштабованість: mesh-мережі можуть легко масштабуватися, додаванням нових вузлів до мережі без значних змін в існуючій інфраструктурі.

Автономність: кожен вузол в mesh-мережі може працювати автономно, що означає, що він може продовжувати працювати навіть у випадку втрати зв'язку з іншими вузлами.

Рухомість: mesh-мережі можуть легко адаптуватися до руху вузлів, включаючи мобільні пристрої, які можуть змінювати своє

місцезнаходження в мережі.

Mesh-мережі знаходять широке застосування в сучасному світі через їхні унікальні властивості та можливість.

Переваги mesh-мереж:

Надійність: кожен вузол у mesh-мережі може взаємодіяти з кількома іншими вузлами, що робить мережу більш надійною. Якщо один вузол відмовляється, інші вузли можуть використати альтернативний маршрут для передачі даних.

Масштабованість: mesh-мережі легко масштабуються, оскільки нові вузли можуть бути додані без значних змін у існуючій інфраструктурі.

Гнучкість і адаптивність: mesh-мережі можуть адаптуватися до змін у топології та структурі без необхідності централізованого керування.

Самоорганізація: mesh-мережі мають здатність до самоорганізації, що означає, що вони можуть автоматично адаптуватися до змін у мережевому середовищі без втручання з боку користувача.

Зменшення залежності від централізованого керування: відсутність централізованого керування у mesh-мережах дозволяє уникнути однієї точкової відмови та забезпечує більшу стійкість мережі в цілому.

Проте у mesh-мереж є і низка недоліків пов'язаних з:

Складність маршрутизації: у mesh-мережах виникають складнощі з маршрутизацією через динамічну топологію та велику кількість вузлів, що може призвести до збільшення затримок та втрат пакетів.

Потребою у більшій пропускну здатності: оскільки кожен вузол у mesh-мережі може спілкуватися з кількома іншими вузлами, це може призвести до збільшення обсягу передачі даних і, відповідно, до потреби у більшій пропускну здатності.

Вартість розгортання та управління: розгортання та управління mesh-мережею може бути дорожчим та складнішим, особливо в великих масштабах, порівняно з іншими типами мереж.

Безпекою: забезпечення безпеки в mesh-мережах може бути складнішим завданням через бездротовий характер зв'язку та можливість перехоплення даних.

Впливу на продуктивність: збільшення кількості вузлів та обсягу даних у mesh-мережі може негативно вплинути на її продуктивність та ефективність.

Хоча mesh-мережі мають значні переваги в порівнянні з іншими мережами, вони також мають свої недоліки, які потрібно враховувати при їх розгортанні та експлуатації. Більшість з цих недоліків можливо вирішити за допомогою раціонального вибору протоколів маршрутизації в залежності від завдань, які будуть покладені на мережу. В складних багаторівневих mesh-мережах інколи виникає необхідність використовувати різні типи маршрутизації на різних рівнях. Важливість маршрутизації в mesh-мережах важко переоцінити, оскільки вона визначає ефективність, надійність та

продуктивність мережі в цілому. Ось деякі ключові аспекти, які пояснюють важливість маршрутизації в мережах Mesh:

Динамічна топологія: mesh-мережі характеризуються динамічною топологією, оскільки вузли можуть з'єднуватися та відключатися від мережі в будь-який момент часу. Маршрутизація в таких умовах стає складним завданням, оскільки потрібно постійно адаптуватися до змін у мережевому середовищі.

Багатократні маршрути: у mesh-мережі кожен вузол може мати кілька маршрутів до кожного іншого вузла. Ефективний вибір маршрутів та управління ними дозволяє забезпечити оптимальне використання ресурсів та мінімізувати затримки у передачі даних.

Стійкість до відмов: маршрутизація в mesh-мережі дозволяє забезпечити стійкість до відмов шляхом автоматичного переходу на альтернативні маршрути в разі виявлення неполадок або відмов вузлів.

Масштабованість: вірно обраний протокол маршрутизації дозволяє mesh-мережі легко масштабуватися, додаванням нових вузлів без значних змін у структурі мережі.

Вплив на продуктивність та пропускну здатність: невірно обраний протокол маршрутизації може призвести до збільшення затримок та зниження пропускну здатності мережі. Ефективна маршрутизація дозволяє забезпечити високу продуктивність та ефективне використання ресурсів.

Отже, маршрутизація в mesh-мережі є важливою складовою їхньої інфраструктури, оскільки вона визначає якість та продуктивність комунікації, а також стійкість мережі до непередбачених ситуацій. Вивчення та оптимізація протоколів маршрутизації є ключовим завданням для покращення функціональності та ефективності mesh-мережі. Тому варто сформулювати основні завдання та вимоги і до протоколів маршрутизації.

Основні завдання та вимоги до протоколів маршрутизації в mesh-мережах:

Автономність: протоколи маршрутизації повинні бути здатні працювати в умовах відсутності централізованого управління. Вони повинні бути самоорганізованими і здатними до адаптації до змін у топології мережі без втрати продуктивності.

Масштабованість: протоколи маршрутизації повинні бути ефективними при роботі з великою кількістю вузлів та великим обсягом трафіку. Вони повинні забезпечувати швидкий пошук та вибір оптимальних маршрутів навіть у великих мережах.

Стійкість: протоколи маршрутизації повинні бути стійкими до відмов та збоїв у мережі. Вони повинні мати механізми виявлення відмов та автоматичного виправлення маршрутів для забезпечення неперервності обслуговування.

Низька затримка та висока пропускну спроможність: протоколи маршрутизації повинні забезпечувати мінімальну затримку та максимальну пропускну здатність для ефективної передачі даних у mesh-мережі.

Енергоефективність: у випадку бездротових мереж, особливо в мережах сенсорів, протоколи маршрутизації повинні бути енергоефективними, щоб забезпечити тривалу автономну роботу вузлів мережі від автономного джерела живлення.

Безпека: протоколи маршрутизації повинні забезпечувати захист від різноманітних атак, таких як перехоплення даних, перепрограмування маршрутів та вплив на мережевий трафік.

Підтримка якості обслуговування (QoS): в деяких додатках, таких як мультимедійні додатки або VoIP, важливо мати механізми управління якістю обслуговування, щоб забезпечити мінімальні затримки та гарну якість передачі даних.

Протоколи маршрутизації в mesh-мережах вирішують ці завдання та вимоги, забезпечуючи ефективне управління маршрутами та трафіком у мережі. Вони є ключовим елементом інфраструктури мережі, який визначає її продуктивність, надійність та ефективність в цілому.

Принципи вибору маршруту та пересилання пакетів у mesh-мережах можуть варіюватися в залежності від конкретного протоколу маршрутизації та умов мережі. Однак, існують деякі загальні принципи, які часто використовуються:

Метрики маршруту: кожен протокол маршрутизації може використовувати різні метрики для вибору оптимального маршруту. Це може бути кількість переходів (хопів), час затримки, пропускна спроможність, вартість маршруту тощо. Вузол мережі вибирає маршрут з найменшою метрикою для передачі пакету.

Таблиці маршрутизації: кожен вузол у mesh-мережі може підтримувати таблицю маршрутів, де для кожного вузла зберігається інформація про найкращий відомий маршрут до цього вузла. Ці таблиці маршрутизації підтримуються та оновлюються динамічно, щоб відображати поточний стан мережі.

Пересилання пакетів: після вибору маршруту для пакету, він передається через мережу від вихідного вузла до кінцевого пункту призначення. У mesh-мережі це може відбуватися через міжвузлове спілкування, де кожен вузол передає пакет далі вздовж маршруту до кінцевого пункту.

Протоколи маршрутизації на основі векторів відстані (DV): деякі протоколи маршрутизації, такі як RIP (Routing Information Protocol), використовують алгоритми на основі векторів відстані для вибору оптимального маршруту. У цих протоколах кожен вузол обмінюється інформацією про маршрути до інших вузлів у мережі, щоб побудувати таблиці маршрутизації.

Протоколи маршрутизації на основі стану лінії (LS): протоколи маршрутизації, такі як OSPF (Open Shortest Path First), використовують алгоритми на основі стану лінії для визначення оптимальних маршрутів. У цих протоколах кожен вузол обмінюється інформацією про стан своїх з'єднань з іншими вузлами, щоб побудувати глобальну карту мережі та вибрати оптимальні маршрути.

У загальному, принципи вибору маршруту та

пересилання пакетів у mesh-мережах спрямовані на забезпечення ефективності, надійності та швидкості передачі даних в умовах динамічної топології та обмежених ресурсів.

Зважаючи на різноманітність протоколів маршрутизації для mesh-мереж, можна їх класифікувати відповідно до типів протоколів, таких як Distance Vector, Link State, On-Demand та інші.

1. Протоколи на основі векторів відстані (Distance Vector):

RIP (Routing Information Protocol);

Babel;

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector).

2. Протоколи на основі стану лінії (Link State):

OSPF (Open Shortest Path First);

OLSR (Optimized Link State Routing);

DSR (Dynamic Source Routing).

3. Протоколи на основі попереднього запиту (On-Demand):

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector);

DSR (Dynamic Source Routing);

DYMO (Dynamic MANET On-demand).

4. Hybrid Protocols (Гібридні протоколи):

ZRP (Zone Routing Protocol);

HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol).

5. Протоколи маршрутизації для бездротових сенсорних мереж (Wireless Sensor Networks – WSNs):

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy);

TEEN (Threshold-Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol).

Кожен з цих типів протоколів має свої особливості та використовується в різних сценаріях mesh-мережі в залежності від вимог до продуктивності, надійності, енергоефективності та інших факторів. Вибір конкретного протоколу маршрутизації залежить від конкретних вимог та умов розгортання мережі.

Зважаючи на обсяг і складність кожного протоколу, навести детальний опис кожного з них у межах цього формату вкрай складно. Тому в роботі наведено лише загальний огляд кожного протоколу, що допоможе краще зрозуміти їхню функціональність та характеристики.

RIP (Routing Information Protocol): Distance Vector протокол, який використовується для маршрутизації в mesh-мережах та мережах загального користування. Використовує метрику кількості хопів та оновлює таблиці маршрутизації періодично або при зміні топології [2, 3].

OSPF (Open Shortest Path First): протокол на основі стану лінії, розроблений для використання в IP-мережах. Він використовує алгоритм Дейкстри для знаходження найкоротших маршрутів. OSPF підтримує динамічну зміну топології мережі [2, 3].

AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector): протокол маршрутизації на основі векторів відстані, який використовується в бездротових мережах із змінною топологією. Він працює на принципі вимоги, тобто шукає маршрути тільки тоді, коли це потрібно [5].

OLSR (Optimized Link State Routing): протокол

на основі стану лінії, розроблений спеціально для бездротових мереж, таких як mesh-мережі. OLSR використовує алгоритми оптимізації для зменшення навантаження на мережу та збереження енергії вузлів [2, 3].

Babel: реалізація протоколу маршрутизації на основі векторів відстані, зокрема призначена для бездротових мереж. Babel відомий своєю ефективністю та простотою в налаштуванні [6, 7].

ZRP (Zone Routing Protocol): гібридний протокол маршрутизації, який поєднує в собі як Distance Vector, так і Link State підходи. ZRP розділяє мережу на зони та використовує різні протоколи для маршрутизації всередині та поза зонами [6, 7].

DSR (Dynamic Source Routing): протокол маршрутизації, який працює на основі попереднього запиту та часто використовується у бездротових мережах, включаючи mesh-мережі [10].

DYMO (Dynamic MANET On-demand): протокол маршрутизації, призначений для мобільних ад-гок мереж (MANET). Він є відповіддю на вимоги ефективної маршрутизації в динамічних та непередбачуваних умовах, таких як бойові дії, екстрені ситуації, рятувальні операції та інші сценарії, де існує потреба у швидкій та надійній комунікації між мобільними вузлами [8].

HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol): протокол маршрутизації, розроблений для використання у бездротових mesh-мережах, особливо у стандарті IEEE 802.11s. Він поєднує в собі як принципи маршрутизації на основі векторів відстані (Distance Vector), так і на основі стану лінії (Link State), щоб оптимізувати процес маршрутизації та забезпечити високу ефективність мережі [6, 7].

LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy): протокол маршрутизації, спеціально розроблений для бездротових сенсорних мереж (WSNs), де енергоефективність вузлів є критично важливою. LEACH використовує підхід з кластеризацією вузлів для зменшення витрат енергії та підвищення тривалості роботи мережі [16].

TEEN (Threshold-Sensitive Energy Efficient Sensor Network Protocol): протокол маршрутизації, спеціально розроблений для бездротових сенсорних мереж (WSNs), які вимагають енергоефективності та довговічності в роботі. TEEN забезпечує ефективне використання енергії в сенсорних вузлах шляхом встановлення порогів для активації передачі даних [16].

Ці протоколи мають різні характеристики та призначення, і вони вибираються в залежності від конкретних потреб мереж. Таким чином різні протоколи мають свої переваги та недоліки, які можуть впливати на ефективність мережі в залежності від конкретних умов експлуатації. Опираючись на проведений аналіз можливо розподілити протоколи за завданнями, що на них покладаються:

Енергоефективність: протоколи, такі як LEACH та TEEN, спрямовані на збереження енергії в сенсорних мережах, де енергія є обмеженим ресурсом. Результати експериментів показують, що

ці протоколи можуть значно збільшити тривалість роботи мережі порівняно з класичними алгоритмами маршрутизації [16].

Пропускна спроможність: деякі протоколи, наприклад, HWMP, можуть забезпечити високу пропускну здатність шляхом використання мультиплексування маршрутів та оптимізації маршрутів. Це особливо корисно для великих мереж з високим обсягом трафіку.

Масштабованість: протоколи, такі як DSR, можуть бути ефективними у великих бездротових мережах, оскільки вони не вимагають централізованого управління та глобальних таблиць маршрутизації. Проте, у великих мережах можуть виникати проблеми з петлями маршрутизації та оптимізацією маршрутів.

Надійність: кожен протокол має свої механізми для забезпечення надійності передачі даних, проте вони можуть мати різні рівні надійності в залежності від умов мережі. Наприклад, протоколи на основі векторів відстані можуть мати проблеми зі збереженням актуальності маршрутів у складних топологіях.

Узагальнюючи, вибір протоколу маршрутизації повинен бути зроблений з урахуванням конкретних вимог до мережі, таких як енергоефективність, пропускна спроможність, масштабованість та надійність. Також важливо провести експериментальне тестування в реальних умовах для оцінки ефективності протоколу у конкретному середовищі.

Так, в різних сегментах мережі можуть використовуватися різні протоколи маршрутизації залежно від потреб і характеристик цих сегментів. Це може бути доцільним у випадках, коли різні частини мережі мають різні вимоги до продуктивності, енергоефективності або надійності. Наприклад:

Сегменти з високим навантаженням: великі сегменти мережі з великим обсягом трафіку можуть використовувати протоколи з високою пропускну здатністю, такі як HWMP, для оптимізації передачі даних і забезпечення швидкої доставки.

Сегменти з обмеженими ресурсами: в сегментах мережі, де енергія є обмеженим ресурсом, можна використовувати енергоефективні протоколи, такі як LEACH або TEEN, для збереження енергії та подовження тривалості роботи мережі.

Сегменти з високими вимогами до надійності: для сегментів мережі, де надійність передачі даних є критично важливою, можна використовувати протоколи з механізмами перевірки доставки та відновлення помилок, такі як DSR.

Сегменти з різноманітною топологією: у сегментах мережі з складною або змінною топологією можна використовувати протоколи, які можуть ефективно пристосовуватися до змін, наприклад, DYMO.

Використання різних протоколів у різних сегментах мережі дозволяє оптимізувати роботу мережі відповідно до конкретних потреб та умов експлуатації. Однак важливо забезпечити сумісність

і взаємодію між різними сегментами для забезпечення їхньої працездатності та стабільності мережі в цілому.

Аналізуючи вищезазначене можливо сформулювати тенденції у використанні та розвитку протоколів маршрутизації в

mesh-мережах. Основні тенденції у цьому напрямку включають:

Енергоефективність та довговічність: з поширенням мобільних і бездротових пристроїв зростає значення протоколів, які спрямовані на збереження енергії та подовження тривалості роботи мережі. Протоколи, які використовують порогову активацію та інші енергозберігаючі методи, стають все більш популярними [16].

Масштабованість та динамічність: з ростом кількості підключених пристроїв та збільшенням обсягів трафіку стає важливим розвиток протоколів, які забезпечують ефективну масштабованість та адаптивність до змін у топології мережі.

Безпека: з поширенням бездротових технологій та збільшенням обсягу конфіденційної інформації, що передається через мережу, зростає потреба в безпеці mesh-мережі. Розвиток протоколів забезпечення конфіденційності, цілісності та аутентифікації стає актуальним.

Широкий спектр застосувань: mesh-мережі застосовуються в різних областях, від домашнього використання до промислових та муніципальних мереж. Розвиток протоколів, що враховують конкретні потреби та вимоги різних сегментів ринку, стає дедалі більш актуальним.

Стандартизація та інтеграція: з погляду стандартизації та інтеграції протоколів, існує тенденція до розробки універсальних стандартів та інтерфейсів, що дозволяють різним пристроям та системам взаємодіяти між собою.

Розвиток нових технологій: з появою нових технологій, таких як штучний інтелект, IoT (інтернет речей), блокчейн тощо, можна очікувати розвитку протоколів, які використовують ці технології для оптимізації мережі та забезпечення нових функціональних можливостей.

Стійкість: останнім часом mesh-мережі почали використовувати у військовій сфері, що потребує проведення додаткових досліджень щодо ефективності їх застосування на полі бою, стійкості їх роботи за умови впливу засобів радіоелектронної боротьби та кібератак.

В цілому, розвиток протоколів маршрутизації в mesh-мережах спрямований на покращення продуктивності, надійності та безпеки мережі, а також на адаптацію до різних умов експлуатації та розвитку нових технологій.

Слід також особливу увагу звернути на використання mesh-мереж у військовій сфері, адже це потребує проведення цілої низки досліджень щодо ефективності її функціонування в складних радіоелектронних умовах та динамічних змін топології мережі. Такі дослідження можуть створити умови для розробки нових протоколів маршрутизації, що будуть враховувати нові

показники такі наприклад, як розвідзахищеність, імітостійкість та інші.

Обговорення

Проведене дослідження продемонструвало, що вибір протоколу маршрутизації значно впливає на ефективність функціонування mesh-мереж. Зокрема, протоколи, такі як OLSR, B.A.T.M.A.N. та Babel, мають різні сильні сторони та недоліки, що робить їх підходящими для різних умов застосування.

Класифікація протоколів, наведена у роботі, враховує різні фактори, такі як маршрутні метрики, методи вибору шляху та реакція на зміни у мережі, що дозволяє глибше зрозуміти їхні характеристики та сфери застосування.

Сильними сторонами даного дослідження є всебічний аналіз сучасних протоколів маршрутизації, їх детальна класифікація та порівняння. Розглянуто основні проблеми, такі як масштабованість, якість обслуговування (QoS) та безпека, що дозволило визначити ключові виклики та можливі шляхи їх вирішення. Однак, слабкою стороною роботи є обмежене тестування в реальних умовах. Результати базуються переважно на теоретичних аналізах та симуляціях, що може не повністю відображати реальні умови експлуатації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості оптимального вибору протоколу маршрутизації для конкретних умов використання mesh-мереж. Це важливо для інженерів і проєктувальників бездротових мереж, оскільки правильний вибір протоколу може значно покращити продуктивність та надійність мережі. Теоретичне значення нашого дослідження полягає у створенні основи для подальших досліджень та розробок у сфері протоколів маршрутизації, що може сприяти вдосконаленню існуючих та розробці нових рішень.

Подальші дослідження необхідно зосередити на розробці протоколів маршрутизації для mesh-мереж в умовах радіоелектронного та вогневого впливу противника.

Висновки

високою масштабованістю, енергоефективністю та адаптивністю до змін у топології мережі. Не дивлячись на те, що кожен протокол має свої переваги та обмеження, загальний розвиток цієї області демонструє потенціал для подальшого зростання та вдосконалення.

Однак, незважаючи на досягнення, у цій області все ще є виклики, такі як забезпечення безпеки та стійкості мережі, оптимізація масштабованості та управління ресурсами. Також, з розвитком нових технологій, таких як IoT та штучний інтелект, виникає потреба у протоколах, які можуть ефективно взаємодіяти з цими технологіями та забезпечувати нові функціональні можливості.

Подальший розвиток протоколів маршрутизації в mesh-мережах може спонукати і застосування їх у військовій сфері де до загальноприйнятих викликів з'являються і нові, що потребують проведення додаткових досліджень.

Список використаних джерел

1. С. Стіренко, "Спосіб конструювання трафіку в бездротовій MESH мережі великої розмірності," Магістерська дисертація, Київ, 2022. Доступно: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8993716a-ace6-4893-beed-9165b3ab3304/content>
2. K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 11, pp. 325-349, 2015.
3. I.F. Akyildiz, X. Wang, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 5, pp. 102-114, 2005.
4. J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, and R. Morris, "Architecture and evaluation of an unplanned 802.11b mesh network," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, no. 4, pp. 1-12, 2005.
5. T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
6. T. Clausen, P. Jacquet, M. Laurent, and L. Viennot, "Comparative study of routing protocols for mobile ad hoc networks," in *Proceedings of the IFIP Conference on Personal Wireless Communications*, 2003, pp. 195-210.
7. R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 8, no. 1, pp. 114-128, 2004.
8. L.M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," in *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, 2001, vol. 3, pp. 1548-1557.
9. A. Jaffe, T. Zahariadis, L. Tassiulas, E. Hardouin, and C. Gomez, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 2, no. 138, pp. 83-105, 2018.
10. D.B. Johnson, D.A. Maltz, J. Broch, and J. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," *Internet-Draft*, 2001.
11. C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999, pp. 90-100.
12. A. Raniwala and T. C. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," in *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, 2005, vol. 3, pp. 2223-2234.
13. T. S. Rappaport et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!" *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
14. L. Wang, J. S. Lee, and M. Chiang, "Network planning for mmWave communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 138-145, 2013.
15. Y. Zhang, H. Luo, J. Luo, and Z. Yang, "A survey of energy-efficient scheduling mechanisms in sensor networks," *Computer Communications*, vol. 30, no. 14-15, pp. 2846-2861, 2007.

Yuriy Khazhanets (PhD)

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

Oleh Bilous

<https://orcid.org/0000-0002-3103-732X>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CLASSIFICATION OF ROUTING PROTOCOLS IN MESH NETWORKS

This paper presents an analysis and classification of routing protocols for mesh networks. Mesh networks play a crucial role in organizing wireless communication, yet the efficiency of their operation depends on the selection of optimal routing protocols. Various aspects are considered in the article, such as the characteristics of mesh networks, requirements for routing protocols, and their classification based on different factors like routing metrics, path selection methods, and network responsiveness to changes. Understanding contemporary routing protocols in mesh networks can serve as a valuable source of information for wireless network professionals and researchers interested in this area. The research task involved analyzing and comparing different routing protocols, such as OLSR, B.A.T.M.A.N., Babel, etc., to determine their advantages, disadvantages, application areas, and addressing major issues like scalability, quality of service (QoS), security, etc., aiming to identify key challenges and potential solutions.

Keywords: *analysis, classification, routing, mesh network, communication, operational efficiency.*

References

1. S. Stirenko Sposib konstruiuvannia trafiku v bezdrotovii MESH merezhi velikoi rozmirnosti. Magisterska dysertatsiia. K. – 2022 r. 152. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/8993716a-ace6-4893-becd-9165b3ab3304/content>
2. K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, no. 11, pp. 325-349, 2015.
3. I.F. Akyildiz, X. Wang, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 5, pp. 102-114, 2005.
4. J. Bicket, D. Aguayo, S. Biswas, and R. Morris, "Architecture and evaluation of an unplanned 802.11b mesh network," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 35, no. 4, pp. 1-12, 2005.
5. T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "A survey of mobility models for ad hoc network research," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2, no. 5, pp. 483-502, 2002.
6. T. Clausen, P. Jacquet, M. Laurent, and L. Viennot, "Comparative study of routing protocols for mobile ad hoc networks," in *Proceedings of the IFIP Conference on Personal Wireless Communications*, 2003, pp. 195-210.
7. R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, "Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, vol. 8, no. 1, pp. 114-128, 2004.
8. L.M. Feeney and M. Nilsson, "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment," in *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, 2001, vol. 3, pp. 1548-1557.
9. A. Jaffe, T. Zahariadis, L. Tassioulas, E. Hardouin, and C. Gomez, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 2, no. 138, pp. 83-105, 2018.
10. D.B. Johnson, D.A. Maltz, J. Broch, and J. Jetcheva, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," *Internet-Draft*, 2001.
11. C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," in *Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, 1999, pp. 90-100.
12. A. Raniwala and T. C. Chiueh, "Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wireless mesh network," in *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, 2005, vol. 3, pp. 2223-2234.
13. T. S. Rappaport et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!" *IEEE Access*, vol. 1, pp. 335-349, 2013.
14. L. Wang, J. S. Lee, and M. Chiang, "Network planning for mmWave communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 51, no. 6, pp. 138-145, 2013.
15. Y. Zhang, H. Luo, J. Luo, and Z. Yang, "A survey of energy-efficient scheduling mechanisms in sensor networks," *Computer Communications*, vol. 30, no. 14-15, pp. 2846-2861, 2007.

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

[DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-63-72](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-1-6-63-72)

[УДК 623.46](#)

Каплюк Олександр Миколайович

<https://orcid.org/0000-0002-9449-5395>

Гончаренко Євген Володимирович (доктор філософії)

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

Печененко Олег Михайлович

<https://orcid.org/0009-0008-9925-3089>

Чернов Сергій Вікторович

<https://orcid.org/0009-0008-0187-1162>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

АДАПТАЦІЯ ЛІТАКІВ ТАКТИЧНОЇ АВІАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ІНОЗЕМНИХ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ КЛАСУ “ПОВІТРЯ- ПОВЕРХНЯ”

Після надходження в Україну зразків авіаційних засобів ураження, що стоять на озброєнні країн-членів НАТО, постало завдання стосовно необхідності їхньої інтеграції в системи авіаційного озброєння наявного парку літаків Повітряних Сил Збройних Сил України радянського виробництва. Це викликало низку технічних і наукових завдань. Поступове їх вирішення у процесі адаптації літаків тактичної авіації для застосування зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” підняло питання про подальше розширення номенклатури таких зразків авіаційних засобів ураження з метою підвищення спроможностей Повітряних Сил.

У статті визначено зразки іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня”, обладнаних аеродинамічними комплектами із супутниковим наведенням різних модифікацій, некеровані авіаційні ракети, обладнані комплектами лазерного наведення та крилаті ракети повітряного базування, які доцільно інтегрувати в системи озброєння літаків тактичної авіації.

Отримані наукові результати дають змогу розширити та доповнити вже існуючі дані про способи адаптації повітряних суден радянського виробництва для застосування іноземних авіаційних засобів ураження та номенклатуру авіаційних засобів ураження, які здатні застосовувати літаки типів МіГ-29, Су-27, Су-25 та Су-24 для ураження наземних цілей.

Ключові слова: авіаційні засоби ураження, авіаційні засоби ураження класу “повітря-поверхня”, адаптація літаків, авіаційні бомби, некеровані авіаційні ракети, керовані авіаційні ракети, крилаті ракети.

Вступ

Для відбиття повномасштабного вторгнення збройних сил російської федерації на початку 2022 року були активно залучені підрозділи та частини Повітряних Сил Збройних Сил України (далі – ПС ЗС України) для виконання бойових завдань із прикриття повітряного простору та ураження наземних цілей противника. Парк літаків тактичної авіації ПС ЗС України складається з літаків типів МіГ-29, Су-27, Су-25 та Су-24, які для виконання зазначених завдань застосовували штатні авіаційні засоби ураження (далі – АЗУ) виробництва часів радянського союзу. Враховуючи, що російсько-українська війна триває з 2014 року запаси таких АЗУ потребують поповнення.

З метою підтримання і нарощення спроможностей ПС ЗС України з виконання бойових завдань, вищим керівництвом держави було прийнято рішення щодо пошуку шляхів поповнення запасів АЗУ.

Окрім АЗУ радянського виробництва в Україну почали надходити іноземні АЗУ, внаслідок чого постало завдання щодо необхідності їх інтеграції в систему авіаційного озброєння наявного парку літаків радянського виробництва, що зумовило появу низки технічних і наукових завдань. Поступове їх вирішення в ході адаптації літаків тактичної авіації для застосування зразків АЗУ класу “повітря-поверхня” іноземного виробництва, що станом на сьогодні надійшли в Україну, підняло питання про подальше розширення номенклатури таких зразків

АЗУ для підвищення спроможностей тактичної авіації ПС ЗС України.

Питанню інтеграції АЗУ іноземного виробництва в систему озброєння літаків тактичної авіації ПС ЗС України присвячена певна кількість наукових публікацій [1–3].

У статті [1] проведено аналіз основних тенденцій розвитку тактичних літаків-бомбардувальників, які знайшли відображення під час розроблення літаків 5-го покоління в передових авіаційних державах і визначено основні цілі модернізації літака Су-24М, зокрема, розширення номенклатури АЗУ (використання високоточних АЗУ іноземного виробництва).

У [2] визначено, що перспективним напрямом нарощування бойових можливостей і розширення умов бойового застосування літаків типів МіГ-29 та Су-27 є заміна застарілого озброєння й розширення номенклатури АЗУ. Стверджується, що проведення таких заходів забезпечить підвищення ефективності ураження цілей завдяки застосуванню керованих авіаційних ракет та корегованих авіабомб, що діють за принципом “пустив-забув”.

У джерелі [3] здійснено аналіз існуючих зразків іноземних баражуючих боеприпасів, розглянуті їх потенційні можливості у процесі використання на сучасному театрі бойових дій.

У [4–6] наведено спосіб адаптації літаків типів МіГ-29 та Су-27 для застосування ракет класу “повітря-поверхня” AGM-88 HARM та їх основні характеристики.

У [7–11] розглянуто спосіб адаптації літаків типів МіГ-29 та Су-27 для застосування авіаційних бомб обладнаних комплектом JDAM-ER для керованих авіаційних бомб GBU (Guided bomb Unit та характеристики авіаційних бомб серії Mark.

У [12, 13] висвітлено спосіб адаптації літаків типу Су-24 для застосування крилатих ракет (далі – КР) повітряного базування Storm Shadow і SCALP EG, їх основні характеристики та особливості роботи.

У [14–16] означено спосіб адаптації літаків типу Су-25 та вертольотів типу Мі-24 для застосування некерованих авіаційних ракет (далі – НАР) типів Zuni та Hydra-70, їх основні характеристики.

У [17] подано основні характеристики НАР типів С-13, С-8 та РС-80.

У [18–21] розглянуто основні характеристики і особливості бойового застосування крилатих ракет повітряного базування TAURUS, JASSM-ER та AGM-84K SLAM-ER.

У [22, 23] подано основні характеристики НАР типу CRV7.

У [24, 25] наведено основні характеристики та особливості роботи НАР типу Zuni оснащених комплектом лазерного наведення WGU-58/B.

У [26–28] описано основні характеристики та особливості роботи НАР типу Hydra-70, оснащених комплектом лазерного наведення APKWS.

У зазначених роботах окреслені перспективи інтеграції АЗУ іноземного виробництва в систему озброєння літаків ПС ЗС України, проте, не вказані можливі способи адаптації повітряних суден для застосування іноземних АЗУ та не визначені конкретні зразки АЗУ іноземного виробництва, які

доцільно застосовувати під час бойових дій.

Викладений аналіз наукових публікацій свідчить, що дослідження способів адаптації повітряних суден для застосування іноземних АЗУ та визначення зразків іноземних АЗУ класу “повітря-поверхня”, які доцільно інтегрувати в системи озброєння літаків тактичної авіації ПС ЗС України, є актуальним науковим завданням.

Метою статті є визначення зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня”, які доцільно інтегрувати в системи озброєння літаків тактичної авіації Повітряних Сил Збройних Сил України з урахуванням відпрацьованих конструктивних рішень.

Матеріали та методи

Під час написання статті застосовано загальнонаукові теоретичні методи наукового пізнання. Зокрема, контент-аналіз дав змогу поглиблено вивчити джерельну базу, теоретичний аналіз був спрямований на розкриття сутності й висвітлення найсуттєвіших проблемних питань адаптації повітряних суден ПС ЗС України для застосування іноземних авіаційних засобів ураження. Синтез використовувався для об’єднання виділених під час аналізу елементів досліджуваного процесу з метою визначення основних способів адаптації повітряних суден стосовно застосування іноземних авіаційних засобів ураження. Порівняльний аналіз застосовувався для встановлення схожих і відмінних характеристик зразків іноземних авіаційних засобів ураження порівняно зі штатними зразками ПС ЗС України та для визначення придатних до інтеграції зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” в системи озброєння літаків тактичної авіації ПС ЗС України.

Результати

З серпня 2022 року авіація ПС ЗС України почала застосовувати для ураження наземних цілей високошвидкісні протирадіолокаційні ракети AGM-88 HARM (Air-to-Ground Missile, High-speed Anti-Radar Missile) виробництва США (рис. 1) [4, 5].



Рисунок 1. Ракета класу “повітря-поверхня” AGM-88 HARM під крилом літака типу МіГ-29

AGM-88 HARM високошвидкісна протирадіолокаційна ракета, що здатна наводитися на радіолокаційні станції. Вона стійка до традиційних способів протидії, таких як вимикання радіолокаційної станції при виявленні пуску ракети. Вона обчислює розташування цілі і здатна її вразити, навіть якщо радіолокаційна станція була вимкнена.

Максимальна дальність пуску AGM-88 HARM при дотриманні необхідних умов пуску та відповідних характеристиках прицільно-навігаційного комплексу літака-носія може досягати 150 км, мінімальна – 25 км. Її максимальна швидкість

становить близько 2 М. Вага ракети – 355 кг (бойової частини – 66 кг), довжина 4,1 м. В цілому, AGM-88 HARM має пасивну радіолокаційну головку самонаведення в носовій частині та лазерний детонатор, що підриває бойову частину на оптимальній відстані від цілі. Адаптувати літаки типів МіГ-29 та Су-27 під застосування AGM-88 HARM вдалося шляхом кріплення на точки підвіски літаків пускових пристроїв іноземного виробництва LAU-118/A, з яких даний тип ракет застосовується штатно [5, 6].

Проведемо аналіз питання адаптації повітряних суден ПС ЗС України для застосування авіаційних бомб оснащених комплектами JDAM-ER (Joint Direct Attack Munition - Extended Range). З березня 2023 року авіація ПС ЗС України почала застосовувати авіаційні бомби BLU-111 (Bomb Live Unit) марки МК-82 (Mark) обладнані комплектами JDAM-ER (рис. 2) [7, 9].

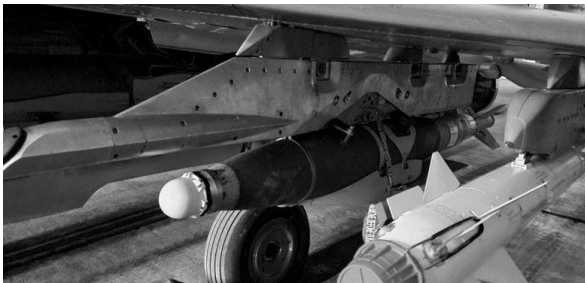


Рисунок 2. Авіаційна бомба BLU-111/МК-82 обладнана комплектом JDAM-ER під крилом літака типу Су-27

JDAM-ER – це комплект обладнання, яке виготовляє американська компанія Boeing. Він дає змогу перетворювати некеровані авіаційні бомби на високоточну зброю з системою глобального позиціонування GPS (Global Positioning System). Модифікація JDAM-ER робить некеровані авіаційні бомби не лише високоточними, а й крилатими. Крила, що після відділення бомби розкриваються, збільшують максимальну дальність їх застосування до 72 км.

До передачі JDAM-ER, на озброєнні ПС ЗС України перебували керовані авіаційні бомби типу КАБ-500, (загальна вага яких складає 520 кг та маса вибухової речовини – 100 кг). А саме, КАБ-500Л із лазерною головою наведення і КАБ-500КР з телевізійною. Вони значно програють керованим бомбам обладнаним комплексом JDAM-ER у максимальній дальності застосування – близько 9 км.

Технічно комплект JDAM-ER складається з хвостового блоку з рухомим оперенням та крил, розташованих у середній частині бомби. Він кріпиться до бомб сімейства Mark вагою від 227 кг (комплект JDAM GBU-38) до 910 кг (комплект JDAM GBU-31). В хвостовому блоці знаходиться інерційна система наведення, GPS-приймач підвищеної точності та цифрова система керування.

У процесі адаптації, спочатку літаків типу МіГ-29, а потім і типу Су-27 до застосування комплектів JDAM-ER [5] виникла низка проблемних питань.

Комплекти JDAM не пристосовані для встановлення на авіаційні бомби радянського

виробництва типу ФАБ-250 та ФАБ-500. Проблему було вирішено передачею разом із комплектами JDAM-ER (GBU-38) некерованих авіаційних бомб виробництва США BLU-111/МК-82 масою 227 кг (вага вибухової речовини – 89 кг).

Балкові тримачі літаків тактичної авіації ПС ЗС України конструктивно не сумісні з авіаційними бомбами західного виробництва, система управління озброєнням літаків функціонально не поєднується з системою управління комплекту JDAM. Тому, підприємствами промисловості були виготовлені спеціальні балкові тримачі, які забезпечили підвіску та конструктивне і функціональне поєднання авіаційних бомб BLU-111/МК-82 обладнаних комплектом JDAM-ER GBU-38 з літаками [8-10].

Огляд особливостей адаптації повітряних суден ПС ЗС України для застосування крилатих ракет (далі – КР) повітряного базування. Передача Великою Британією у травні 2023 року КР повітряного базування Storm Shadow, а згодом і Францією багаточільових високоточних КР великої дальності з автономним наведенням SCALP EG серйозно посилити спроможності ПС ЗС України, адже досі, такого типу керованих АЗУ як КР авіація України не мала взагалі [7].

Storm Shadow/SCALP EG – англо-французька малопомітна КР повітряного базування великої дальності (від 250 до 560 км), що виготовляється компанією MBDA (Matra BAE Dynamics Aerospatiale). Французький та британські варіанти ракети в цілому ідентичні, різниця виявляється лише в програмному забезпеченні та літаках-носіях ракет (рис. 3) [13].



Рисунок 3. Крилата ракета SCALP EG під крилом літака Су-24М

Політ ракети здійснюється в режимі проходження рельєфу місцевості за задалегідь обраним маршрутом. Ракети мають чотирьохрівневу систему наведення, яка, окрім супутникової навігації GPS, також використовує інерційну навігаційну систему, систему відстеження відповідності рельєфу місцевості TERCOM (Terrain Contour Matching) та теплову головку наведення з функцією розпізнавання цілі.

На кінцевій ділянці траєкторії, перед наближенням до цілі, ракета виконує маневр “тірка” з подальшим пікіруванням на об’єкт ураження. Бойова частина масою 450 кг тандемна, на підльоті “вистрілює” в ціль суббоеприпас, що пробиває отвір у стіні споруди, в який потім проникає основний боеприпас.

Труднощі у процесі адаптації літаків типу

Су-24 для застосування Storm Shadow/ SCALP EG були схожі з питаннями адаптації літаків для застосування AGM-88 HARM та JDAM-ER. Неможливість штатних балкових тримачів літаків типу Су-24 забезпечити підвіску, конструктивне і функціональне спряження ракети з літаком, зокрема з системою управління озброєнням.

Процес адаптації, який на думку деяких експертів міг тривати до шести місяців, насправді, зайняв набагато менше часу [12]. Він був здійснений шляхом виготовлення перехідних пристроїв, з використанням балкових тримачів літаків типу Tornado які забезпечили можливість підвіски і спряження ракет Storm Shadow / SCALP EG з літаками типу Су-24 [10].

Розглянемо основні аспекти адаптації повітряних суден ПС ЗС України для застосування НАР іноземного виробництва. У 2023 році країнами-партнерами для потреб ЗС України були передані НАР іноземного виробництва типу Zuni та Hydra-70 [14–16].

Zuni – 127 мм НАР, яка має модульну конструкцію і може складатися з двигунів різних модифікацій і різних бойових частин (маса ракети – 46 ... 61 кг, маса

бойових частин – 20 ... 25 кг) (рис. 4) [14].

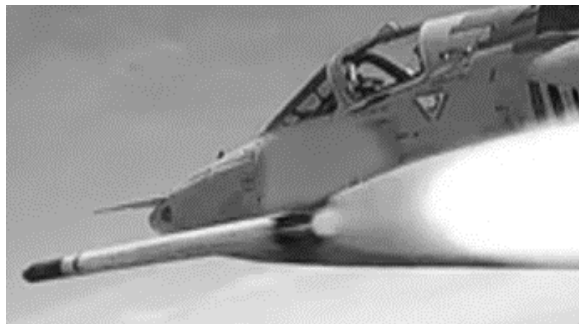


Рисунок 4. Пуск некерованої авіаційної ракети типу Zuni з літака Су-25

Оскільки ці ракети за тактико-технічними характеристиками схожі на НАР радянського виробництва типу С-13, передбачають такі ж способи застосування, тому зрозуміло, що саме цю нішу й зайняли НАР типу Zuni в системі авіаційного озброєння авіації ПС ЗС України. Порівняння технічних характеристик НАР типів Zuni та С-13 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння технічних характеристик некерованих авіаційних ракет типів Zuni та С-13 [14–17]

Назва характеристики	Тип НАР	
	Zuni	С-13
Калібр (мм)	127	122
Довжина (мм)	2790	2540–3120
Вага (кг)	46,3–61,6	57–75
Швидкість польоту (м/с)	725	500–650
Вага бойових частин (кг)	20–25	21–38
Основні типи бойових частин	Уламково-фугасна, фугасна, бронейізна, освітлювальна, димова, з дипольними відбивачами, практична	Уламково-фугасна, бетонобійна, об’ємно-детонуюча, проникаюча-уламково-фугасна
Пускові блоки	LAU-10 (4 пускові направляючі)	Б-13Л (5 пускових направляючих)

З аналізу табл. 1 можна припустити, що тактичними перевагами НАР типу Zuni є їхня легкість і вища максимальна швидкість польоту, ніж у НАР типу С-13. Крім того, максимальна дальність їх застосування є більшою.

Hydra – 70 мм НАР американського виробництва має модульну конструкцію з великою кількістю модифікацій двигунів і бойових частин (маса ракети – від 10,1 кг до 13,9 кг, маса бойових частини – від 3,9 кг до 7,7 кг). На рис. 5 зображено процес спорядження блоку некерованого ракетного озброєння (далі – НРО) М261 НАР типу Hydra – 70 [15].



Рисунок 5. Спорядження блоку некерованого ракетного озброєння М261 некерованими авіаційними ракетами типу Hydra-70

Авіацією ПС ЗС України Hydra-70 застосовується як аналог НАР українського виробництва типу РС-80 та радянських ракет типу С-8. Проблемними питаннями адаптації повітряних суден для застосування отриманих НАР були неможливість їх застосування з існуючих на озброєнні блоків НРО, призначених для пуску НАР типу С-13 (блоки НРО Б-13Л) та типу С-8/РС-80 (блоки НРО Б8В20-А, Б8В20-МСБ). Представниками промисловості було здійснено роботи з адаптації існуючого парку літаків штурмової авіації та вертольотів армійської авіації. Для застосування НАР типу Zuni були адаптовані літаки типу Су-25, для застосування НАР типу Hydra-70 вертольоти типу Мі-24. Адаптація була здійснена шляхом кріплення на точках підвіски повітряних суден блоків НРО іноземного виробництва. Блок НРО Lau-10 для НАР типу Zuni [14, 16] та блок НРО М 261 для НАР типу Hydra-70 [15].

Аналіз досвіду адаптації повітряних суден для застосування АЗУ іноземного виробництва класу “повітря-поверхня” показує, що основними проблемним питанням є неможливість конструктивного та функціонального поєднання зразків озброєння країн-членів НАТО зі штатними

балковими тримачами чи пусковими пристроями повітряних суден радянського виробництва, які стоять на озброєнні ПС ЗС України. Це проявляється у нестиківці місць силових вузлів кріплення, їх особливостей конструкційного виконання, кабельних з'єднань (різні типи штепсельних роз'ємів), неможливості поєднання систем управління озброєнням літаків із системами управління керування АЗУ. Вирішувалися ці питання шляхом виготовлення представниками промисловості спеціальних перехідних пристроїв та використанням іноземних штатних, для зразків озброєння, балкових тримачів чи пускових пристроїв.

Комплекс проведених робіт, відпрацьовані технічні рішення та набутий досвід відкрили ряд перспектив подальшого розширення номенклатури зразків АЗУ іноземного виробництва класу “повітря-поверхня” які доцільно залучити для підвищення спроможностей тактичної авіації ПС ЗС України.

Сімейство некерованих авіаційних бомб типу

Mark, зокрема BLU-110/МК 83 (маса 454 кг) з комплектом JDAM-ER GBU-32, які можна застосовувати з повітряних суден вже адаптованих під комплекс JDAM-ER і некерованих авіаційних бомб BLU-109/МК 84 (маса 907 кг) з комплектом JDAM-ER GBU-31 під застосування яких, необхідна адаптація літаків типу Су-24. Загальний вигляд авіаційної бомби серії Mark з комплектом JDAM-ER у польоті наведено на рис. 6 [8].

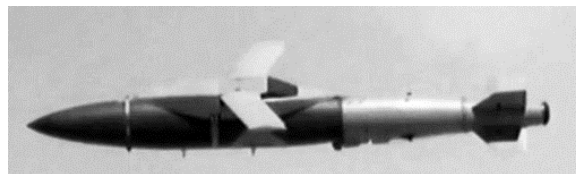


Рисунок 6. Авіаційна бомба серії Mark з комплектом JDAM-ER у польоті

Порівняння технічних характеристик авіаційних бомб серії Mark наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Порівняння технічних характеристик авіаційних бомб серії Mark [7-11]

Назва характеристики	Тип авіаційної бомби		
	BLU-111/МК 82	BLU-110/МК 83	BLU-109/МК 84
Тип бойової частини	Фугасна	Уламково-фугасна	Проникаюча
Вага вибухової речовини (кг)	89	202	429
Діаметр (мм)	273	357	458
Довжина (мм)	2220	3000	3280
Вага (кг)	227	460	925

З табл. 2 робимо висновок, що зі збільшенням ваги вибухової речовини, збільшуються і масово-габаритні показники бомб. Найбільшого руйнівного ефекту на ціль можливо досягнути використавши авіаційну бомбу BLU-109/МК 84. Проте, через її велику вагу за однакових умов скидання, дальність польоту означеної авіаційної бомби буде меншою ніж у легших бомб цієї серії.

Німецькі КР великої дальності TAURUS KEPD-350 (Target Adaptive Unitary & Dispenser Robotic Ubiquity System, Kinetik Energy Penetrating Destroyer) мають стартову масу – 1400 кг, масу бойової частини – 481 кг, дальність пуску, залежно від модифікації, може становити більше 500 км. Загальний вигляд КР TAURUS KEPD-350 наведено на рис. 7 [18].



Рисунок 7. Крилата ракета повітряного базування TAURUS KEPD-350

TAURUS – німецько-шведська крилата ракета що розроблена і виготовляється Taurus Systems GmbH і використовується Німеччиною, Іспанією та Південною Кореєю з літаків Tornado, Eurofighter-18 та F-15K. За будовою, характеристиками і

принципом дії подібна до Storm Shadow/SCALP EG, що вже використовуються ПС ЗС України. Як згадувалося вище, вона застосовується з літаків Tornado, тому її можна підвісити на адаптовані літаки типу Су-24.

КР класу “повітря-поверхня” JASSM (Joint Air-to-Surface Standoff Missile) та модифікація JASSM-ER – це малопомітна КР вагою 1020 кг з радіусом дії від 370 км (JASSM) до 980 км (JASSM-ER). Загальний вигляд КР JASSM наведено на рис. 8 [19].



Рисунок 8. Крилата ракета повітряного базування JASSM

Її можливості схожі з можливостями ракет Storm Shadow/SCALP EG/TAURUS. У складі системи наведення, поряд з інерційною системою управління з корекцією від приймача сигналів супутникової системи GPS з високим ступенем радіоелектронного захисту, використовується сучасна інфрачервона головка самонаведення, встановлена система розпізнавання цілей. Застосовується з літаків типу В-1, В-52, F-16, F-15

та В-2 [20], тому використовувати в українсько-російській війні їх можна буде або після надходження літаків типу F-16, або після проведення робіт по адаптації літаків типу Су-24, яка, очевидно, буде виконана з використанням схожих конструктивних рішень, як і за адаптації для застосування Storm Shadow/SCALP EG.

Іншою КР класу “повітря-поверхня” американського виробництва є ракета розширеного діапазону SLAM-ER (Standoff Land Attack Missile - Extended Range) глибока переробка AGM-84 Harpoon, яка призначена саме для знищення наземних цілей. Загальний вигляд КР AGM-84K SLAM-ER наведено на рис. 9 [21].



Рисунок 9. Крилата ракета повітряного базування AGM-84K SLAM-ER

За дальності польоту до 270 км та 360-кг бойовій частині вона забезпечує високоточне ураження цілі завдяки здатності самостійно ідентифікувати ціль за попередньо закладеними в бортовий комп'ютер ракети даними. Адаптацію літаків ПС ЗС України для застосування цих ракет можливо виконати шляхом кріплення на їх точки підвіски, через спеціально виготовлені перехідники, пускових пристроїв літака F/A-18C/D “Hornet” (F/A-18E/F “Super Hornet”), з яких AGM-84K SLAM-ER застосовується штатно. Порівняння основних тактико-технічних характеристик КР повітряного базування наведено в табл. 3.

Як бачимо з табл. 3, КР Storm Shadow / SCALP EG та КР TAURUS KEPD-350 мають майже однакові характеристики. КР JASSM через малу загальну вагу за такої ж ваги бойової частини, дещо поступається в максимальній дальності застосування. КР JASSM-ER має найкращий показник дальності застосування. Перевагою КР AGM-84K SLAM-ER є її порівняно низька загальна вага.

Таблиця 3

Порівняння тактико-технічних характеристик крилатих ракет повітряного базування [12–13, 18–21]

Назва характеристики	Назва крилатих ракет			
	Storm Shadow/SCALP EG	TAURUS KEPD-350	JASSM/JASSM-ER	AGM-84K SLAM-ER
Вага (кг)	1300	1360	1020	635
Вага бойової частини (кг)	450	481	450	360
Довжина (м)	5,1	5,1	4,27	4,37
Діаметр (м)	0,7	1,08	0,55	0,34
Швидкість польоту (М)	0,8	0,6-0,9	0,65-0,85	0,7
Максимальна дальність (км)	560	500	370/980	270

Порівняння максимальної дальності застосування запропонованих КР повітряного базування наведено на рис. 10.

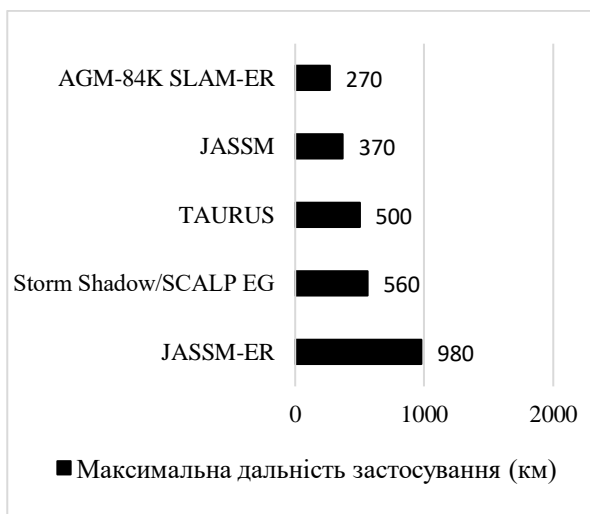


Рисунок 10. Порівняння максимальної дальності застосування крилатих ракет повітряного базування

НАР CRV7 (Canadian Rocket Vehicle 7) – 70 мм НАР що являє собою модернізовану версію НАР типу Hydra-70 [22]. Загальний вигляд НАР типу CRV7 наведено на рис. 11 [23].



Рисунок 11. Некеровані авіаційні ракети типу CRV7

Через потужніший двигун досягається більша точність та дальність польоту ніж в оригінальній НАР типу Hydra-70.

Адаптації повітряних суден ПС ЗС України для застосування цього типу НАР не потребуватиме розробки нових конструктивних рішень, адже вони були створені під час інтеграції НАР типу Hydra-70. Порівняння технічних характеристик НАР типів С-8/РС-80, Hydra-70 та CRV7 наведено в табл. 4.

Порівняння технічних характеристик НАР типів С-8/РС-80, Hydra-70 та CRV7 [15, 17, 23]

Назва характеристики	Тип НАР	
	С-8/РС-80	Hydra-70/CRV7
Калібр (мм)	80	70
Довжина (мм)	1540–1700	1060
Вага (кг)	11,3–15,2	10,1–13,9
Швидкість польоту (м/с)	450–610	739
Вага бойових частин (кг)	3,6–7,41	3,9–7,7
Основні типи БЧ	Кумулятивно-уламкова, бетонобійна, об'ємно-детонуюча, освітлювальна, з дипольними відбивачами	Фугасна, уламково-фугасна, кумулятивна, стержнева, освітлювальна, димова, практична
Пускові блоки	Б-8М1, Б-8В20А, Б-8В20-МСБ, (20 пускових направляючих) Б-8В8 МСБ (8 пускових направляючих)	М-261 (19 пускових направляючих) М-260 (7 пускових направляючих)

Аналізуючи табл. 4 можна припустити, що НАР типу Hydra-70/CRV7 має більшу максимальну дальність застосування порівняно з НАР типу С-8/РС-80, завдяки їхній меншій вазі та вищій максимальній швидкості польоту.

Адаптація повітряних суден авіації ПС ЗС України для застосування НАР іноземного виробництва дає змогу використовувати ці ракети, оснащені комплектами лазерного наведення, які перетворюють порівняно дешеві НАР на високоточну зброю, що забезпечує необхідну точність ураження цілей.

Можливості оснащення комплектом лазерного наведення піддаються як НАР типу Zuni так і типу Hydra-70. Це забезпечується простотою модульної конструкції таких НАР. Практично без зусиль і спеціального інструменту можна від'єднати бойову частину від двигуна і інтегрувати комплект лазерного наведення.

Розробкою комплекту з напівактивним лазерним наведенням для НАР типу Zuni (WGU-58/B) займається Французька компанія MBDA missile systems, яка ще у 2009 році заявила про успішні випробування таких систем з літака по стаціонарним і рухомих цілям [24, 25].

Значно далі просунулася компанія BAЕ (British Aerospаce systems), яка займається розробкою комплекту з напівактивним лазерним наведенням для НАР типу Hydra-70 – АРКWS (Advanced Precision Kill Weapon System). Вони інтегрували свій комплект наведення в системи озброєння як наземних, так і повітряних платформ, зокрема, семи типів вертольотів і дев'яти типів літаків. Загальний вигляд комплекту лазерного наведення АРКWS для НАР типу Hydra-70 наведено на рис. 12 [26].

За заявленими виробником тактико-технічними характеристиками, ракета споряджена комплектом наведення, пущена з літака, може вражати ціль на дальності до 14 кілометрів з імовірністю влучання 80 % у коло радіусом 2 м від центру лазерної плями. Вагомим фактом є те, що такі комплекти лазерного наведення вже присутні в Україні й мали досвід

бойового застосування однією з бригад морської піхоти з наземних колісних платформ, під час якого підтвердили свою високу ефективність [27]. Поставлялися вони можуть як вже змонтовані з ракетою, так і окремо.

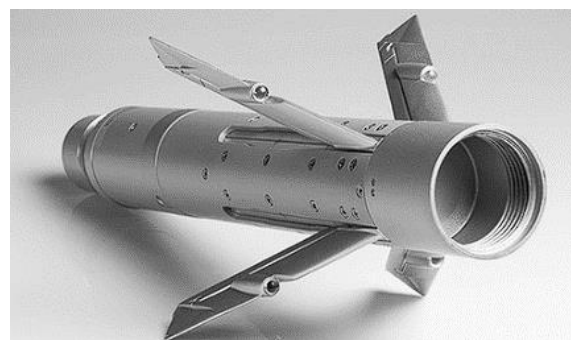


Рисунок 12. Комплект лазерного наведення АРКWS для некерованої авіаційної ракети типу Hydra-70

З метою не допущення входження носія в зону дії ворожої протиповітряної оборони застосування НАР оснащених комплектом лазерного наведення необхідно здійснювати з кадрування, “підсвіт” цілі може здійснюватися як наземними станціями лазерної цілевказівки, так і з використанням безпілотних авіаційних комплексів.

У контексті передачі Україні винищувачів типу F-16 у майбутньому, використання комплектів лазерного наведення для НАР передбачає вирішення проблеми малих повітряних цілей, таких як безпілотні літальні апарати та крилаті ракети противника. Так, у 2019 році були успішно проведені випробування із застосуванням НАР типу Hydra-70 оснащеної комплектом АРКWS з літака F-16С по безпілотному літальному апарату [28]. Перевага такого засобу боротьби з малими повітряними цілями в тому, що на один і той же вузол підвіски літака типу F-16 можна підвісити або одну ракету повітряного перехоплення AIM-120 (Air Intercept Missile) або

цілий блок НАР типу Hydra-70 на 7 чи 19 ракет з секціями лазерного наведення. Крім того, для підвіски НРО необхідно значно менше часу, порівняно з AIM-120.

Обговорення

Адаптація повітряних суден для застосування іноземних АЗУ виконувалася шляхом використання штатних для зразків озброєння балкових тримачів і пускових пристроїв іноземного виробництва. Їх кріплення на точки підвіски повітряних суден здійснювалося через спеціально виготовленні перехідні пристрої. Використання таких технічних прийомів дало змогу забезпечити конструктивне та функціональне поєднання іноземних авіаційних засобів ураження з повітряними суднами ПС ЗС України.

Висновки

З урахуванням наявності відпрацьованих конструктивних рішень, визначено доцільність інтеграції в системи озброєння літаків тактичної авіації ПС ЗС України таких зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня”:

некеровані авіаційні бомби BLU-110/МК 83 з комплектами JDAM-ER GBU-32 в системи озброєння літаків типів МіГ-29 та Су-27;

некеровані авіаційні ракети типів CRV7 і Zuni з комплектами лазерного наведення WGU-58/B та типу Hydra-70 з комплектами лазерного наведення APKWS в систему озброєння літаків типу Су-25.

авіаційні бомби BLU-109/МК 84 з комплектом JDAM-ER GBU-31, КР AGM-158 JASSM/JASSM-ER, TAURUS KEPD-350, та AGM-84K SLAM-ER в систему озброєння літаків типу Су-24.

Інтеграції в системи озброєння літаків тактичної авіації запропонованих зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-поверхня” призведе до підвищення спроможності ПС ЗС України в ході російсько-української війни.

Таким чином, мета статті була досягнута.

Перспективними напрямками подальших досліджень є визначення зразків іноземних авіаційних засобів ураження класу “повітря-повітря”, які доцільно інтегрувати в системи озброєння винищувачів ПС ЗС України та радянських зенітних ракетних комплексів.

Список використаних джерел

1. Сорокін Д. М., Ковальов В. О. Шляхи модернізації бойового авіаційного комплексу тактичних літаків-бомбардувальників. *Збірник наукових праць ДНДІА*. 2018. Вип. 14(21). С. 64.
2. Байдак Ю. А., Дроздов С. С., Коваль В. В., Жарик О. М. Сучасний стан і перспективи розвитку винищувальної авіації Збройних Сил України. *Наука і оборона*. 2013. Вип. 4. С. 18.
3. Серяков І. І., Ракунова М. А., Коліко В. Р. Застосування комплексів озброєння з авіаційними баражуючими боеприпасами у сучасних та майбутніх військових конфліктах. *Збірник наукових праць ДНДІА*. 2022. Вип. 18(25). С. 227–232. DOI:10.54858/dndia.2022-18-34.
4. Адаптували під винищувачі”. *Повітряні Сили*

підтвердили, що українські пілоти використовують ракети HARM на МіГ-29. 2022. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/harm-raketi-vzhe-vikoristovuyutsya-na-ukrajinskikh-mig-29-novini-ukrajini-50265720.html> (дата звернення: 30.01.2024).

5. Пілон LAU-118/A, зовнішній акумулятор, кабель і допомога Raytheon – як ЗСУ інтегрували ракети AGM-88 HARM у винищувачі МіГ-29.: 2022. URL: <https://gadget.com/uk/167353-pilon-lau-118a-zovnishnii-akumulator-kabel-i-dopomoga-raytheon-iak-zsu-integruvali-raketi-agm-88-harm-u-vinishchuvachi-m/> (дата звернення: 30.01.2024).

6. Український Су-27 отримав нове озброєння: буде в парі з МіГ-29 кошмарити окупантів. 2022. URL: https://defence-ua.com/news/ukrajinskij-su_27_otrimav_nove_ozbrojennja_bude_v_pari_z_mig_29_koshmariti_okupantiv-8858.html (дата звернення: 30.01.2024).

7. Поки F-16 на підході: як ЗСУ адаптують західні ракети до радянських літаків, щоб бити росіян. 2023. URL: <https://novynarnia.com/2023/05/29/rocket-adopt/> (дата звернення: 30.01.2024).

8. Українські Су-27 застосовують високоточні JDAM-ER. 2023. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/ukrajinski-su-27-zastosovuyut-vysokotochni-jdam-er/> (дата звернення: 30.01.2024).

9. Ukrainian MiG-29's Mysterious JDAM-ER Pylon: Our Best Look Yet. 2023. URL: <https://www.twz.com/ukrainian-mig-29s-mysterious-jdam-er-pylon-our-best-look-yet> (дата звернення: 30.01.2024).

10. Як під JDAM-ER адаптували наші МіГ-29, і що цікаве можуть вішати під Су-25. 2023. URL: https://defence-ua.com/army_and_war/jak_pid_jdam_er_adaptuvali_nashi_mig_29_i_scho_dlja_samooboroni_mozhut_vishati_pid_su_25-12645.html (дата звернення: 30.01.2024).

11. Енциклопедія озброєння. JDAM, що роблять бомби розумними. 2023. URL: <https://www.dsnews.ua/ukr/encyklopedia-zbroi/encyclopedia-ozbrojennya-jdam-shcho-roblyat-bombi-rozumnimi-23022023-474912/amp>. (дата звернення: 30.01.2024).

12. Storm Shadow на українські Су-24 інтегрували за кілька тижнів, - гендиректор MBDA. 2024 URL: <https://focus.ua/uk/voennye-novosti/619637-storm-shadow-na-ukrajinski-su-24-integruvali-za-kilka-tizhniv-gendirektor-mbda> (дата звернення: 30.01.2024).

13. З'явилося перше відео з ракетою SCALP-EG під крилом Су-24, і запускати їх допомагають пілони від Tornado. 2023. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/zjavilosja_pershe_video_z_raketoju_scalp_eg_pid_krilom_su_24_i_zapuskati_jih_dopomagajut_piloni_vid_ado-12445.html (дата звернення: 30.01.2024).

14. ЗСУ показали застосування ракет Zuni з Су-25. 2023. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-pokazaly-zastosuvannya-raket-zuni-z-su-25/> (дата звернення: 30.01.2024).

15. Ukraine's Mi-24 Hinds Now Armed With U.S. 70mm Hydra Rockets. 2023. URL: <https://www.twz.com/ukraines-mi-24-hinds-now-armed-with-u-s-70mm-hydra-rockets> (дата звернення: 30.01.2024).

16. На українських Су-25 вже використовують ракети Zuni: відео і характеристики. 2023. URL: <https://apostrophe.ua/ua/news/society/2023-06-03/na-ukrajinskikh-su-25-uje-ispolzuyut-rakety-zuni-video-i-harakteristiki/298279> (дата звернення: 30.01.2024).

17. Герасименко В.В., Коротін С.М., Коровін І.П. та ін. Довідник з історії розвитку авіації та авіаційного озброєння. Київ : НУОУ, 2019. 176 с.

18. TAURUS KEPD 350E. MBDA: 2024. URL: <https://www.mbda-systems.com/product/taurus-kepd-350/>

(дата звернення: 30.01.2024).

19. Ukraine Is Getting F-16s. Now It Needs Cruise Missiles. 2023. URL: <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2023/08/21/ukraine-is-getting-f-16s-now-it-needs-cruise-missiles/?sh=28eb949a1515> (дата звернення: 30.01.2024).

20. JASSM: Reliable. Affordable. Proven. 2024. URL: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/jassm.html> (дата звернення: 30.01.2024).

21. Компанія Boeing отримала додатковий контракт на модернізацію авіаційних ракет для Саудівської Аравії. 2021. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/kompaniya-boeing-otrimala-dodatkovyj-kontrakt-na-modernizatsiyu-aviatsijnyh-raket-dlya-sauidivskoyi-araviyi/> (дата звернення: 30.01.2024).

22. Conservatives call on Canada to donate rockets to Ukraine — but not all are battle-ready. 2024. URL: <https://www.cbc.ca/news/politics/crv7-rockets-ukraine-canada-1.7103798> (дата звернення: 12.02.2024).

23. Що це за тисячі ракет CRV7, які Канада збирається утилізувати, але може передати Україні. 2024. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/scho_tse_zatishjachi_raket_crv7_jaki_kanada_zbirajetsja_utilizuvati_ale_mozhe_peredati_ukrajini-14332.html (дата звернення: 12.02.2024).

12.02.2024).

24. Mbdainc's semi-active laser guided zuni rocket scores a direct hit during moving target demonstration. 2009. URL: <https://mbdinc.com/mbda-incorporateds-semi-active-laser-guided-zuni-rocket-scores-a-direct-hit-during-moving-target-demonstration/> (дата звернення: 30.01.2024).

25. Direct hit in moving target demonstration of the semi-active laser guided zuni rocket. 2009. URL: <https://www.mbdainc.com/press-releases/direct-hit-in-moving-target-demonstration-of-the-semi-active-laser-guided-zuni-rocket/> (дата звернення: 30.01.2024).

26. APKWS® laser-guidance kit. 2024. URL: <https://www.baesystems.com/en-us/product/apkws> (дата звернення: 30.01.2024).

27. ЗСУ застосовують ракети APKWS на передовій. 2023. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-zastosovuyut-rakety-apkws-na-peredovij/> (дата звернення: 30.01.2024).

28. Air Force Tests Laser Guided Rockets In The Air-To-Air Role To Shoot Down Cruise Missiles. 2019. URL: <https://www.twz.com/31615/air-force-tests-laser-guided-rockets-in-the-air-to-air-role-to-shoot-down-cruise-missiles> (дата звернення: 30.01.2024).

Oleksandr Kapliuk

<https://orcid.org/0000-0002-9449-5395>

Yevhen Honcharenko (Doctor of philosophy)

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

Oleh Pechenko

<https://orcid.org/0009-0008-9925-3089>

Serhii Chernov

<https://orcid.org/0009-0008-0187-1162>

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE EXPERIENCE OF ADAPTATION AIR FORCE AIRCRAFT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE FOR THE USE OF FOREIGN WEAPONS “AIR-TO-SURFACE” CLASS

The aim of the article is to determine the samples of foreign aircraft weapons of the “air-to-surface” class, which should be integrated into the armament systems of tactical aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, taking into account the proven design solutions. During the writing of the article, general scientific theoretical research methods of scientific knowledge were used, such as: content analysis – for the purpose of in-depth study of the source base, theoretical analysis – to clarify the essence and disclosure of the most significant features of the problematic issues of adaptation of aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine for the use of foreign aviation weapons, synthesis – to combine the elements of the process under study selected during the analysis in order to determine the main ones methods of adaptation of aircraft for the use of foreign aircraft weapons, comparison – to establish similar and distinctive characteristics of samples of foreign aircraft weapons among themselves and with standard models of aircraft weapons of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine and to determine samples of foreign aircraft weapons of the “air-to-surface” class, which should be integrated into the weapons systems of tactical aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine.

A number of scientific publications are devoted to the issue of integration of foreign-made aircraft weapons not identify specific samples of foreign-made aircraft weapons that should be involved. Taking into account the above, the analysis of methods of adaptation of aircraft for the use of foreign aircraft weapons and the identification of samples of foreign aircraft weapons of the “air-to-surface” class, which should be integrated into the weapons systems of tactical aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, is an urgent scientific task.

Keywords: *aviation weapons, air-to-surface weapons, aircraft adaptation, aerial bombs, unguided air missiles, guided air missiles, cruise missiles.*

References

1. Sorokin, D. M., Koval'ov, V. O., (2018). Ways to modernize the combat aviation complex of tactical bombers.

Zbirnyk naukovykh prats' DNDIA. 2018. 14(21), 64.

2. Bajdak, Yu. A., Drozdov, S. S., Koval', V. V., Zharyk, O. M., (2013). The current state and prospects for the development of fighter aircraft of the Armed Forces of Ukraine.

Nauka i oborona. 4, 18.

3. Sieriakov, I. I., Rakunova, M. A., Koliko, V. R., (2022). Application of weapon complexes with aviation barrage ammunition in modern and future military conflicts. *Zbirnyk naukovykh prats' DNDIA*. 18 (25), 227–232. DOI: 10.54858/dndia.2022-18-34.

4. “Adapted for fighter jets”. The Air Force has confirmed that Ukrainian pilots use HARM missiles on the MiG-29 [online], (2022). *Nev voice*. Available at: <https://nv.ua/ukr/ukraine/events/harm-raketi-vzhe-vikorisovuyutsya-na-ukrajinskih-mig-29-novini-ukrajini-50265720.html> [Accessed : 30 January 2024].

5. The LAU-118/A pylon, external battery, cable and assistance from Raytheon as the Air Force integrated AGM-88 HARM missiles into the MiG-29 fighter [online], (2022). *Gadget*. Available at: <https://gadget.com/uk/167353-pylon-lau-118a-zovnishnii-akumuliator-kabel-i-dopomoga-raytheon-ia-k-zsu-integruvali-raketi-agm-88-harm-u-vidishchuvachi-m/> [Accessed : 30 January 2024].

6. The Ukrainian Su-27 received new weapons: it will be paired with the MiG-29 to nightmare the occupiers [online], (2022). *Defence Exspress*. Available at: https://defence-ua.com/news/ukrajinskij_su_27_otrimav_nove_ozbrojennja_bude_v_pari_z_mig_29_koshmariti_ukup_antiv-8858.html [Accessed : 30 January 2024].

7. While the F-16 is on the way: how the Armed Forces of Ukraine adapt Western missiles to Soviet aircraft to beat the Russians [online], (2023). *Novynarnia*. Available at: <https://novynarnia.com/2023/05/29/rocket-adopt/> [Accessed : 30 January 2024].

8. Ukrainian Su-27s use high-precision JDAM-ER [online], (2023). *Militaryni*. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/ukrayinski-su-27-zastosovuyut-vysokotochni-jdam-er/> [Accessed : 30 January 2024].

9. Ukrainian MiG-29's Mysterious JDAM-ER Pylon: Our Best Look Yet [online], (2023). *The War Zone*. Available at: <https://www.twz.com/ukrainian-mig-29s-mysterious-jdam-er-eylon-our-best-look-yet> [Accessed : 30 January 2024].

10. How our MiG-29s were adapted for JDAM-ER, and what interesting things can be hung under the Su-25 [online], (2023). *Defence Exspress*. Available at: https://defence-ua.com/army_and_war/jak_pid_jdam_er_adaptuvali_nashi_mig_29_i_scho_dlja_samooboroni_mozhut_vishati_pid_su_25-12645.html [Accessed : 30 January 2024].

11. Encyclopedia of weapons. JDAM, what makes bombs smart [online], (2023). *Dsnews.ua*. Available at: <https://www.dsnews.ua/ukr/encyklopedia-zbroi/encyklopedia-ozbrojennya-jdam-shcho-roblyat-bombi-rozumnimi-23022023-474912/amp>. [Accessed : 30 January 2024].

12. Storm Shadow on Ukrainian Su-24s integrated in a few weeks, MBDA CEO [online], (2024). *Fokus*. Available at: <https://fokus.ua/uk/voennye-novosti/619637-storm-shadow-na-ukrajinski-su-24-integruvali-za-kilka-tizhniv-gendirektor-mbda> [Accessed : 30 January 2024].

13. The first video of the SCALP-EG missile under the wing of the Su-24 has appeared, and pylons from Tornado help launch them [online], (2023). *Defence Exspress*. Available at: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/zjavilosja_pershe_video_z_raketoju_scalp_eg_pid_krilom_su_24_i_zapuskati_jih_dopomagajut_piloni_vid_tornado-12445.html [Accessed : 30 January 2024].

14. The Armed Forces showed the use of Zuni missiles from the Su-25 [online], (2023). *Militaryni*. Available at: <https://glavcom.ua/country/incidents/ukrajina-otrimaje-vid-ssha-novi-raketi-jak-jikh-vikorisovuvatimut-zsu-900699.html>

[Accessed : 30 January 2024].

15. Ukraine's Mi-24 Hinds Now Armed With U.S. 70mm Hydra Rockets [online], (2023). *The War Zone*. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-pokazaly-zastosuvannya-raket-zuni-z-su-25/> [Accessed : 30 January 2024].

16. Zuni missiles are already used on Ukrainian Su-25s: video and specifications [online], (2023). *Apostrof*. Available at: <https://apostrophe.ua/ua/news/society/2023-06-03-na-ukrajinskih-su-25-uje-ispolzuyut-rakety-zuni-video-i-harakteristiki/298279> [Accessed : 30 January 2024].

17. Gerasimenko, V. V., Korotin, S. M., Korovin, I. P. et., (2019). Reference on the history of the development of aviation and aviation weapons. Kyiv : National Defense University of Ukraine.

18. TAURUS KEPD 350E. MBDA [online], (2024). MBDA. Available at: <https://www.mbda-systems.com/product/taurus-kepd-350/> [Accessed : 30 January 2024].

19. Ukraine Is Getting F-16s. Now It Needs Cruise Missiles [online], (2023). *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/davidaxe/2023/08/21/ukraine-is-getting-f-16s-now-it-needs-cruise-missiles/?sh=28eb949a1515> [Accessed : 30 January 2024].

20. JASSM: Reliable. Affordable. Proven [online], (2024). *Lockheedmartin*. Available at: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/jassm.html> [Accessed : 30 January 2024].

21. Boeing has received an additional contract for the modernization of aircraft missiles for Saudi Arabia [online], (2024). *Militaryni*. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/kompaniya-boeing-otrymala-dodatkovyj-kontrakt-na-modernizatsiyu-aviatsijnyh-raket-dlya-saudijskoyi-araviji/> [Accessed : 30 January 2024].

22. Conservatives call on Canada to donate rockets to Ukraine – but not all are battle-ready [online], (2024). *CBC*. Available at: <https://www.cbc.ca/news/politics/crv7-rockets-ukraine-canada-1.7103798> [Accessed : 30 January 2024].

23. What are the thousands of CRV7 missiles that Canada is going to dispose of, but can transfer to Ukraine. [online], (2024). *Defence Exspress* Available at: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/scho_tse_za_tisjachi_raket_crv7_ja_ki_kanada_zbirajetsja_utilizuvati_ale_mozhe_peredati_ukrajini-14332.html [Accessed : 30 January 2024].

24. Mbda incorporated's semi-active laser guided zuni rocket scores a direct hit during moving target demonstration, [online] (2009). MBDA. Available at: <https://mbdainc.com/mbda-incorporateds-semi-active-laser-guided-zuni-rocket-scores-a-direct-hit-during-moving-target-demonstration/> [Accessed : 30 January 2024].

25. Direct hit in moving target demonstration of the semi-active laser guided zuni rocket [online], (2009). MBDA. Available at: <https://www.mbda-systems.com/press-releases/direct-hit-in-moving-target-demonstration-of-the-semi-active-laser-guided-zuni-rocket/> [Accessed : 30 January 2024].

26. APKWS® laser-guidance kit [online], (2024). *Baesystems*. Available at: <https://www.baesystems.com/en-us/product/apkws> [Accessed : 30 January 2024].

27. The Armed Forces of Ukraine use APKWS missiles on the front line [online], (2023). *Militaryni*. Available at: <https://mil.in.ua/uk/news/zsu-zastosovuyut-rakety-apkws-na-peredovij/> [Accessed : 30 January 2024].

28. Air Force Tests Laser Guided Rockets In The Air-To-Air Role To Shoot Down Cruise Missiles [online], (2019). *The War Zone*. Available at: <https://www.twz.com/31615/air-force-tests-laser-guided-rockets-in-the-air-to-air-role-to-shoot-down-cruise-missiles> [Accessed : 30 January 2024].

Рашевський Євген Юрійович

<https://orcid.org/0000-0002-0411-9522>

Пантелєєва Наталія Миколаївна (доктор економічних наук, кандидат технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0001-6457-6912>

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

РОЗШИРЕННЯ БОЙОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ВЕРТОЛЬОТІВ ТИПУ МИ-8 ПРИ ПОЛЬОТАХ ВНОЧІ В ОКУЛЯРАХ НІЧНОГО БАЧЕННЯ

У статті представлено результати спеціальних випробувань цільового застосування вертольотів типу Ми-8 з адаптованим світлотехнічним обладнанням під використання екіпажем окулярів нічного бачення у варіанті бойового застосування некерованого ракетного озброєння над рівнинною орієнтовною місцевістю. Доведено, що проведення таких випробувань зумовлено необхідністю цілодобового бойового застосування вертольотів на малих і гранично малих висотах в умовах повномасштабної війни, що було неможливим відповідно до прийнятих тимчасових обмежень. Охарактеризовано об'єкт, мету, завдання, програму та методику спеціальних випробувань. Визначено, що їх головним результатом стало зняття (повністю або частково) тимчасових і постійних експлуатаційних обмежень шляхом внесення відповідних змін до документації з керівництва льотної експлуатації вертольотів типу Ми-8. Сформульовано пропозиції та рекомендації щодо подальшого зняття обмежень при використанні окулярів нічного бачення.

Ключові слова: окуляри нічного бачення; візуальні польоти; випробування.

Вступ

В умовах повномасштабної війни розширення бойових можливостей вертольотів є вкрай важливим і передбачає удосконалення їх тактико-технічних характеристик, систем та обладнання, зокрема до таких відносять окуляри нічного бачення (ОНБ) з адаптованим світло технічним обладнанням (СТО), яке дозволяє забезпечити цілодобове бойове застосування вертольотів. Відповідно, виконання вертольотами польотів вночі з використанням ОНБ стало актуальним науково-технічним завданням, яке спрямовано на покращення безпеки польотів, розширення бойових можливостей та ефективності. Проте, на застосування ОНБ на вертольотах типу Ми-8 у 2020 році були встановлені тимчасові експлуатаційні обмеження. Обґрунтування і доведення можливості зняття таких обмежень і заборон потребує напрацювання науково-методичного базису, проведення та одержання експериментальних даних за результатами спеціальних випробувань (наземних і льотних). Їх зняття та введення в дію доповнень до керівництва з льотної експлуатації вертольотів, інструкцій та рекомендацій для льотної складу щодо техніки пілотування, підвищення рівня підготовки пілотів є вкрай важливим і необхідним для цілодобового бойового застосування вертольотів на малих і гранично малих висотах в умовах повномасштабної війни.

Матеріали та методи

Вирішення проблемних питань візуальних польотів з використанням ОНБ в умовах обмеженої видимості здійснюються за двома науковими

напрямами. По-перше, це розробка нових моделей ОНБ та виявлення їх впливу на зорову працездатність, психологічний стан та ергономіку пілотів. Цим аспектам приділяли увагу зарубіжні вчені М. Бірн (M. Byrne), Дж. Вітроу (J. Withrow), С. Вільямс (S. Williams), Дж. Ернандес (G. Hernandez), А. Пінкус (A. Pinkus), Р. Стедман (R. Steadman), С. Д. Ван Тріс (S. D. Van Trees), та інші, а також вітчизняні науковці – Н. Гончарова, О. Жилиєв, І. Іванова, О. Кравченко, Д. Стрюк та інші. По-друге, це розкриття потенційних можливостей ОНБ для вирішення проблем безпеки та пілотажу. Окремі питання можливостей прикладного застосування ОНБ для підвищення ефективності й безпеки польотів розглядали у своїх наукових публікаціях М. Брінкнер (M. Brickner) [1], М. Відуліч (M. Vidulich), М. Готьє (M. Gauthier), Д. Танг (D. Tang) [2], Дж. Гускйолен (J. Guskjolen), П. Гутерман (P. Guterman) [3], Г. Кларк (G. Clark) [4], Л. Принцель (L. Prinzel), К. Раш (C. Rash) [5], Р. Сабатіні (R. Sabatini) [6], Е. Тварянас (A. Tvarjanas), К. Хайатт (K. Hiatt) [7], Дж. Хайнеке (J. Heinecke) [8; 9], а також українські дослідники – Д. Башинський, А. Дмитрієв [10], В. Коломієць [11], О. Кузьміч [12], С. Кушнір [13], О. Неня [14], Є. Рашевський, Н. Пантелєєва [15, 16] та інші. Поряд з цим, питання оцінки потенційних можливостей і ризиків для вертольотів при польотах вночі з ОНБ за різними режимами та із використанням авіаційних засобів ураження (АЗУ) потребують поглиблення досліджень.

Методологічною основою дослідження є фундаментальні положення теорії випробувань і теорії ймовірності, методи системного аналізу,

математичної статистики, узагальнення, порівняння, експертні методи оцінювання.

Мета статті полягає в представленні результатів спеціальних випробувань цільового застосування вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ у варіанті бойового застосування некерованого ракетного озброєння над рівнинною орієнтирною місцевістю.

Результати

Науково-технічне завдання розширення бойових можливостей цільового застосування вертольотів при польотах вночі з ОНБ потребує системного і комплексного підходів вирішення, враховуючи його складність внаслідок необхідності виконання різних

видів тактичних задач залежно від зовнішніх і внутрішніх умов (рис. 1).

Упродовж 2011-2020 рр. в ДНДІ ВС ОВТ сформовано науковий та програмно-методичний базис в рамках проведення контрольних випробувань вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО і використання екіпажем ОНБ у польотах над рівнинною орієнтирною місцевістю. Водночас, цей базис потребує подальшого вдосконалення та розширення у вимірі “види тактичних задач” і “тип місцевості”, зокрема в частині бойового застосування різних видів АЗУ в режимі кабрування, типу місцевості гори та рівнинна безорієнтирна місцевість (море), а також для тактичної задачі “групова злітаність”.

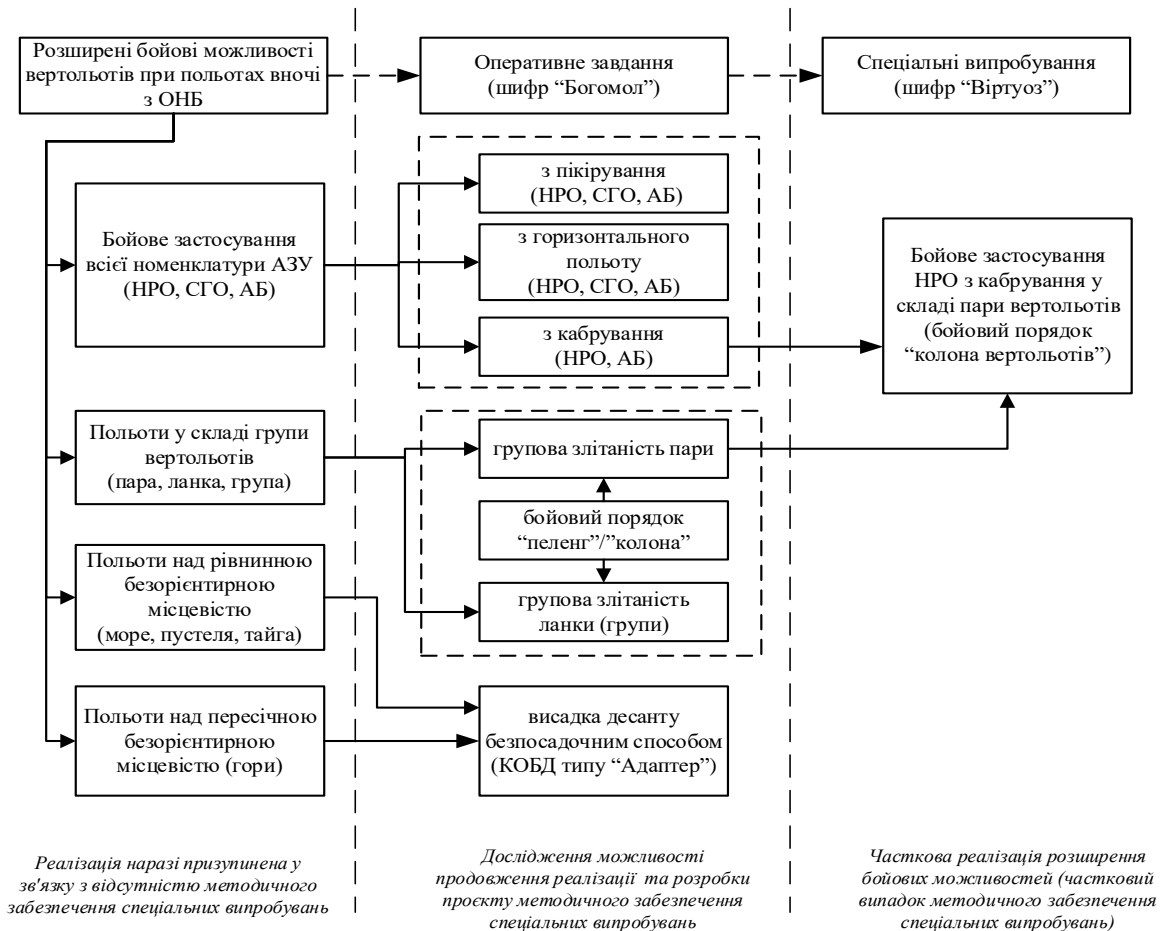


Рисунок 1. Декомпозиція досліджень і стан вирішення науково-технічного завдання розширення бойових можливостей вертольотів. Джерело: власна розробка авторів

Примітка: НАР – некеровані авіаційні ракети; НРО – некероване ракетне озброєння; СГО – стрілецько-гарматне озброєння; АБ – авіаційні бомби.

На підставі проведених контрольних випробувань у 2020 році були встановлені окремі тимчасові експлуатаційні обмеження на умови застосування ОНБ (заборона на виконання польотів вночі в ОНБ у складі групи вертольотів, при бойовому застосуванні авіаційних засобів ураження, при польотах в горах і над рівнинною безорієнтирною місцевістю). Їх зняття передбачено здійснювати поетапно за результатами проведення окремих спеціальних випробувань.

Відповідно до “Спільного рішення про порядок виконання робіт з розширення бойових можливостей вертольотів типу Ми-8 при виконанні польотів вночі із застосуванням ОНБ у складі групи та бойовому застосуванні всієї номенклатури авіаційних засобів ураження з вертольоту”, затвердженого Командувачем Сухопутних військ Збройних Сил України 01.09.2020 р. та Командувачем Повітряних Сил Збройних Сил України 17.08.2020 р. передбачено виконання наукових досліджень (оперативних

завдань) і проведення спеціальних випробувань упродовж 2023-2024 років для прийняття обґрунтованих рішень про зняття встановлених тимчасових експлуатаційних обмежень по виконанню польотів вночі із ОНБ, введення в дію доповнень до керівництва з льотної експлуатації вертольотів, інструкцій та методичних рекомендацій для льотної складу з техніки пілотування.

На виконання Спільного рішення у вересні-жовтні 2023 року ДНДІ ВС ОВТ виконано програму спеціальних випробувань вертольотів типу Ми-8 при польотах вночі в ОНБ із застосуванням некерованого ракетного озброєння (НРО).

Об'єктами спеціальних випробувань було обрано два вертольоти типу Ми-8 зі встановленою системою НРО та з СТО під спеціальне використання екіпажем ОНБ.

Метою спеціальних випробувань визначено:

1) оцінку ефективності цільового застосування вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ, у варіанті бойового застосування НРО вночі над рівнинною орієнтирною місцевістю;

2) видачу рекомендацій щодо можливості зняття тимчасових обмежень умов застосування (розширення спроможностей) для вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ, в частині бойового застосування НРО вночі над рівнинною орієнтирною місцевістю;

3) отримання матеріалів для коригування керівництва з льотної експлуатації (інструкції екіпажу) вертольотів типу Ми-8, в частині бойового застосування НРО вночі над рівнинною орієнтирною місцевістю.

Для здійснення спеціальних випробувань розроблено методику, яка передбачає розрахунок інтегрального (комплексного) показника ефективності цільового застосування вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ (для заданого варіанту бойового застосування), як ймовірність Р_{бз} виконання типового бойового завдання (ТБЗ), а саме:

$$P_{бз} = P_{в} \cdot P_{м} \cdot P_{н} \cdot K_{с}, \quad (1)$$

де $P_{в}$ – ймовірність виявлення типових наземних об'єктів (перешкод) – для етапу маршрутного польоту на гранично малій висоті ($H_r < 50$ м);

$P_{м}$ – ймовірність безаварійного маневрування (витримування параметрів) – для етапу бойового застосування НАР в режимі кабрирування;

$P_{н}$ – ймовірність безвідмовної роботи обладнання, яке забезпечує польоти вночі – для етапів маршрутного польоту і бойового застосування;

$K_{с}$ – коефіцієнт синергетичного (системного) ефекту, який враховує підвищення ефективності

виконання ТБЗ групою (парою) вертольотів.

Ймовірність $P_{в}$ виявлення типових наземних об'єктів в функції дальності D (від вертольоту до об'єкту) розраховується згідно [17] таким чином:

$$P_{в} = e^{-\left(\frac{K_{оес} \cdot D^2}{K_{Лл} \cdot K_{мдв}}\right)}, \quad (2)$$

де $K_{оес}$ – коефіцієнт заданих показників (параметрів і характеристик) оптико-електронних систем (в нашому випадку – ОНБ);

D – фактична похила дальність до типового наземного об'єкту (перешкоди), яка визначається в ході проведення натурного експерименту, м;

$K_{Лл}$ – поправочний коефіцієнт, який враховує відмінності між заданим та фактичним значеннями лінійного розміру об'єкту (цілі);

$K_{мдв}$ – поправочний коефіцієнт, який враховує відмінності між заданим та фактичним значеннями метеорологічної дальності видимості.

Оскільки маневрування з бойовим застосуванням НАР в режимі кабрирування передбачає швидкоплинну зміну у часі параметрів просторового положення вертольоту (тангаж, курс, крен – як випадкові змінні X), ймовірність $P_{м}$ розраховується як добуток ймовірностей для кожного параметру:

$$P_{м} = P_{м}^{танг} \cdot P_{м}^{курс} \cdot P_{м}^{крен}. \quad (3)$$

$$P_{м}^{танг} = F(\vartheta) = \int_{-\infty}^{\vartheta} \frac{1}{\sigma_{\vartheta} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu_{\vartheta})^2}{2\sigma_{\vartheta}^2}} dt, \quad (4)$$

де ϑ і t – поточний кут тангажу, (рад) і час зміни кута тангажу, (с);

μ_{ϑ} і σ_{ϑ} – параметри нормального розподілу ймовірностей для кута тангажу.

$$P_{м}^{курс} = F(\varphi) = \int_{-\infty}^{\varphi} \frac{1}{\sigma_{\varphi} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu_{\varphi})^2}{2\sigma_{\varphi}^2}} dt, \quad (5)$$

де φ і t – поточний кут курсу, (рад) і час зміни кута курсу, (с);

μ_{φ} і σ_{φ} – параметри нормального розподілу ймовірностей для кута курсу.

$$P_{м}^{крен} = F(\gamma) = \int_{-\infty}^{\gamma} \frac{1}{\sigma_{\gamma} \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\mu_{\gamma})^2}{2\sigma_{\gamma}^2}} dt, \quad (6)$$

де γ і t – поточний кут крену, (рад) і час зміни кута крену, (с);

μ_{γ} і σ_{γ} – параметри нормального розподілу ймовірностей для кута крену.

Ймовірність безвідмовної роботи обладнання розраховується:

$$P_{н} = P_{н}^{ОНБ} + P_{н}^{СТО} = e^{-\lambda_{ОНБ}t} + e^{-\lambda_{СТО}t}, \quad (7)$$

де $P_{н}^{ОНБ}$ і $P_{н}^{СТО}$ – ймовірності безвідмовної роботи ОНБ і СТО;

$\lambda_{ОНБ}$ і $\lambda_{СТО}$ – інтенсивності (параметри розподілу) відмов ОНБ і СТО;

t – час безвідмовної роботи обладнання (загальний час виконання ТБЗ).

Коефіцієнт синергетичного (системного) ефекту визначається:

$$K_c = K_c^B + K_c^M = \frac{P_{B2}}{P_{B1}} + \frac{P_{M2}}{P_{M1}}, \quad (8)$$

де $K_{св}$ і $K_{см}$ – коефіцієнти синергії на етапах маршруту та маневрування;

P_{B1} і P_{M1} – ймовірності P_B і P_M при польоті для одиночного вертольоту;

P_{B2} і P_{M2} – ймовірності P_B і P_M для веденого вертольоту з групи (парі).

Спеціальні випробування проводились вдень, сутінках і вночі, в простих метеоумовах. Льотні випробування з використовувались ОНБ типу F-4949 і захисними шоломами типу HGU-56/P RWH за різними умовами та режимами польоту включали:

1) контрольний (ознайомлювальний) політ на вертольоті типу Ми-8 за маршрутом з бойовим застосуванням НРО з кабрирування;

2) залікові польоти на вертольотах типу Ми-8 за маршрутом з бойовим застосуванням НРО з кабрирування при різних рівнях природної освітленості на місцевості;

3) перевірку можливості виявлення та розпізнавання типових наземних об'єктів за маршрутом польоту над рівнинною орієнтирною місцевістю;

4) оцінку рівня безпеки польотів;

5) оцінку ергономічного забезпечення;

6) оцінку алгоритму дій екіпажу.

За програмою виконано 45 випробувальних польотів із загальним нальотом 16 год 30 хв, у тому числі з пуском некерованих авіаційних ракет (НАР) типу С-8П і відстрілом хибних типових цілей (ХТЦ) типу ППИ-50/ППИ-26. Типовими наземними об'єктами визначено: “опора ЛЕП”, “кордон лісного масиву”, “вантажний автомобіль”, “колона автомобілів з увімкненими фарами”, “окремі дерева”, “стовпи лінії зв'язку”. Позначення рубежу початку маневру (введення в кабрирування) здійснювалось за допомогою інфрачервоних маркерів. Відмов і несправностей систем пуску НАР і відстрілу ХТЦ, які б перешкождали проведенню випробувань, не виявлено, порядок їх функціонування відповідав вимогам експлуатаційної документації (у т.ч. з льотної експлуатації).

Поточні координати фіксують місцеположення вертольоту в характерні моменти часу за допомогою приймача супутникової навігаційної системи Garmin GPS MAP 695 зі складу системи бортового вимірювання вертольоту Ми-8МСБ-В (рис. 2). Характерні моменти часу визначає командир

екіпажу натисканням бойової кнопки при виявленні типової наземної цілі, виході на рубіж початку маневру кабрирування, пуску НАР. Вони синхронізовані за часом UTC.



Рисунок 2. Скріншот Garmin GPS MAP 695 випробувального польоту вертольоту типа Ми-8

За результатами випробувань одержано синхронізовану польотну, відео- та навігаційну інформацію в повному обсязі та з необхідною якістю для подальшого використання при оцінці ефективності цільового застосування вертольотів типу Ми-8 (рис. 3, 4).

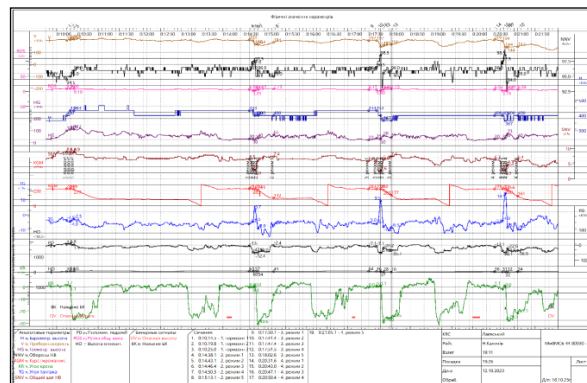


Рисунок 3. Сигналограма БУР-4-1-07-01 вертольоту Ми-8МСБ-В на бойове застосування НАР при типу С-8 вночі в парі

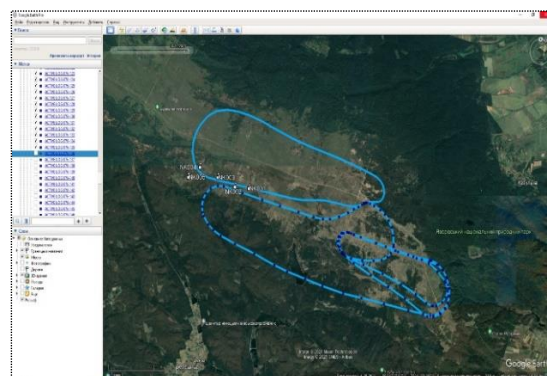


Рисунок 4. Трек маршруту польоту на бойове застосування НАР вертольоту Ми-8МСБ-В (в парі – ведучий) Google Earth Pro

Фізичні значення параметрів (команд), зареєстрованих засобами об'єктивного контролю і системою бортового вимірювання вертольотів типу Ми-8 в характерні моменти часу (випробувальні польоти на бойове застосування АЗУ) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні значення параметрів (команд), зареєстрованих засобами об'єктивного контролю і системою бортового вимірювання вертольотів типу Ми-8 в характерні моменти часу під час випробувальних польотів на бойове застосування АЗУ (фрагмент)

№ зп	№ польоту, умови	№ заходу	Координати, град.		Параметри польоту				Характерний момент часу
			широта, N	довгота, E	H _г , м	V _{пр} , км/год	γ, град.	ϑ, град.	
1	16-й політ ніч – одиночно Ми-8МСБ-В	1	50°01'12,9"	23°42'37,0"	40	197	1,1	-5,6	“режим_2”
2			50°01'13,8"	23°42'32,5"	40	158	2,2	5,5	“режим_3” (НАР)
3			---	---	50	155	-11,1	-3,0	---
4		2	50°01'12,6"	23°42'41,2"	35	192	0,6	-5,6	“режим_2”
5			50°01'14,0"	23°42'34,7"	45	144	0,6	10,0	“режим_3” (НАР)
6			50°01'15,6"	23°42'25,9"	58	139	-12,2	-3,5	“режим_4”
7		3	50°01'12,3"	23°42'40,9"	35	200	-0,6	-5,6	“режим_2”
8			50°01'14,6"	23°42'29,2"	54	137	1,1	14,5	“режим_3” (НАР)
9			50°01'14,9"	23°42'13,7"	73	130	-10,6	-0,5	“режим_4”
10		4	50°01'12,2"	23°42'37,3"	25	191	-0,6	-5,0	“режим_2”
11			50°01'13,4"	23°42'30,9"	40	133	1,1	14,5	“режим_3” (НАР)
12			50°01'14,9"	23°42'23,2"	69	123	-13,9	-6,1	“режим_4”

Окремим питанням спеціальних випробувань була оцінка забезпечення рівня безпеки та ергономічна оцінка польотів вночі в ОНБ, яка передбачала:

1) аналіз досвіду експертів для виконання польотів на гранично малій висоті (≈ 5 м) парою вертольотів в умовах денного освітлення над рівнинною місцевістю, а також в ОНБ на висоті (≈ 30 м) парою вертольотів в зімкнутому строю;

2) аналіз анкетного опитування експертів щодо можливості членів екіпажу вертольотів виконувати політ по маршруту в ОНБ;

3) аналіз анкетного опитування експертів щодо можливості членів екіпажу вертольотів виконувати польоти вночі в ОНБ із застосуванням НАР;

4) аналіз звітів членів екіпажу про виконання завдань на політ.

За результатами аналізу можливих факторів ризику (технічних/тактичних, зовнішніх/внутрішніх) встановлено, що прийнятний рівень безпеки польотів забезпечується, однак існує пряма залежність між факторами ризику та фактичним рівнем забезпечення безпеки польотів.

Зроблено висновок, що чим вище технічні фактори (покоління ОНБ і якість адаптації СТО), нижче тактичні фактори (складність польоту і тактичної обстановки), вище рівень природньої освітленості місцевості і нижче складність метеоумов і характер місцевості, вище внутрішні фактори (фізичні дані та рівень натренованості екіпажу), тим вище рівень забезпечення безпеки

польотів.

Ергономічне забезпечення робочих місць членів екіпажу при виконанні польотів вночі в ОНБ в цілому задовольняє вимогам нормативних документів до системи “Оператор-машина-середовище” і дозволяє виконувати типові бойові завдання на всіх етапах: маршрутний політ з визначенням дальності виявлення типових наземних об'єктів та маневрування з бойовим застосуванням АЗУ (пуском НАР і відстрілом ХТЦ).

Результатами спеціальних випробувань стало зняття (повністю або частково) тимчасових і постійних експлуатаційних обмежень вертольотів типу Ми-8 при використанні ОНБ (табл. 2).

Обговорення

Під час спеціальних випробувань уперше в умовах рівнинно орієнтованої місцевості:

1) виконано групові польоти вночі вертольотами в парі з використанням ОНБ;

2) виконано бойове застосування вночі в ОНБ АЗУ (НАР типу С-8) і засобів захисту бортового комплексу оборони (ХТЦ типу ППІ-50/ППІ-26);

3) позначено рубіж початку маневру введення в кадрування за допомогою наземних інфрачервоних маркерів вітчизняного виробництва.

Підтверджено кореляцію між типами ОНБ (поколінням електронно-оптичних перетворювачів) або природньої освітленості на місцевості та можливості виконання польотів вночі.

Таблиця 2

Обсяг і зміст знятих експлуатаційних обмежень при використанні ОНБ за результатами спеціальних випробувань вертольотів типу Ми-8

№ з/п	Найменування діючих обмежень (умов)	Отримано у випробуваннях	Висновок про зняття
Тимчасові експлуатаційні обмеження вертольотів типу Ми-8			
1	Заборона виконання польотів в горах	не оцінювалось	Обмеження є діючими
2	Заборона виконання польотів над рівнинною безорієнтирною місцевістю	не оцінювалось	
3	Заборона бойового застосування АЗУ:		
3.1	Некерованого ракетного озброєння:	можливість зняття обмежень:	Обмеження знімаються частково
	з горизонтального польоту;	підтверджено	
	з пікірування;	не оцінювалось	
	з кабрирування	підтверджено (одиначно)	
3.2	Стрілецько-гарматного озброєння	не оцінювалось	Обмеження є діючими
3.3	Бомбардувального озброєння	не оцінювалось	
4	Заборона польотів у складі групи:		
4.1	Пара вертольотів	підтверджена можливість групових польотів парою вертольотів (50 м×70 м) в бойовому порядку “пеленг”	Обмеження знімаються повністю
4.2	Ланка (група) вертольотів	не оцінювалось	Обмеження знімаються повністю
		можливо розповсюдити за умов збільшення інтервалу × відстанції між парами вертольотів (100 м × 150 м)	
Постійні експлуатаційні обмеження вертольотів типу Ми-8 (при використанні ОНБ)			
5	Політ на гранично малій висоті над рівнинною поверхнею дозволяється виконувати на висотах не менше:	підтверджена можливість польоту на гранично малій висоті над рівнинною поверхнею на висотах не менше:	Обмеження знімаються повністю
	15 м – вдень;	10 м (5 м – короткочасно) – вдень;	
	150 м (50 м) – вночі	30 м – вночі	
6	Виражі та розвороти у польоті виконувати з креном не більше:	можливість виражів і розворотів у польоті ($G_b \leq 11100$ кг) з креном до:	Обмеження знімаються
	15° (20°) – вночі в ПМУ;	підтверджено: 30° – вночі в ПМУ;	
	15° – вдень і вночі в СМУ	не оцінювалось	
7	Умови бойового застосування АЗУ некерованого ракетного озброєння – перевищення вертольоту відносно цілі (для НАР типу С-8) вночі, м:	можливість зниження нижньої межі умов бойового застосування НРО – перевищення вертольоту відносно цілі (для НАР типу С-8) вночі, м:	Умови змінюються частково
	з горизонтального польоту: 150–200;	підтверджено: 30–200;	
	з пікірування: 200–1600;	не оцінювалось;	
	з кабрирування: 150–500	підтверджено: 30–500	

Проведення спеціальних випробувань дозволило сформулювати пропозиції та рекомендації при використанні ОНБ щодо подальшого зняття обмежень:

1. Продовжити проведення спеціальних випробувань вертольотів типу Ми-8 за темами “Прометей-Гори”, “Прометей-Море” для подальшого зняття тимчасової заборони виконання польотів в горах і над рівнинною безорієнтирною місцевістю, а також “Прометей-Залп” для зняття тимчасової заборони бойового застосування АЗУ (повністю).

2. Розглянути можливість проведення спеціальних випробувань вертольотів типу Ми-24 на підставі прийняття окремого спільного рішення за скороченою програмою, враховуючи позитивні

результати випробувань вертольотів типу Ми-8 за темами “Прометей-Гори”, “Прометей-Море”, “Прометей-Залп”.

3. Легалізувати використання ОНБ типу F-4949 і захисних шоломів типу HGU-56/P RWH на вертольотах типу Ми-8. Під час раніше проведених контрольних випробувань використовувались ОНБ типу PNL-3 і ЗШ типу THL-5NV.

4. Врахувати практичний досвід бойового застосування вертольотів державної авіації при плануванні спеціальних випробувань з розширення бойових можливостей стосовно оптимізації обсягу, режимів і умов бойового застосування вертольотів в програмі спеціальних випробувань і тимчасових змінах (доповненнях) до ІЕ (КЛЕ). Програма спеціальних випробувань і тимчасові зміни

(доповнення) до ІЕ вертольоту типу Ми-24 будуть передбачати польоти на ГМВ: 10 м (5 м) – вдень, 50 м (30 м) – вночі.

5. Удосконалити облік ІЕ (КЛЕ), змін (доповнень) до них для вертольотів державної авіації у частині адаптації СТО під використання ОНБ шляхом виключення дублювання та невідповідності між ІЕ (КЛЕ) від різних виконавців робіт з адаптації СТО під використання ОНБ.

Висновки

Спеціальні випробування вертольотів типу Ми-8 (Ми-8МСБ-В та Ми-8МТВ-5) з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ у варіанті бойового застосування НРО (НАР типу С-8) вночі над рівнинною орієнтирною місцевістю проведені згідно програми та методики випробувань у повному обсязі і з необхідною якістю.

Головним результатом спеціальних випробувань стало зняття (повністю або частково) тимчасових експлуатаційних обмежень вертольотів типу Ми-8 з адаптованим СТО під використання екіпажем ОНБ в частині бойового застосування НРО над рівнинною орієнтирною місцевістю. Зокрема, дозволено здійснювати польоти вночі на гранично малій висоті над рівнинною поверхнею на висотах не менше 30 м (проти 50 м) і креном при маневруванні не більше 300 (проти 200). Зняття обмежень здійснено шляхом внесення відповідних змін до документації з льотної експлуатації (КЛЕ) вертольотів типу Ми-8 (Ми-8МТ, Ми-8МСБ-В, Ми-8МТВ-5).

У подальшому передбачається проведення спеціальних випробувань із застосуванням усієї номенклатури авіаційних засобів ураження, виявлення особливостей польотів вертольотів типу Ми-24 вночі в ОНБ за видами тактичних задач.

Список використаних джерел

1. M.S. Brickner Helicopter Flights with Night-Vision Goggles – Human Factors Aspects. California, USA : Ames Research Center, 1989.
2. Michelle S. Gauthier, Avi Parush, Todd Macuda, Denis Tang, Gregory Craig, Sion Jennings “The impact of night vision goggles on way-finding performance and the acquisition of spatial knowledge”, Human Factors. Vol. 50, Issue 2, P. 311–321. 2008.
3. P.S. Guterman, R.S. Allison, Y. Sakano, J.E. Zacher, P. Thomas, S. Jennings, T. Macuda “Assessing night vision goggle performance in security applications”. Academia. [Online]. Available: <https://yorku.academia.edu/PearlGuterman/> Accessed on: 21.03.2024.
4. G. Clark, “Helicopter Handling Qualities in the Degraded Visual Environment”, PhD dissertation, DVEY London : University of Liverpool, 2003.
5. C. E. Rash et al., The Effect of a Monocular Helmet Mounted Display on Aircrew Health : A Cohort Study of Apache AH Mkl Pilots Two-Year Baseline Review. Fort Rucker, Alabama : U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2004. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA427797.pdf> Available: 21.03.2024
6. R. Sabatini, M.A. Richardson, M. Cantiello, M.

Toscano, P. Fiorini, D. Zammit-Mangion, A. Gardi “Experimental Flight Testing of Night Vision Imaging Systems in Military Fighter Aircraft”, Journal of Testing and Evaluation. Vol. 42, Issue 1. P. 1–17. 2014.

7. K.L. Hiatt and others Apache Aviator Visual Experiences with the IHADSS Helmet-Mounted Display in Operation Iraqi Freedom. Alabama, USA : U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2004.

8. K.J. Heinecke, C.E. Rash, R. Ranaudo, K.L. Hiatt Apache Aviator Evaluation of Dual-Technology Night Vision Systems in Operation Iraqi Freedom (OIF) Urban Combat. Virginia, USA : Defense Technical Information Center, 2008.

9. C.E. Rash, K. Heinecke, G. Francis, K.L. Hiatt “Visual Perceptual Issues of the Integrated Helmet and Display Sighting System” in SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, USA, April 14th 2008.

10. І.С. Кравчук, В. В. Тараненко, Д. В. Башинський, А. Г. Дмитрієв “Методичний підхід до визначення умов забезпечення неураження літака при бомбометанні з кабрирування у зоні дії засобів протиповітряної оборони”. Системи озброєння і військова техніка. № 2 (66). С. 51–58. 2021. doi: 10.30748/soivt.2021.66.07.

11. В.В. Коломієць “Аналіз особливостей використання окулярів нічного бачення пілотом вертольоту та їх впливу на безпеку польотів”. Системи управління, навігації та зв'язку. № 1. С. 36–39. 2023. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.036>

12. О. Кузьміч, В. Кузнецов, М. Андрушко “Аналіз застосування екіпажами вертольотів сучасних окулярів нічного бачення на основі електронно-оптичного перетворювача. Перспективні оптоелектронні системи спостереження та повітряної розвідки для вертольотів”. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. Т. 5, № 3. С. 50–55. 2020.

13. С. Кушнір, А. Зірка, В. Сілков, І. Кравчук “Удосконалення бомбометання з кабрирування як засіб підвищення ефективності бойового застосування ударного літального апарату”. Озброєння та військова техніка. № 31 (3). С. 44–50. 2022.

14. О.В. Неня “Відмінності та особливості пристроїв нічного бачення і тепловізорів”. Сучасна спеціальна техніка. № 3 (50). С. 75–86. 2017.

15. Є. Ю. Рашевський, В. В. Кохан, Т. Г. Дудник “Проблемні питання набуття спроможності авіацією Збройних Сил України з використанням окулярів нічного бачення при польотах вночі” у Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах, Чернігів, Україна, 3-4 вер. 2020. Чернігів, Україна: Видавець Брагинець О. В., 2020, с. 216.

16. Є.Ю. Рашевський, Н.М. Пантелєєва “Зняття тимчасових експлуатаційних обмежень для вертольотів типу Ми-8 при польотах вночі в ОНБ” у Логістичні системи складових сектору безпеки і оборони України: проблеми та тенденції розвитку, Харків, Україна, 20 лют. 2024. Харків, Україна: НАНГУ, 2024. с.97-98.

17. С.В. Николаев “Определение в испытанях вероятности обнаружения наземных объектов с борта летательного аппарата”. Научный Вестник МГТУ ГА. № 5, том 20. С. 131–144. 2017.

18. Акт № 200/22013/1-062 спеціальних випробувань вертольотів типу Ми-8 при виконанні польотів вночі в окулярах нічного бачення із застосуванням некерованого ракетного озброєння. ДНДІ В(С) ОВТ. 2023.

Yevhen Rashevskiy

<https://orcid.org/0000-0002-0411-9522>

Natalia Pantieliieva (Doctor of Economics Sciences, Candidat of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-6457-6912>

The State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy, Ukraine

EXPANSION OF COMBAT CAPABILITIES FOR MI-8 HELICOPTERS WHEN FLYING AT NIGHT WITH NIGHT VISION GOGGLES

The article substantiates the importance of expanding the combat capabilities of the targeted use of Mi-8 helicopters when flying at night with night vision goggles in full-scale war conditions. A decomposition of the solution to this scientific and technical task is provided in accordance with the formation of a scientifically based program and methodical basis for conducting special tests. It has been proven that such tests are due to the need for round-the-clock combat use of helicopters at low and extremely low altitudes in conditions of a full-scale war, which was impossible in accordance with accepted time restrictions. The object, purpose, tasks, program and methodology of special tests on the removal of certain temporary restrictions on the conditions of use of night vision goggles are characterized. It was determined that the main result of the special tests was the removal (in full or in part) of temporary and permanent operational restrictions by making appropriate changes to the documentation for the flight operation of Mi-8 helicopters. Proposals and recommendations for further lifting restrictions on the use of night vision goggles have been formulated.

Keywords: Night Vision Goggles, Visual Flight Rules, test.

References

1. M.S. Brickner Helicopter Flights with Night-Vision Goggles – Human Factors Aspects. California, USA : Ames Research Center, 1989.
2. Michelle S. Gauthier, Avi Parush, Todd Macuda, Denis Tang, Gregory Craig, Sion Jennings “The impact of night vision goggles on way-finding performance and the acquisition of spatial knowledge”, Human Factors. Vol. 50, Issue 2, P. 311–321. 2008.
3. P.S. Guterman, R.S. Allison, Y. Sakano, J.E. Zacher, P. Thomas, S. Jennings, T. Macuda “Assessing night vision goggle performance in security applications”. Academia. [Online]. Available: <https://yorku.academia.edu/PearlGuterman/> Accessed on: 21.03.2024.
4. G. Clark, “Helicopter Handling Qualities in the Degraded Visual Environment”, PhD dissertation, DVEY London : University of Liverpool, 2003.
5. C. E. Rash et al., The Effect of a Monocular Helmet Mounted Display on Aircrew Health : A Cohort Study of Apache AH Mkl Pilots Two-Year Baseline Review. Fort Rucker, Alabama : U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2004. [Online]. Available: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA427797.pdf> Available: 21.03.2024.
6. R. Sabatini, M.A. Richardson, M. Cantiello, M. Toscano, P. Fiorini, D. Zammit-Mangion, A. Gardi “Experimental Flight Testing of Night Vision Imaging Systems in Military Fighter Aircraft”, Journal of Testing and Evaluation. Vol. 42, Issue 1. P. 1–17. 2014.
7. K.L. Hiatt and others Apache Aviator Visual Experiences with the IHADSS Helmet-Mounted Display in Operation Iraqi Freedom. Alabama, USA : U.S. Army Aeromedical Research Laboratory, 2004.
8. K.J. Heinecke, C.E. Rash, R. Ranaudo, K.L. Hiatt Apache Aviator Evaluation of Dual-Technology Night Vision Systems in Operation Iraqi Freedom (OIF) Urban Combat. Virginia, USA : Defense Technical Information Center, 2008.
9. C.E. Rash, K. Heinecke, G. Francis, K.L. Hiatt “Visual Perceptual Issues of the Integrated Helmet and Display Sighting System” in SPIE Defense and Security Symposium, Orlando, Florida, USA, April 14th 2008.
10. I.S. Kravchuk, V. V. Taranenko, D. V. Bashinskij, A. G. Dmitriyev “Metodichnij pidhid do viznachennya umov zabezpechennya neurazhennya litaka pri bombometanni z kabriruvannya u zoni diyi zasobiv protipovitryanoyi oboroni”. Sistemi ozbroynennya i vijskova tehnika. № 2 (66). S. 51–58. 2021. doi: 10.30748/soivt.2021.66.07.
11. V.V. Kolomyiey “Analiz osoblivostej vikoristannya okulyariv nichnogo bachennya pilotom vertolotu ta yih vplivu na bezpeku polotiv”. Sistemi upravlinnya, navigaciyi ta zv'yazku. № 1. S. 36–39. 2023. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.036>.
12. O. Kuzmich, V. Kuznecov, M. Andrushko “Analiz zastosuvannya ekipazhami vertolotiv suchasnih okulyariv nichnogo bachennya na osnovi elektronno-optichnogo peretvoryuvacha. Perspektivni optoelektronni sistemi sposterezheniya ta povitryanoyi rozvidki dlya vertolotiv”. Zbirnik naukovih prac Derzhavnogo naukovogo-doslidnogo institutu viprobuvan i sertifikaciyi ozbroynennya ta vijskovoyi tehniki. T. 5, № 3. S. 50–55. 2020.
13. S. Kushnir, A. Zirka, V. Silkov, I. Kravchuk “Udoskonalennya bombometannya z kabriruvannya yak zasib pidvishennya efektyvnosti bojovogo zastosuvannya udarnogo litalnogo aparatu”. Ozbroynennya ta vijskova tehnika. № 31 (3). C. 44–50. 2022.
14. O.V. Nenyta “Vidminnosti ta osoblivosti pristroyiv nichnogo bachennya i teplovi zoriv”. Suchasna specialna tehnika. № 3 (50). S. 75–86. 2017.
15. Ye. Yu. Rashevskij, V. V. Kohan, T. G. Dudnik “Problemni pitannya nabuttya spromozhnosti aviaciyeyu Zbrojnih Sil Ukrayini z vikoristannyam okulyariv nichnogo bachennya pri polotah vnochi” u Stvorennya ta modernizaciya ozbroynennya i vijskovoyi tehniki v suchasnih umovah, Chernigiv, Ukrayina, 3-4 ver. 2020. Chernigiv, Ukrayina: Vidavec Bragynec O. V., 2020, s. 216.
16. Ye.Yu. Rashevskij, N.M. Pantelyeyeva “Znyattya timchasovih ekspluatsacijnih обмеzen dlya vertolotiv tipu Mi-8 pri polotah vnochi v ONB” u Logistichni sistemi skladovih sektoru bezpeki i oboroni Ukrayini: problemi ta tendenciyi rozvitku, Harkiv, Ukrayina, 20 lyut. 2024. Harkiv, Ukrayina: NANGU, 2024. s.97-98.
17. S.V. Nikolaev “Opredelenie v ispytaniyah veroyatnosti obnaruzheniya nazemnyh obektov s borta letatel'nogo aparata”. Nauchnyj Vestnik MGTU GA. № 5, tom 20. S. 131–144. 2017.
18. Akt № 200/22013/1-062 specialnih viprobuvan vertolotiv tipu Mi-8 pri vikonanni polotiv vnochi v okulyarah nichnogo bachennya iz zastosuvannyam nekerovanogo raketnogo ozbroynennya. DNDI V(S) OVT. 2023.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-81-86

УДК 623.46

¹Резнік Володимир Ігорович (кандидат історичних наук, старший науковий співробітник)

<https://orcid.org/0000-0003-1479-4852>

¹Ремез Артем Володимирович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0003-4970-1097>

²Серяков Ігор Ігорович

<https://orcid.org/0000-0002-4618-5587>

¹Національний університет оборони України, Київ, Україна

²Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

НАПРЯМИ РОЗВИТКУ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НАПРИКІНЦІ ХХ – У ПЕРШІЙ ЧВЕРТІ ХХІ СТОЛІТЬ

В ході ведення сучасних воєнних дій застосування безпілотних авіаційних комплексів стало одним з найбільш важливих чинників у вогневому ураженні противника та досягненні успіху на полі бою. Проте забезпечення Збройних Сил України сучасними безпілотними авіаційними комплексами в основному здійснюється виходячи з якісних та кількісних можливостей щодо розроблення (закупівлі) таких комплексів.

В умовах відсічі російської агресії, постає гостра необхідність наукового обґрунтування забезпечення ЗС України сучасними БПАК та встановлення тенденцій розвитку літальних апаратів цього типу.

У статті, на підставі аналізу наукових публікацій вітчизняних та іноземних науковців у різних галузях наук, а також низки інформаційно-довідкових публікацій, розглянуто призначення, особливості застосування, характеристики та переваги сучасних безпілотних літальних апаратів та авіаційних комплексів.

Автори приділили основну увагу історичному, тактичному та економічному аспектам проблематики розвитку безпілотних авіаційних комплексів. За результатами аналізу розглянуті основні тенденції розвитку цього класу озброєння та військової техніки. Авторами сформульовано пропозиції щодо обрання раціонального підходу щодо забезпечення Збройних Сил України сучасними безпілотними авіаційними комплексами, як в умовах відсічі російської агресії, так і у подальшій перспективі.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, безпілотні авіаційні комплекси, баражуючі боєприпаси, повітряна розвідка, вогневе ураження противника, світовий ринок безпілотних літальних апаратів, озброєння безпілотних літальних апаратів.

Вступ

Досвід воєнних конфліктів останніх десятиліть, особливо відсічі російської агресії проти України упродовж 2022–2023 рр. переконливо показав, що в умовах зростання дин аміки сучасної збройної боротьби, широкого застосування високоточних засобів дальнього вогневого ураження, своєчасне забезпечення командирів всіх рівнів вірогідною розвідувальною інформацією вирішальним чином впливає на хід і результат збройної боротьби. Одним із найоперативніших різновидів розвідки є повітряна розвідка. Вона дає змогу за короткий час зібрати великий обсяг різнобічної інформації про обстановку у великому за площею районі, транслюючи її безпосередньо на пункти управління без попереднього оброблення. Брак сил і засобів розвідувальної авіації у Повітряних Силах Збройних Сил України (до початку широкомасштабної агресії РФ у складі вітчизняної військової авіації перебувала лише одна розвідувальна ескадрилья, озброєна літаками, проте застарілими на теперішній час) потребує залучення до ведення повітряної розвідки безпілотних авіаційних комплексів (БПАК) різних класів.

Не меншу роль відіграють БПАК у загальному вогневому ураженні противника (ВУП).

Багатоцільові розвідувально-ударні та ударні безпілотні літальні апарати (БпЛА), так звані дрони-камікадзе перетворились в одну із найважливіших складових ВУП. Їх застосування часто мало безальтернативний характер, особливо в умовах необхідності подолання ешелонованої і сучасної системи ППО. Незважаючи на значно менше корисне навантаження та швидкість польоту, такі апарати відрізняються значно меншою вартістю, а їх втрата не призводить до втрати льотного складу, що має вирішальне значення в сучасний період. Отже, роль БПАК у сучасній збройній боротьбі демонструє тенденцію до їх постійного збільшення.

Проте недостатня увага з боку суспільства і керівництва держави до розвитку вітчизняної оборонної промисловості призвели до хронічного відставання України у цій перспективній галузі. З початку війни робота щодо забезпечення ЗС України сучасними БПАК значно активізувалась, проте розпоршені зусилля волонтерських організацій, державних і приватних підприємств створюють ситуацію, за якої вітчизняне військо у невеликій кількості отримує різні БпЛА, що перетворило їх

парку безсистемний набір окремих виробів. Забезпечення ЗС України сучасними БПАК потребує наукового обґрунтування, одним із перших кроків для чого є встановлення тенденцій розвитку літальних апаратів цього типу, що потребує розкриття процесу їх розвитку упродовж останніх десятиліть.

Виходячи із зазначеного, встановлення та аналіз тенденцій розвитку БпЛА є актуальним прикладним завданням, вирішення якого представлено у цій статті.

Тематика розвитку БпЛА в останні десятиліття активно розроблялась науковцями, які проводили дослідження у різних галузях наук. Проблематику розвитку БпЛА розглядали військові фахівці, представники технічних, історичних та економічних наук. Варто згадати низку загальновідомих наукових праць, які вже вважаються класичними [6, 8]. Їх автори одними з перших дослідили досвід застосування БпЛА у воєнних конфліктах, розкрили переваги і недоліки БПАК військового призначення. Водночас їх увага була спрямована перш за все на застосування БпЛА для ведення повітряної розвідки, адже на той час застосування безпілотної авіації для виконання інших завдань, насамперед ВУП, не набуло такого широкого розповсюдження, як у подальші роки.

Із публікацій останніх років автори виділяють низку наукових публікацій вітчизняних та закордонних фахівців [1 – 4, 9 – 11, 13, 14], автори яких показали свої погляди на зміни обрису, бойове застосування та проблеми виробництва БпЛА упродовж перших десятиліть XXI ст. Окремий інтерес становлять наукові праці щодо економічних аспектів тематики БпЛА, їх комерційних перспектив на світовому ринку товарів і послуг військового призначення [5, 7, 12].

На нашу думку, наведене свідчить про багатогранність цієї теми, значний інтерес, який викликає проблематика розвитку та бойового застосування БпЛА у науковій спільноті, теоретичне і практичне значення досліджень зазначеної проблематики. Водночас, аналіз останніх наукових праць показує, що існує потреба визначення спрямованості процесів розвитку та застосування БПАК в інтересах ведення збройної боротьби, що потребує узагальнення накопичених наукових здобутків фахівців різних галузей наук. Це, на нашу думку, сприятиме всебічному, об'єктивному дослідженню та обґрунтованості висновків щодо спрямованості розвитку безпілотної авіаційної техніки, що необхідно врахувати при визначенні можливостей забезпечення Збройних Сил України сучасними БПАК та також сучасними багатофункціональними (як ударними, так і розвідувальними) БпЛА.

Мета статті – на підставі результатів воєнно-історичного та воєнно-економічного аналізу запропонувати раціональні підходи до обрання перспективних БПАК для Збройних Сил України в сучасних умовах з урахуванням перспектив розвитку цього різновиду озброєння і військової техніки.

Матеріали та методи

Під час написання статті застосовано

загальнонаукові теоретичні методи наукового пізнання.

Результати

Надзвичайний прогрес з 1980-х років відбувся у безпілотної авіації. Досвід застосування БпЛА, постійне зростання вартості авіаційної техніки та підготовки екіпажів, вдосконалення та зменшення маси і габаритів електронної апаратури, постійне підвищення точності, потужності і дальності пуску високоточних засобів ураження, а також досвід бойового застосування БпЛА у війнах на Близькому Сході та Південно-Східній Азії суттєво сприяв активізації роботи у багатьох країнах щодо розроблення такої техніки, при цьому різних класів. Упродовж 1980–2020-х рр. зросла кількість країн, що успішно розвивали безпілотну авіацію і номенклатуру БпЛА. Очевидними перевагами БпЛА, які надзвичайно яскраво проявились в умовах різкого зростання вартості пілотованих літальних апаратів, особливо під час переходу до

5-го покоління авіаційної техніки, були:

відносно невеликі розміри та менша помітність порівняно з пілотованими літальними апаратами;

висока влучність ураження цілей, що наближалася до показників високоточної зброї;

менша вартість технічного обслуговування та експлуатації БпЛА;

економія значних коштів на підготовку операторів та технічного персоналу порівняно з підготовкою екіпажів пілотованих бойових літаків;

істотно нижча собівартість виробництва у порівнянні зі звичайними літаками;

значно менша вартість у порівнянні з багатьма зенітними керованими ракетами та керованими ракетами класу “повітря – повітря”, що є основними засобами ураження повітряних цілей [1].

Враховуючи ту роль, що відіграють БпЛА у російсько-українській війні, викликає значний інтерес розвиток безпілотної авіаційної техніки саме у цих країнах. Вочевидь, розглядати у публікаціях відкритого характеру стан розвитку будь-якого озброєння і військової техніки під час війни буде не зовсім коректно, проте певна інформація із офіційних джерел може бути взята за основу. Водночас, доступні російські джерела дають змогу зробити низку висновків щодо напрямів розвитку і сучасного стану цієї перспективної галузі. Варто зауважити, що в Росії починаючи з 1990-х рр. розроблення і виробництво БпЛА перебувало у глибокому кризі. Незважаючи на успішний прогрес у цій галузі у США, Ізраїлі, країнах Європи, в Росії поступово накопичувалось суттєве відставання. Це негативно вплинуло на хід і результати застосування російських військ у конфліктах на Кавказі, насамперед у двох воєнних кампаніях у Чечні та у Грузії у 2008 р. Саме події 2008 р. спонукали російське керівництво до рішучих заходів у цьому напрямі і вже на початку другої декади XXI ст. почався активний процес розроблення та налагодження виробництва БпЛА в інтересах власних збройних сил. Досвід війни у Нагірному Карабасі у 2020 р. переконливо продемонстрував відставання російської армії та її

союзників у безпілотних засобах, які успішно застосовував Азербайджан, зокрема й для знищення засобів ППО противника [2]. Водночас, варто звернути увагу на те, що росіяни, формально оголосивши про створення БпЛА власними силами та проголосивши політику заміщення імпортованих комплектуючих, фактично пішли шляхом розгортання ліцензійного виробництва іноземних БпЛА, наприклад Форпост, або широкого застосування іноземних складових у нібито власних виробках. Так, а Росії не вдалося налагодити виробництва поршневого авіаційного двигуна, що встановлюється на більшість БпЛА масою більше 150 кг, вся електроніка зібрана на елементній базі виробництва КНР, США і країн ЄС. В умовах санітарного тиску, що посилюється з початком широкомасштабної агресії РФ проти України це призвело до переорієнтації постачання із Китаю та на закупівлю необхідних комплектуючих за схемами обходу санкцій, що збільшило собівартість кінцевого виробу. Незважаючи на це, до початку агресії Росія накопичила доволі значну кількість розвідувальних БпЛА, що суттєво сприяло підвищенню ефективності ведення розвідки та цілевказування артилерії.

До початку війни в Росії було прийнято на озброєння або було розроблено значну кількість БпЛА різних класів, зокрема літальних апаратів масою до 7 кг – 50 літакових і 30 вертолітних типів, масою 7 – 25 кг – 37 літакових і 19 вертолітних типів, масою 25 – 150 кг – 50 літакових і 14 вертолітних типів, 150 – 750 кг – 18 літакових і 9 вертолітних типів,

750 – 8600 кг – 16 літакових і шість вертолітних типів і масою понад 8600 – п'ять літакових типу [3, с. 561]. Для задоволення потреби військ в ударних БпЛА, що застосовуються у тактичній глибині, в Росії розгорнули виробництво БпЛА типу “Ланцет”, які відрізняються прийнятною вартістю для серійного виробництва, високою надійністю, прихованістю та руйнівною здатністю. Створити БпЛА для вогневого ураження об'єктів у оперативній і стратегічній глибині росіянам не вдалося, через що вони пішли шляхом закупівлі та подальшого ліцензійного виробництва іранських БпЛА Shahed-131/136, проти яких українські сили ППО достатньо успішно борються. За повідомленнями російських джерел, росіяни відчувають потребу у БпЛА аналогічних турецькому Bayraktar Тв-2. Незважаючи на заяви про успішне випробування і навіть застосування таких БпЛА, як наприклад “Орион” або більш потужний “Альтаир”, налагодити їх виробництво у значних масштабах не вдається, насамперед через брак низки ключових агрегатів і систем [4].

Наведене свідчить про те, що переваги БпЛА у порівнянні з пілотованими літальними апаратами були пов'язані не лише з економічними, але й з певними тактичними міркуваннями.

Кількість типів і конструкцій БпЛА, розмаїття завдань, що вони виконували та просторово-часові характеристики виконання бойових завдань дали змогу розробити певну систему їх класифікації (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація безпілотних літальних апаратів (Міністерство оборони США)

Група	Маса, кг	Робоча висота, м	Швидкість (км/год)	Представники
I тактичні міні/мікро	0 – 9	до 360	до 185	RQ-11 Raven, WASP, RQ-20 Puma
II тактичні малі	9 – 25	до 1050	до 436	ScanEagle
III тактичні	до 600	до 5400		RQ-7 Shadow
IV середньовисотні	понад 600	до 5400	без обмежень	MQ-1 Predator, MQ-1C GreyEagle, RQ-5 Hunter
V висотні		понад 5400		RQ-4 GlobalHawk, MQ-4C Triton, MQ-9 Reaper

За конструкцією сучасні БпЛА поділяються на апарати з жорстким крилом (літакового типу), з гнучким крилом, з крилом, що обертається (вертолітного типу), з крилом, що махає, аеростатичні.

Проте, серед БпЛА військового призначення провідні позиції посідають БпЛА літакового та вертолітного типів [6]. При цьому якщо перші розвідувально-ударні БпЛА створювались шляхом модернізації розвідувальних, наприклад американські MQ-1 Predator, надалі почалося цільове розроблення багатоцільових БпЛА, де ударна функція була основною, інколи навіть передбачалось розміщення спеціальних засобів ураження у внутрішніх відсіках для зменшення помітності (рис. 1, рис. 2).



Рисунок 1. Розвідувально-ударний БпЛА MQ-1 Predator (США)

За призначенням військові БпЛА поділяються на спостережні, розвідувальні, ударні, розвідувально-ударні, баражуючі боеприпаси, БпЛА РЕБ, мішені тощо. Досвід їх застосування у чисельних військових конфліктах засвідчив, що перевагами БпЛА були відсутність людських втрат у сторони, що їх застосовувала, значно менша вартість у порівнянні з аналогічними за функціоналом пілотованими літальними апаратами [7].

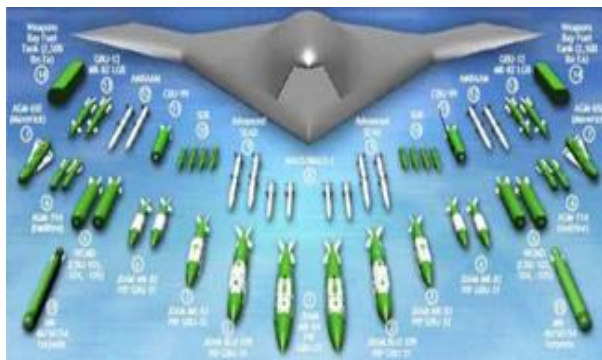


Рисунок 2. Варіанти озброєння багатоцільового БпЛА X-47 Pegasus (США)

Спостерігається тенденція щодо зростання обсягів виробництва БпЛА у світі. Обсяг світового ринку БпЛА складає за 10 років не менше 30 млрд. доларів США (а за іншими оцінками – понад 60 млрд. дол.), з яких близько 18 млрд. дол. (60%) припадуть на частку військових [7]. Тільки за період з 2017 по 2020 рр. обсяги виторгу від продажів БпЛА зросли з 6 до 11,2 млрд. дол. Основна частина ринку БпЛА припадала на ударні БпЛА (Uninhabited Combat Air Vehicles,UCAVs), а також висотні і середньовисотні БпЛА великої тривалості польоту – High Altitude Long Endurance (HALE) та Medium Altitude Long Endurance (MALE) [8]. На виробництво ударних БпЛА, за прогнозами, до 2026 р. буде витрачено близько 27,2 млрд. дол., що становитиме 34% ринку; на середньовисотні БпЛА (MALE) – близько 22,2 млрд. дол. за той же період (28% ринку); на висотні БпЛА (HALE) – 15,6 млрд. дол. (19% ринку). Набагато менші частки ринку в найближче десятиліття у загальній вартості виробництва БпЛА становитимуть тактичні БпЛА (7,4 млрд. дол., або 9%), малі тактичні БпЛА (0,9 млрд. дол., або 1%) та БпЛА категорії міні/мікро (3 млрд. дол., або 4%). До останніх належать, насамперед, невеликі квадрокоптери та інші БпЛА, вартість яких експерти оцінюють по-різному. Окрему нішу на ринку займають БпЛА морського базування або палубні БпЛА. Вартість їх виробництва на найближчі 10 років оцінюється в 4,3 млрд. дол., частка на ринку – 5% [11].

Наведені показники свідчать про те, що безпілотна авіація набувала і набуває все більшої питомої ваги у ВПС провідних країн світу.

Незважаючи на те, що у 1980-х рр. лідерами у розробленні і виробництві БпЛА були СРСР, США та Ізраїль, у подальшому географія їх виробництва значно розширилась. До початку 2020-х рр. провідними гравцями на світовому ринку БпЛА стали “Northrop Grumman” з висотними БпЛА GlobalHawk, “General Atomics” з БпЛА Predator та Reaper, ізраїльська компанія Aircraft ArmamentInc. (AAI) з БпЛА Shadow, “Israel Aerospace Industries” з БпЛА “Heron” і компанія “Boeing” з БпЛА Scan Eagle. Постійно нарощують свої позиції китайські виробники, зокрема “Chengdu Industries”. Активно долучаються до світового ринку Туреччина, Іран, відновлює свої позиції Росія, з другої декади XXI століття до країн-виробників БпЛА приєдналась Україна. Варто відзначити, що БпЛА з кінця 1980-х рр. стали важливою складовою розвідувально-ударних та розвідувально-вогневих комплексів, створення та застосування яких було необхідно передумовою запровадження мережецентричного підходу до управління збройною боротьбою та створення відповідних високо інтегрованих комплексів оперативного і стратегічного рівня, у яких органічно поєднувались засоби сили та засоби управління, розвідки, РЕБ, навігації та вогневого ураження [10].

Аналіз шляхів розвитку безпілотної авіації свідчить, що основним сучасними трендами, що визначатимуть обрис і бойове застосування перспективних авіаційно-технічних систем бойової безпілотної авіації, є реалізація сумісного бойового застосування пілотованих і бойових безпілотної ЛА в структурі змішаних сил тактичної авіації; забезпечення безпеки льотної експлуатації бойових БпЛА в зоні польотів цивільної авіації, включаючи випадки повернення і посадки з невикористаним бойовим навантаженням; розподіл функцій управління між оператором, що знаходиться на зовнішньому пункті управління, і бортовою системою управління; забезпечення рівня ситуативної обізнаності, достатнього для ухвалення рішення про застосування зброї, забезпечення групового автономного застосування БпЛА, система управління якими містить елементи штучного інтелекту [8].

Обговорення

Застосування БпЛА для виконання ударних завдань поставило питання розроблення для них спеціального авіаційного озброєння, адже те, що застосовувалось пілотованими ЛА ні завжди могло використовуватись через масові і габаритні обмеження. Характерною рисою авіаційних засобів ураження, створених для озброєння БпЛА, є їх менший калібр, маса та габарити, а отже, й потужність бойової частини. При цьому такі засоби часто належали до високоточних. Вони використовувались для точкового ураження

окремих об'єктів, з мінімальними руйнуваннями навколо цілі [11]. Досвід багатьох воєнних конфліктів підтвердив потребу у таких засобах і їх виробництво розгортається у більшості країн, що виробляють БпЛА різних класів.

Висновки

Отже, роль безпілотної авіації суттєво зростає. Впродовж останніх років роль і місце БпЛА у збройній боротьбі значно змінились. Якщо до кінця ХХ ст. БпЛА виконували переважно розвідувальні функції, то надалі вони стали одним з провідних засобів ВУП як носії авіаційних засобів ураження (зокрема й високоточних) та баражуючи боеприпаси.

В сучасних умовах відсічі широкомасштабної російської агресії ЗС України потребують великого парку БпЛА. Ця потреба загострюється через брак сил пілотованої авіації, потужну систему ППО та угруповання сил і засобів РЕБ, що розгорнув противник. Водночас ЗС України використовують БпЛА, основна маса яких надходить від союзників. Український оборонно-промисловий комплекс має спроможність розробляти необхідну номенклатуру БПАК, зокрема таких, що спроможні виконувати розвідувальні та вогневі завдання у значній глибині. При цьому українська промисловість має можливість отримувати необхідні комплектуючі від союзників або організувати спільне виробництво. Вирішення цього завдання не лише дасть змогу забезпечити війська необхідними засобами, але й сприятиме просуванню створених і апробованих під час широкомасштабних воєнних дій БПАК на світовий ринок, що може послужити одним із драйверів зростання вітчизняної економіки у післявоєнний період. Завдяки своїм можливостям розвідувальні літальні апарати є важливим інструментом для забезпечення безпеки та оборони держави. Вони дозволяють збирати важливу розвідувальну інформацію та забезпечувати своєчасне реагування на загрози. Серед найважливіших тенденцій розвитку БпЛА автори відмічають підвищення автономності, багатофункціональності, відкритості архітектури БПАК, посилення здатності до здійснення групових атак та активізація інтеграції БпЛА до складу ударних комплексів різних видів збройних сил і родів військ.

Перспективними напрямками подальших досліджень можуть бути способи застосування БпЛА, зокрема за досвідом відсічі повномасштабної російської агресії, напрями розвитку окремих різновидів БпЛА, спільне застосування пілотованих і безпілотної ЛА, розвиток авіаційних засобів ураження, носіями яких є БпЛА. Вочевидь, що висвітлення результатів таких досліджень не завжди можна оприлюднити у виданнях відкритого характеру, проте це не є підставою для відмови від їх проведення

Список використаних джерел

1. Гавриленко А. О., Якутович Б. Л. Погляди на створення наземного авіакомплексу для застосування БпЛА // Ukrainian Military Pages. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2016/06/poglyady-nak-bpla.html>.
2. B. J. Strawser, "Moral predators: The duty to employ uninhabited aerial vehicles," *Journal of Military Ethics*, vol. 9, no. 4, pp. 342-368, 2010.
3. B. J. Strawser, *Killing by remote control: the ethics of an unmanned military*. OUP Us, 2013.
4. J. Dias and L. Seneviratne, "A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends," *Unmanned Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 175-195, 2014.
5. T. Humphreys, "Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer," in *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite*, 2008.
6. T. Humphreys, "Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing," various publications.
7. V. T. Hoang and Q. H. Pham, "Path planning for multi-copter UAVs using tutorial training and self learning inspired teaching-learning-based optimization," *Journal of Military Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 10-20, 2023.
8. M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Mobile unmanned aerial vehicles (UAVs) for energy-efficient Internet of Things communications," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7574-7589, 2016.
9. K. P. Valavanis, *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Springer Netherlands, 2015.
10. C. Premachandra, "A study on development of a hybrid aerial/terrestrial robot system for avoiding ground obstacles by flight," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2010.
11. Y. Q. Chen, "Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 36-44, 2010.

¹Резнік Володимир Ігорович (кандидат історичних наук, старший науковий співробітник)
<https://orcid.org/0000-0003-1479-4852>

¹Ремез Артем Володимирович (доктор філософії)
<https://orcid.org/0000-0003-4970-1097>

²Срряков Ігор Ігорович
<https://orcid.org/0000-0002-4618-5587>

¹National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²State Research Institute of Aviation, Kyiv, Ukraine

DIRECTIONS OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES DEVELOPMENT AT THE END OF THE XX - IN THE FIRST QUARTER OF THE XXI CENTURY

In the course of modern combat operations, the use of unmanned aerial systems has been one of the most important factors in defeating the enemy by fire and achieving success on the battlefield. However, the provision of modern UAVs to the Armed Forces of Ukraine is mainly carried out on the basis of the economic and quantitative capabilities of the development (purchase) of such complexes, which has turned their fleet into an unsystematic set of individual products, without taking into account their purpose, application features, characteristics and advantages.

In the context of resistance to Russian aggression, there is an urgent need to scientifically substantiate the provision of modern UAVs to the Ukrainian Armed Forces and to establish trends in the development of aircraft of this type.

The article, based on analysis of scientific publications of domestic and foreign scientists in various fields of science, as well as a number of information and reference publications, examines the purposes, application features, characteristics and advantages of modern unmanned aerial vehicles and aircraft systems based on them for various purposes.

The authors focused on the historical, tactical and economic aspects of the development of unmanned aerial systems. The potential combat capabilities of reconnaissance aircraft in service with the Armed Forces of Ukraine are also considered.

Based on the results of the analysis, the main trends in the development of these weapons and military equipment are considered. The authors have formulated proposals for choosing a rational approach to providing the Armed Forces of Ukraine with modern unmanned aerial systems, both in the context of repelling Russian aggression and in the future.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, unmanned aerial systems, unmanned munitions, aerial reconnaissance, fire defeat of the enemy, global market for unmanned aerial vehicles, armament of unmanned aerial vehicles.*

References

1. Ghavrylenko A. O., Jakutovych B. L. Poghlyady na stvorennja nazemnogho aviakompleksu dlja zastosuvannja BPLA // Ukrainian Military Pages. URL: <https://www.ukrmilitary.com/2016/06/poglyady-nak-bpla.html>.
2. B. J. Strawser, "Moral predators: The duty to employ uninhabited aerial vehicles," *Journal of Military Ethics*, vol. 9, no. 4, pp. 342-368, 2010.
3. B. J. Strawser, *Killing by remote control: the ethics of an unmanned military*. OUP Us, 2013.
4. J. Dias and L. Seneviratne, "A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends," *Unmanned Systems*, vol. 2, no. 2, pp. 175-195, 2014.
5. T. Humphreys, "Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer," in *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite*, 2008.
6. T. Humphreys, "Unmanned aircraft capture and control via GPS spoofing," various publications.
7. V. T. Hoang and Q. H. Pham, "Path planning for multi-copter UAVs using tutorial training and self learning inspired teaching-learning-based optimization," *Journal of Military Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 10-20, 2023.
8. M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, "Mobile unmanned aerial vehicles (UAVs) for energy-efficient Internet of Things communications," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 11, pp. 7574-7589, 2016.
9. K. P. Valavanis, *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Springer Netherlands, 2015.
10. C. Premachandra, "A study on development of a hybrid aerial/terrestrial robot system for avoiding ground obstacles by flight," in *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2010.
11. Y. Q. Chen, "Autopilots for small unmanned aerial vehicles: a survey," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 8, no. 1, pp. 36-44, 2010.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПІЛОВОАНОЇ ТА БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ

[DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-87-92](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-1-6-87-92)

[УДК 519.2 – 623.7](#)

Яблонський Петро Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

Майстров Олексій Олексійович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-9054-8293>

Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

Сарапін Юрій Олександрович

<https://orcid.org/0000-0003-2893-4975>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ СТАНІВ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ВИМІРЮВАЧА ШЛЯХОВОЇ ШВИДКОСТІ ТА КУТА ЗНЕСЕННЯ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ МАРКОВСЬКОГО ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ

В роботі досліджено актуальне питання точності навігації літальних апаратів. Здійснено розрахунок ймовірностей станів доплерівського вимірювача з використанням марковського випадкового процесу, який передбачає побудову математичної моделі досліджуваного об'єкту з застосуванням дискретних станів та безперервного часу. Запропонований метод математичного моделювання передбачає застосування експоненціального закону розподілу часу перебування у станах моделі. На основі отриманих аналітичних залежностей побудовані графіки перебування доплерівського вимірювача у станах моделі. Отримані в роботі результати математичного моделювання можуть бути використані для оцінки ефективності бомбометання з літального апарату під час його горизонтального польоту.

Ключові слова: математична модель, система, моделювання, розрахунок ймовірностей, ефективність, відмова, марковські процеси.

Вступ

Точна навігація є критично важливою для безпечного й ефективного виконання польотів. Доплерівський метод вимірювання швидкості руху та зносу можна характеризувати як один із найпоширеніших та найточніших.

Для визначення шляхової швидкості літаків бомбардувальної та військово-транспортної авіації, а також гелікоптерів, застосовуються доплерівські вимірювачі шляхової швидкості та кута знесення (ДВ). Вимірювання координат здійснюються у літаковій зв'язаній системі координат. Антени таких вимірювачів жорстко прикріплені до літального апарату (ЛА). Під час польоту ЛА з креном, наприклад, більше 10° і тангажом, більшим 28° , діаграма спрямованості ДВ відривається від землі і такий вимірювач визначає шляхову швидкість з великою похибкою. Для усунення цього недоліку в алгоритмі роботи ДВ передбачено його перехід в так званий режим "Пам'ять". В такому режимі запам'ятовуються останні значення

шляхової швидкості, яка використовується для обчислення поточних координат ЛА. Політ ЛА в режимі "Пам'ять" може тривати протягом 20-30 хвилин.

Визначення шляхової швидкості може здійснюватися інерціальними системами навігації, які мають суттєві недоліки. Наприклад, на літаках бомбардувальної авіації для забезпечення роботи малогабаритної інерціальної системи необхідно перед польотом розкручувати ротор гіроскопа взимку протягом 39 – 45 хвилин у залежності від температури повітря, щоб платформа, на якій розташовані акселерометри, була паралельна до земної поверхні. Це суттєво впливає на боєготовність літака. При цьому точність визначення шляхової швидкості літака нижча, ніж у ДВ.

На літаках винищувальної авіації ДВ не встановлювалися через те, що літак часто змінює своє кутове положення у просторі, і робота ДВ втрачає сенс. Для визначення шляхової швидкості

на літаках винищувальної авіації застосовується інформаційний канал вертикалі і курсу, який має значно гіршу точність, ніж ДВ. Саме тому точність бомбометання з літаків винищувальної авіації значно відрізняється від точності бомбардувальної авіації.

В науково-технічній літературі цьому питанню приділяється мало уваги. Тому у статті зроблена спроба кількісної оцінки ймовірності перебування доплерівського вимірювача у справному стані під час горизонтального польоту і ймовірностей перебування у режимі “Пам’ять”, що є необхідною умовою оцінки ефективності, наприклад, бомбометання з горизонтального польоту.

Для побудови математичної моделі роботи ДВ використовується марковський випадковий процес, властивості якого описані багатьма науковцями, які досліджували особливості експлуатації озброєння та військової техніки [1-8]. При цьому враховано типові значення інтенсивності переходів у режим “Пам’ять” [9] та з режиму “Пам’ять” в режим нормальної роботи.

Метою статті є побудова математичної моделі ДВ та розрахунок ймовірностей станів ДВ з використанням марковського випадкового процесу для оцінки впливу роботи ДВ на ефективність виконання літаком бойових завдань.

Матеріали та методи

У даному дослідженні для досягнення визначеної мети застосовуються наукові методи математичного моделювання, системного аналізу та синтезу, метод порівняння та аналогій, а також чисельний метод для проведення розрахунків ймовірностей станів ДВ від досліджуваних параметрів експлуатації.

Результати

Радіотехнічний метод вимірювання шляхової швидкості ЛА заснований на ефекті доплерівського зсуву частоти, сутність якого полягає в зміні частоти прийнятих коливань при відносному русі приймача й передавача коливань [10-11].

Вектор шляхової швидкості W є сума векторів повітряної швидкості літака V і швидкості вітру U (рис. 1).

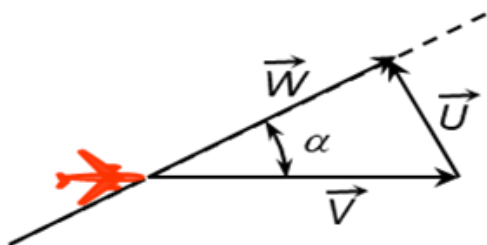


Рисунок 1. Вектори повітряної швидкості літака і швидкості вітру

В однопроменевому вимірювачі під час горизонтального польоту без крену і тангажу швидкість зближення з ділянкою підстилаючої поверхні в напрямку β_0 і доплерівський зсув частоти відбитого сигналу пропорційні його шляховій швидкості.

Через боковий вітер виникають помилки не тільки в визначенні величини шляхової швидкості, але і в положенні її вектору.

При польоті з креном або тангажем внаслідок зміщення вбік відносно лінії шляху або впродовж лінії шляху ділянки поверхні, що опромінюється, виникають додаткові помилки вимірювання шляхової швидкості.

В реальних доплерівських вимірювачах шляхової швидкості W і кута зносу α для усунення впливу бокового вітру, крену і тангажу літака застосовують трьохпроменеві або чотирипроменеві антенні системи (рис. 2).

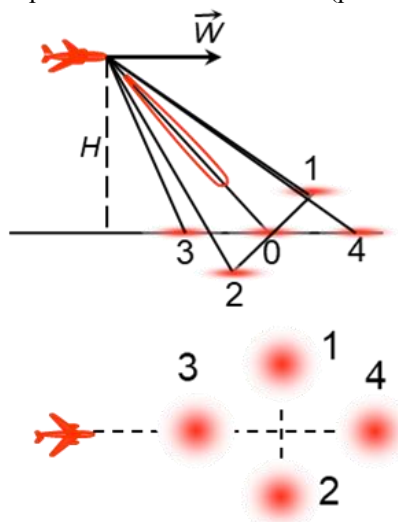


Рисунок 2. Приклад застосування трьохпроменевих або чотирипроменевих антенних систем

В чотирипроменевому вимірювачі швидкість зближення з ділянками підстилаючої поверхні 1...4 залежить від повітряної швидкості літака V , вектор якої співпадає з віссю літака, і вектору швидкості вітру U . Різниця доплерівських зсувів частоти сигналів, що надійшли від діагональних (непарних та парних) ділянок підстилаючої поверхні, становлять:

$$\Delta F_{1,3} = \frac{4W}{\lambda} \cos \beta_0 \cos(\gamma - \alpha) \quad (1)$$

$$\Delta F_{2,4} = \frac{4W}{\lambda} \cos \beta_0 \cos(\gamma + \alpha)$$

По виміряним $\Delta F_{1,3}$ і $\Delta F_{2,4}$ шляхом рішення системи рівнянь (1) знаходиться шляхова швидкість і кут зносу літака [12].

Аналіз багатопроменевих систем показує, що вони мало чутливі до зміни просторового положення літака і ступеня когерентності зондуючих сигналів.

Будемо вважати, що ДВ може знаходитись у трьох станах: X (працездатності), \bar{X} (стан тимчасового відновлення) та \bar{X} (відмова ДВ). Під тимчасовою відмовою ДВ розуміють його перехід до режиму “Пам’ять”. Послідовність можливих переходів ДВ до режиму “Пам’ять” за даними бортових систем об’єктивного контролю в першому наближенні можна описати стаціонарним

Пуассонівським потоком [13]. Вектор технічного стану ДВ можна представити так:

$$H = \begin{pmatrix} H_1 & X \\ H_2 & \sim X \\ H_3 & X \end{pmatrix}$$

На рисунку 3 зображений орієнтовний граф станів ДВ, на якому біля стрілок позначені відповідні перехідні ймовірності.

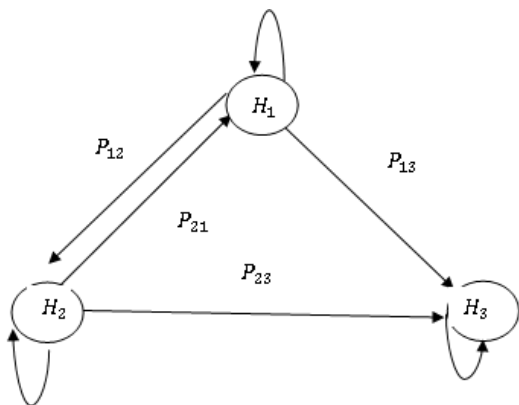


Рисунок 3. Граф станів ДВ

Процес переходів ДВ з стану в стан характеризується інтенсивністю переходів [14]:

μ – інтенсивність переходу ДВ до режиму “Пам’ять”;

λ – інтенсивність переходів ДВ з режиму “Пам’ять” до стану повної відмови;

ν – інтенсивність переходів ДВ з режиму “Пам’ять” до працездатного стану.

Для малого інтервалу часу Δt перехідні ймовірності визначаються рівняннями:

$$P_{11}(t_1, t_1 + \Delta t) = 1 + a_{11}(t) \Delta t + o(\Delta t) = 1 + a_{11}(t) \Delta t \quad (2)$$

$$P_{12}(t_1, t_1 + \Delta t) = a_{12}(t) \Delta t + o(\Delta t) = \mu \Delta t; \quad a_{12}(t) = \mu \quad (3)$$

$$P_{13}(t_1, t_1 + \Delta t) = a_{13}(t) \Delta t + o(\Delta t) = \lambda \Delta t; \quad a_{13}(t) = \lambda \quad (4)$$

$$P_{22}(t_1, t_1 + \Delta t) = 1 + a_{22}(t) \Delta t + o(\Delta t) = 1 + a_{22}(t) \Delta t \quad (5)$$

$$P_{21}(t_1, t_1 + \Delta t) = a_{21}(t) \Delta t + o(\Delta t) = \nu \Delta t; \quad a_{21}(t) = \nu \quad (6)$$

$$P_{23}(t_1, t_1 + \Delta t) = a_{23}(t) \Delta t + o(\Delta t) = \lambda \Delta t; \quad a_{23}(t) = \lambda^* \quad (7)$$

$$P_{33}(t_1, t_1 + \Delta t) = 1 + a_{33}(t) \Delta t + o(\Delta t) = 1 + a_{33} \Delta t \quad (8)$$

$$P_{31}(t_1, t_1 + \Delta t) = 0; \quad a_{31}(t) = 0 \quad (9)$$

$$P_{32}(t_1, t_1 + \Delta t) = 0; \quad a_{32}(t) = 0 \quad (10)$$

Параметри μ та ν можна знайти на підставі аналізу експлуатації конкретного типу ДВ. На літаках бомбардувальної авіації переходи до режиму “Пам’ять” фіксуються в певних чарунках оперативного запам’ятовуючого пристрою. Після польоту за допомогою апаратури “Верба” дані чарунки, де зафіксовані переходи до режиму “Пам’ять”, можуть бути розшифровані і використані для подальшого застосування, у тому числі і для побудови математичної моделі. Можна вважати що з достатньою точністю $\lambda = \lambda^*$.

Інтенсивності переходів $a_{ii}(t) = a_{ji}$, що входять до рівнянь (2 – 10), можуть бути знайдені з умови нормування $a_{ii}(t) = -\sum_{j=1}^M a_{ij}(t)$; $i \neq j$.

$$a_{11}(t) = -[a_{12}(t) + a_{13}(t)] = -(\mu + \lambda) \quad (11)$$

$$a_{22}(t) = -[a_{21}(t) + a_{23}(t)] = -(\nu + \lambda) \quad (12)$$

$$a_{33}(t) = -[a_{31}(t) + a_{32}(t)] = 0 \quad (13)$$

Перехідна матриця та матриця інтенсивностей переходів згідно з формулами (2 – 10) та (11 – 13) мають вигляд:

$$P(\Delta t) = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - (\mu + \lambda) \Delta t & \mu \Delta t & \lambda \Delta t \\ \nu & 1 - (\nu + \lambda) \Delta t & \lambda \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(\mu + \lambda) & \mu & \lambda \\ \nu & -(\nu + \lambda) & \lambda \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

$$A^T = \begin{pmatrix} -(\mu + \lambda) & \nu & 0 \\ \mu & -(\nu + \lambda) & 0 \\ \lambda & \lambda & 0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Запишемо систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів ДВ для довільного моменту часу при використанні дискретних станів і безперервного часу, що дає можливість використання марковського випадкового процесу [15, 16].

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} P_1(t) &= -(\mu + \lambda) P_1(t) + \nu P_2(t) \\ \frac{d}{dt} P_2(t) &= \mu P_1(t) - (\nu + \lambda) P_2(t) \\ \frac{d}{dt} P_3(t) &= \lambda P_1(t) + \lambda P_2(t) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Рішенням системи (17) диференціальних рівнянь є ймовірності станів ДВ.

$$P_1(t) = \frac{\nu}{\mu + \lambda} e^{-\lambda t} + \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (18)$$

$$P_2(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-\lambda t} + \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (19)$$

$$P_3(t) = 1 - P_1(t) - P_2(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{12}(t) &= a_{12}(t) P_{11}(t) + a_{22}(t) P_{12}(t) + a_{32} P_{13}(t) = \\ &= \mu P_{11}(t) - (\nu + \lambda) P_{12}(t) = \mu [1 - P_{12}(t) - P_{13}(t)] = \\ &= (\nu + \lambda) P_{12}(t) = -(\mu + \nu + \lambda) P_{12}(t) - \mu P_{13}(t) + \mu \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{13}(t) &= a_{13}(t) P_{11}(t) + a_{23}(t) P_{12}(t) + a_{33} P_{13}(t) = \\ &= \lambda P_{11}(t) + \lambda P_{12}(t) = \lambda [1 - P_{12}(t) - P_{13}(t)] + \lambda P_{12}(t) = \\ &= -\lambda P_{13}(t) + \lambda \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{21}(t) &= a_{11}(t) P_{21}(t) + a_{21}(t) P_{22}(t) + a_{31} P_{23}(t) = \\ &= -(\mu + \lambda) P_{21}(t) + \nu P_{22}(t) = \\ &= -(\mu + \lambda) P_{21}(t) + \nu [1 - P_{21}(t) - P_{23}(t)] = \\ &= -(\mu + \lambda + \nu) P_{21}(t) - \mu P_{23}(t) + \nu \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{23}(t) &= a_{13}(t)P_{21}(t) + a_{23}(t)P_{22}(t) + a_{33}P_{23}(t) = \\ &= \lambda P_{21}(t) + \lambda P_{22}(t) - \lambda P_{21}(t) + \lambda [1 - P_{21}(t) - P_{23}(t)] = \\ &= -\lambda P_{23}(t) + \lambda \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} P_{12}(0) &= P_{13}(0) = P_{21}(0) = P_{31}(0) = P_{32}(0) = 0 \\ P_{11}(0) &= P_{22}(0) = P_{33}(0) = 1 \end{aligned} \quad (25)$$

Рішенням системи диференціальних рівнянь (21 – 25) є такі перехідні ймовірності:

$$P_{12}(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} e^{-\lambda t} + \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (26)$$

$$P_{13}(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (27)$$

$$P_{11}(t) = 1 - P_{12}(t) - P_{13}(t) = \frac{\nu}{\mu + \nu} e^{-\lambda t} + \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (28)$$

$$P_{21}(t) = \frac{\nu}{\mu + \nu} e^{-\lambda t} - \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (29)$$

$$P_{22}(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (30)$$

$$P_{22}(t) = 1 - P_{21}(t) - P_{23}(t) = \frac{\mu}{\mu + \nu} e^{-\lambda t} + \frac{\nu}{\mu + \nu} e^{-(\lambda + \mu + \nu)t} \quad (31)$$

$$P_{31}(t) = P_{32}(t) = 0 \quad (32)$$

$$P_{33}(t) = 1 \quad (33)$$

В формулах (26 – 33) μ – інтенсивність переходу ДВ до режиму “пам’ять”, ν – інтенсивність переходу ДВ з режиму “пам’ять” до працездатного режиму, λ – інтенсивність відмов ДВ.

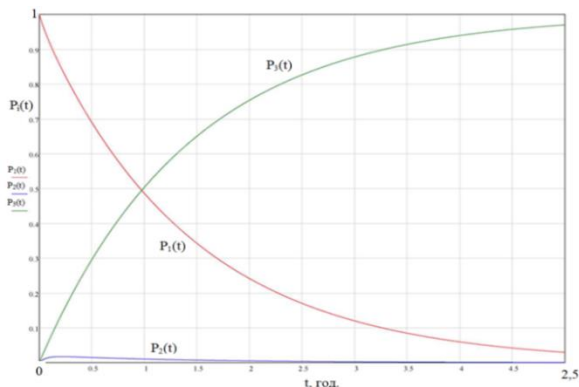


Рисунок 4. Ймовірності $P_i(t)$ перебування ДВ у станах моделі при $\lambda = 0,7$; $\nu = 14$; $\mu = 0,3$

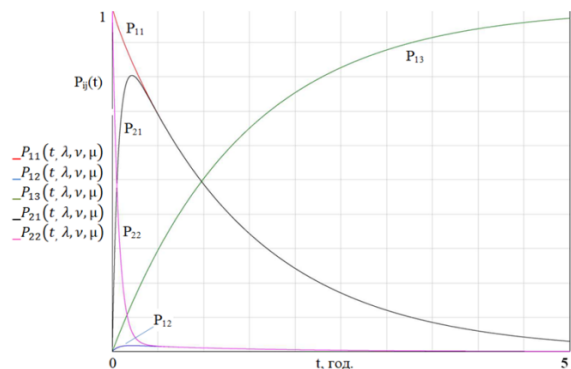


Рисунок 5. Перехідні ймовірності $P_{ij}(t)$ моделі при $\lambda = 0,7$; $\nu = 14$; $\mu = 0,3$

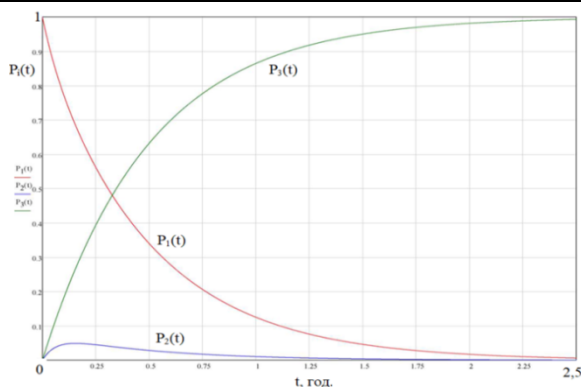


Рисунок 6. Ймовірності $P_i(t)$ перебування ДВ у станах моделі при $\lambda = 2$; $\nu = 12$; $\mu = 1$

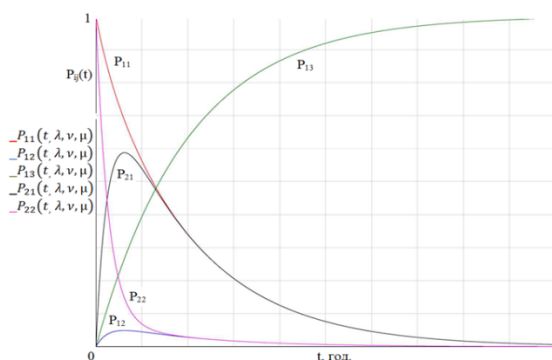


Рисунок 7. Перехідні ймовірності $P_{ij}(t)$ моделі при $\lambda = 2$; $\nu = 12$; $\mu = 1$

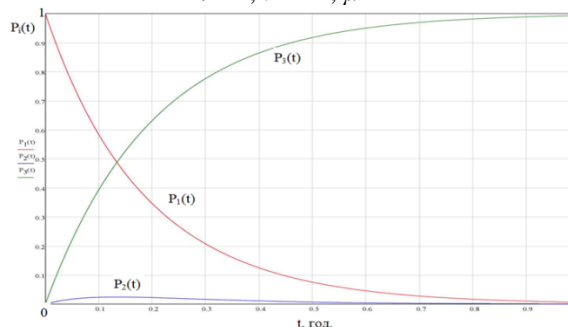


Рисунок 8. Ймовірності $P_i(t)$ перебування ДВ у станах моделі при $\lambda = 5$; $\nu = 5$; $\mu = 0,5$

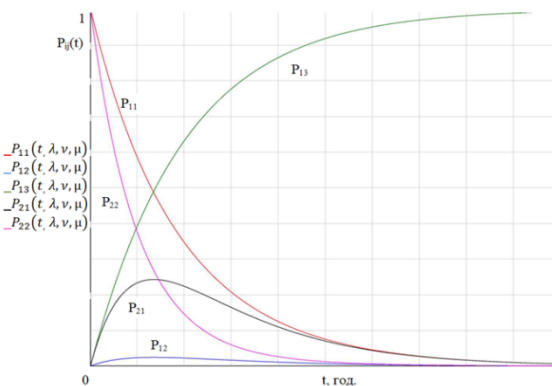


Рисунок 9. Перехідні ймовірності $P_{ij}(t)$ моделі при $\lambda = 5$; $\nu = 5$; $\mu = 0,5$

На рисунках 4 – 9 зображено ймовірності перебування ДВ у станах моделі при різних значеннях λ , ν та μ .

Обговорення

В теперішній час визначення поточних координат літальних апаратів, зокрема бомбардувальної та військово-транспортної авіації, здійснюється за рахунок супутникової системи навігації. Як правило, штурман має приймати сигнал GPS і за його допомогою визначати координати з високою точністю. В разі відсутності інформації від супутника потрібно використовувати автономні системи навігації, при цьому визначення поточних координат літального апарату здійснюється шляхом інтегрування шляхової швидкості літака.

В роботі здійснено розрахунок ймовірностей стану доплерівського вимірювача з використанням марковського випадкового процесу, який передбачає побудову математичної моделі досліджуваного об'єкту з виконаннями дискретних станів та безперервного часу.

Для заданих інтенсивностей переходів отримані ймовірності "P" "1" "(t)", "P" "2" "(t)" та "P" "3" "(t)", де "P" "1" "(t)" – ймовірність перебування у справному стані, "P" "2" "(t)" – у режимі "Пам'ять", "P" "3" "(t)" – ймовірність відмови ДВ.

Запропонований метод передбачає застосування експоненціального закону розподілу часу перебування у станах моделі.

Характерною особливістю отриманих розрахунків є те, що у будь-який момент часу сума зазначених ймовірностей дорівнює одиниці. З отриманих показників видно, що ця умова виконується.

При зменшенні ймовірності перебування у справному стані з'являється ймовірність переходу в режим "Пам'ять".

Крім того, для розглянутих початкових станів за одну годину польоту ймовірність повної відмови ДВ складає приблизно 1%, що добре співпрацює з проміжними результатами застосування ДВ.

Висновки

Для побудови математичної моделі використовуються дані, що можуть бути отримані, зокрема, на літаках бомбардувальної авіації, за допомогою наземної де шифрувальної системи "Верба". Під час зміни режиму польоту, наприклад, коли літак летить із досить великим креном або тангажем, у певні чарунки оперативного запам'ятовуючого пристрою записується інформація про перехід ДВ до режиму "Пам'ять" або його відмову. Результати роботи можуть бути використані в групі регламентних робіт по радіоелектронному обладнанню для оцінки впливу роботи ДВ на ефективність виконання літаком бойових завдань.

Також, отримані в роботі результати математичного моделювання можуть бути використані для оцінки ефективності бомбометання з літального апарату під час горизонтального польоту.

Список використаних джерел

1. Опенько П.В., П'явчук О.О., Яблонський П.М., Миронюк М.Ю., Козир А.Г. Математична модель технічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки з використанням розподілу часу безвідмовної роботи виробів у вигляді закону Вейбулла ДНД ВС ОБТ, м. Чернігів. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки /

ДНД ВС ОБТ. – Чернігів: Євенок О.О., 2022. – Вип. № 2(12). – 93-108 – ISSN 2706-7386.

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

3. Ленков С.В., Цицарев В.М., Осипа В.О., Браун В.О. Математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта сложных объектов радиоэлектронной техники. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Київ. 2013. № 39. С. 12-19.

4. П'явчук О.О. Математична модель зберігання авіаційних засобів ураження із застосуванням дифузійно-немоного розподілу їх відмов / О.О. П'явчук, П.В. Опенько, П.М. Яблонський, В.П. Диптан // науковий журнал "Честь і закон", випуск X: НАНУ, 2022, №3 (82), С. 99 – 107.

5. Мірненко В.І. Порівняння ефективності технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, що експлуатуються за технічним станом, для моделей дифузійно-моного і дифузійно-немоного розподілів відмов / [В.І. Мірненко, П.М. Яблонський, С.О. Пустовий, О.В. Авраменко] – К: НУОУ, Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2015. – № 2 (23) – с. 88-93.

6. Кітік С.В. Напівмарківська математична модель технічного обслуговування радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2019. – №3(36) – с.29-34.

7. Мирненко В.И., Яблонский П.М., Пустовой С.А., Авраменко А.В. Математическая модель технического обслуживания изделий авиационной техники с использованием диффузионно-моного распределения отказов. Оралдың Ғылым Жаршысы. Уралнаучника. 2014. №21 (100). С.12-22.

8. Куртсеітов Т.Л., Копашинський С.А., Яблонський П.М. Порівняння законів розподілу (моделей відмов) для опису процесів, що відбуваються у математичній моделі експлуатації (зберігання) засобів ураження на стадіях життєвого циклу "використання" та "підтримка". Journal of Scientific Papers "Social Development and Security", Vol. 13, No. 6, – 2023. – pp 88 – 94. – ISSN 2522-9842.

9. Cox, M. Evaluation of Measurement Uncertainty Based on the Propagation of Distributions Using Monte Carlo Simulation / M. Cox, P. Harris, B. R.-L. Siebert // Measurement Techniques, Vol. 46 Is. 9, 2013. – pp 824 - 833.

10. Войчук В.А. та ін. Бортові радіоелектронні системи. Ч.1. – К.: НАУ, 2006.

11. Войчук В.А., Романенко В.І., Васягін Д.В. Експлуатація й ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. (Електронний підручник ЕП001). – К.: НАУ, 2011.

12. Novikov V.V. Numerical methods for uncertainty of measurements results calculation. // Конференція молодих учених із сучасних проблем механіки і математики імені академіка Я.С. Підстригача. Тези доповідей. – Львів, 2009. – С. 147-148.

13. Wubbeler G. Evaluation of measurement uncertainty and its numerical calculation by a Monte Carlo method / G. Wubbeler, M. Krystek, C.Elster // Measurement Science and Technology, Vol.19 Is. 8, 2008.

14. Angeles Herrador M. Evaluation of measurement uncertainty in analytical assays by means of Monte Carlo simulation / M. Angeles Herrador, A.Gustavo Gonzalez // Talanta, Vol. 64 Is. 2, 2004. – pp 415 – 422.

15. Ключко Н.Б., Слабінога М.О., Тутка О.О. Застосування методу монте-карло для оцінки похибки доплерівських вимірювачів швидкості та кута зносу [Електрон. ресурс]. Режим доступу: http://elar.nung.edu.ua/bistream/123456789/4303/1/5_404p.pdf – Дата публікації: 18.06.2016. – Дата перегляду: 24.03.2024.

16. Рогожин В.О., Скрипещ А.В., Філяшкін М.К., Мухіна М.П. Автономні системи навігації конкретного типу повітряного судна та їх технічне обслуговування: навч. посібник. – К.: НАУ, 2015. – 308 с.

Petro Yablonskyi (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-2651-4299>

Oleksiy Maistrov (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-9054-8293>

Yurii Koskov

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

Yurii Sarapin

<https://orcid.org/0000-0003-2893-4975>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

DETERMINATION OF THE PROBABILITY OF STATES OF THE DOPPLER PLANE VELOCITY METER AND THE DRIFT ANGLE OF AN AIRCRAFT USING A MARKOV RANDOM PROCESS

The work examines the topical issue of the accuracy of aircraft navigation. The calculation of the state probabilities of the Doppler meter was carried out using the Markov random process, which involves the construction of a mathematical model of the object under study using discrete states and continuous time. The proposed method of mathematical modeling involves the application of the exponential law of the distribution of the time spent in the states of the model. On the basis of the obtained analytical dependencies, graphs of the Doppler meter's stay in the model states were constructed. The results of mathematical modeling obtained in the work can be used to evaluate the effectiveness of bombing from an aircraft during its horizontal flight.

Keywords: *mathematical model, system; modeling, calculation of probabilities, efficiency, refusal, Markov processes.*

References

1. Openko P.V., Pyavchuk O.O., Yablonskyi P.M., Mironyuk M.Yu., Kozyr A.H. Mathematical Model of Maintenance of Weaponry and Military Equipment Samples Using the Weibull Distribution Law of Time Between Failures, DNDI VS OVT, Chernihiv. Collection of Scientific Papers of the State Scientific Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment / DNDI VS OVT. – Chernihiv: Evenok O.O., 2022. – Issue No. 2(12). – 93-108– ISSN 2706-7386.
2. Mimenko V.I., Yablonskyi P.M., Kityk S.V. Application of Diffusion-Nonmonotonic Distribution for Modeling the Operation Process of Radio Electronic Equipment // Social Development & Security – 2019. – No. 6 – pp. 37-46.
3. S.V. Lenkov, V.M. Tsitsaryev, V.O. Osypa, V.O. Braun. Mathematical Model of the Maintenance and Repair Process of Complex Radio Electronic Equipment. Collection of Scientific Papers of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Kyiv. 2013. No. 39. pp. 12-19.
4. Pyavchuk O.O. Mathematical Model of Storage of Aviation Munitions Using the Diffusion-Nonmonotonic Distribution of Their Failures / O.O. Pyavchuk, P.V. Openko, P.M. Yablonskyi, V.P. Dyptan // Scientific Journal “Honor and Law”, issue Kh.: NANGU, 2022, No. 3 (82), pp. 99 – 107.
5. Mimenko V.I. Comparison of the Maintenance Efficiency of Aviation Equipment Operated Based on Technical Condition for Diffusion-Monotonic and Diffusion-Nonmonotonic Failure Distribution Models / [V.I. Mimenko, P.M. Yablonskyi, S.O. Pustovyi, O.V. Avramenko] – K.: NUOU, Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense, 2015. – No. 2 (23) – pp. 88-93.
6. Kityk S.V. Semi-Markov Mathematical Model of Maintenance of Radio Electronic Means of Anti-Aircraft Missile Systems. // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defense – 2019. – No. 3(36) – pp. 29-34.
7. Mimenko V.I., Yablonskyi P.M., Pustovyi S.O., Avramenko A.V. Mathematical Model of Maintenance of Aviation Equipment Using Diffusion-Monotonic Failure Distribution. Oral's Science Bulletin. Uralnaukniga. 2014. No. 21 (100), pp. 12-22.
8. Kurtseitov T.L., Kopashynskiy S.A., Yablonskyi P.M. Comparison of Distribution Laws (Failure Models) for Describing Processes Occurring in the Mathematical Model of Operation (Storage) of Munitions at the Life Cycle Stages of "Usage" and "Support". Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”, Vol. 13, No. 6, – 2023. – pp. 88-94. – ISSN 2522-9842.
9. Cox, M. Evaluation of Measurement Uncertainty Based on the Propagation of Distributions Using Monte Carlo Simulation / M. Cox, P. Harris, B. R.-L. Siebert // Measurement Techniques, Vol. 46, Is. 9, 2013. – pp. 824-833.
10. Voichuk V.A. et al. Onboard Radio Electronic Systems. Part 1. – K.: NAU, 2006.
11. Voichuk V.A., Romanenko V.I., Vasyagin D.V. Operation and Repair of Radio Electronic Equipment of Aircraft, Helicopters, and Aviation Missiles. (Electronic Textbook EP001). – K.: NAU, 2011.
12. Novikov V.V. Numerical Methods for Uncertainty of Measurement Results Calculation. // Conference of Young Scientists on Modern Problems of Mechanics and Mathematics Named After Academician Y.S. Pidstryhach. Abstracts of Reports. – Lviv, 2009. – pp. 147-148.
13. Wubbeler G. Evaluation of Measurement Uncertainty and its Numerical Calculation by a Monte Carlo Method / G. Wubbeler, M. Krystek, C. Elster // Measurement Science and Technology, Vol. 19, Is. 8, 2008.
14. Angeles Herrador M. Evaluation of Measurement Uncertainty in Analytical Assays by Means of Monte Carlo Simulation / M. Angeles Herrador, A. Gustavo Gonzalez // Talanta, Vol. 64, Is. 2, 2004. – pp. 415-422.
15. Klochko N.B., Slabinoga M.O., Tutka O.O. Application of the Monte Carlo Method for Error Estimation of Doppler Speed and Drift Angle Meters [Electronic resource]. Access mode: http://elar.nung.edu.ua/bistream/123456789/4303/1/5_404p.pdf – Date of publication: 18.06.2016. – Date of view: 24.03.2024.
16. Rogozhin V.O., Skripets A.V., Filyashkin M.K., Mukhina M.P. Autonomous Navigation Systems of a Specific Type of Aircraft and Their Maintenance: A Textbook. – K.: NAU, 2015. – 308 p.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-93-98

УДК 355.358

Волошин Ігор Іванович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0009-0003-9315-5246>

Луцевят Олександр Іванович

<https://orcid.org/0009-0001-2435-5434>

Васильченко Дмитро Олександрович

<https://orcid.org/0009-0003-5350-9628>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПЛОТНИХ АВІАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ В СУЧАСНИХ ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТАХ

У статті проаналізовано ефективність застосування безпілотної авіаційних комплексів (БпАК) та напрямки їх еволюції в конфліктах першої чверті XXI століття. Тому метою даної статті є узагальнення інформації щодо причин розробки, удосконалення та особливостей способів застосування, тактичних прийомів, можливостей БпАК в різних конфліктах сучасності, проведено порівняння щодо застосування БпАК в російсько-українській війні до та після повномасштабного вторгнення. На основі проведеного аналізу, запропоновано перспективні напрямки подальшого розвитку БпАК в Україні з урахуванням загальних світових тенденцій щодо цього напрямку, які сьогодні є одним із основних видів сучасного озброєння.

Ключові слова: перерозподіл завдань, підвищення спроможностей, бойова ефективність, безпілотні авіаційні комплекси, безпілотні літальні апарати, застосування БпАС.

Вступ

“Війна – область недостовірного: три чверті того, на чому будується дія на війні, лежить в тумані невідомості, отже, щоб розкрити істину, потрібно перш за все, тонкий, гнучкий, проникливий розум. Постійне втручання випадковості призводять до того, що воїн, насправді, зустрічається з абсолютно іншим станом речей, ніж очікував, що не може не відбиватися на його плані дій або, принаймні, на тих уявленнях про обстановку, що лягли в основу цього плану. Якщо вплив нових даних настільки сильний, що рішуче скасовує всі прийняті їм припущення, то замість останніх повинні бути застосовані інші, але при цьому може виникнути ситуація, коли події випереджують рішення і не дають часу не тільки зріло обдумати нову ситуацію, що склалася, але навіть усвідомити її. Втім, значно частіше виправлення наших уявлень про обстановку та зустріч з випадковістю виявляються недостатніми, щоб зовсім порушити наші наміри, але можуть їх значно похитнути. Можлива ситуація, коли наше знайомство з обстановкою поглиблюється, але невпевненість не зменшується, а навпаки – збільшується. Причина цього полягає в тому, що необхідні відомості надходять не відразу, а поступово та не вчасно. Наші рішення безперервно піддаються тискові нових даних, і наш дух весь час повинен залишатися у всеозброєнні”[1].

Усю історію людства – історію війн, люди бажали бути на крок попереду свого противника. Будь-яка дія на полі бою в повній мірі залежить від

інформації, вміння командира її аналізувати та приймати, з її урахуванням, найбільш раціональні рішення. Недостовірна або невчасна інформація згубно впливає на процеси планування, прийняття рішення та його реалізацію. Командирам необхідно вживати всіх можливих заходів, щоб вчасно отримувати достовірну інформацію щодо обстановки. Еволюція війн та конфліктів призвела до підвищення обсягу інформації на полі бою, її швидкоплинності, а відтак вплинула і на своєчасність прийняття рішення командиром.

З метою досягнення переваги над противником на полі бою та кінцевої перемоги слід сумісно з партнерами вживати заходів щодо підвищення технологічного рівня озброєння та військової техніки (ОВТ) та автоматизованих систем управління (АСУ), пошуку нових форм та методів ведення боротьби ЗС України.

Відповідно до рішення Ради національної безпеки і оборони України "Про Стратегію воєнної безпеки України" [2], головна мета воєнної безпеки є завчасно підготовлена та всебічно забезпечена, всеохоплююча оборона України. Одним з основних пріоритетів якої є – сучасне високотехнологічне озброєння, військова та спеціальна техніка ЗС України, інших складових сил оборони, яка забезпечує виконання ними покладених завдань, зокрема в сумісних операціях.

Досягнення реалізації зазначеного пріоритету відбуватиметься шляхом:

впровадження АСУ військами і зброєю, сучасних технологій зв'язку, телекомунікацій,

захисту інформації, розвідки та логістики, цифрова трансформація діяльності у війсьній сфері, сфері оборони і військового будівництва;

постачання у війська (сили) сучасної ракетної зброї, здатної вражати важливі воєнні, інфраструктурні та інші об'єкти противника на великій відстані;

розвиток ракетного озброєння визначених класів і типів як одного з основних засобів стримування противника.

Матеріали та методи

Завдяки технологічній еволюції людство отримало можливість якщо не в повній мірі подолати “туман війни” то значно послабити його вплив на полі бою на людину, а отже значно підвищити ефективність застосування військ. І не останню роль тут повинні зіграти БпАК, що застосовуються останнім часом все частіше для виконання широкого спектру завдань.

В роботі використані загальнонаукові методи дослідження: аналіз і узагальнення.

Результати

“Технології відкривають можливості та розширюють межі дозволеного”. Доводячи будь-яку систему до технічної досконалості людина завжди намагається виключити з її складу себе. В певний проміжок часу людина розуміє, що найбільш важливим, з погляду вартості, та найменш ефективним елементом системи є саме вона.

Не виключенням стають і повітряні судна, які з часом, отримавши достатню автоматизацію, цифровізацію процесів, а також величезний набір датчиків та елементів контролю перетворилися в автоматичні (процес управління, який вимагає ініціювання зовнішнім екіпажем БпАС) або автономні (політ який не потребує прямого ініціювання та/або втручання зовнішнього екіпажу) безпілотні системи [3].

Досвід останніх воєнних конфліктів на планеті підтверджує значну ефективність застосування безпілотних авіаційних комплексів на полі бою. Саме це, в значній мірі, вплинуло на їх бурний розвиток, а з початку XXI століття будь-який військовий конфлікт годі вже уявити без застосування безпілотних авіаційних комплексів.

На полі бою БпАК сьогодні виконують такі завдання, що були раніше притаманні тільки пілотованій авіації, артилерійським системам, космічним системам, інженерним засобам, тощо. І процес заміщення діючих зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) на БпАК, практично, тільки розпочато. Вони стали засобами розвідки, засобами корегування вогню, ударними та спеціалізованими системами для виконання різноманітних завдань. БпЛА стали як сенсорами систем ситуаційної обізнаності на полі бою так і її активними користувачами.

США, країни-члени НАТО. Бойові дії та отриманий, при цьому, досвід прямим чином впливає на удосконалення озброєння. Такі американські безпілотні літальні апарати (БпЛА) як

“Pioneer”, “Exdrone” та “Pointer”, французькі “MART” в період ведення бойових дій на близькому сході 1988-1991 років, обладнані відеокomплексом для ведення розвідки у денний час, а також інфрачервоною апаратурою для роботи у темний час доби, показали високу ефективність щодо отримання оперативної інформації про наземні об'єкти противника безпосередньо уздовж лінії бойового зіткнення. Проте складні погодні умови та пустельний рельєф місцевості призвели до необхідності оснащення БпАК приладами нічного бачення і приймачем (GPS), а потреба у лазерному підсвічуванні цілей – встановлення відповідного обладнання. Підсумком такого досвіду експлуатації та застосування БпАК стало розробка нових вимог щодо розроблення апаратів аналогічного типу – більш легких, недорогих, оснащених засобами оптико-електронної, радіаційної, хімічної та біологічної розвідки, РЕБ, зі збільшеним радіусом дії та часом перебування в повітря. У результаті, протягом 1997–1998 рр. пройшли модернізацію біля 30 БпЛА “Exdrone”. Нова модифікація отримала назву “Dragon Drone” та мала меншу дальність польоту, що компенсувалася кращими розвідувальними можливостями (встановлено відеокамера та обладнання для лазерного цілевказання, для наведення ударної авіації на цілі, та засоби РЕБ і РТР). Всього було виготовлено біля 400 таких апаратів. Таким чином, бойові дії в Перській затоці вплинули на тактичну та оперативну діяльність військ (сил) і вказали на потребу в забезпеченні інформацією тактичної ланки військ “батальйон-рота-взвод”. В руках військових опинився дієвий інструмент з помірною вартістю, достатньою ефективністю, основною перевагою якого стало збереження життя військовослужбовців.

Під час Балканської кризи до повітряної розвідки залучались три типи БпЛА тактичного рівня: від Великої Британії – “Phoenix” (маючи досконалу, на перший, погляд конструкцію та обладнання, БпЛА виявився ненадійним і як наслідок аварійним - найбільші втрати склали 14 одиниць з 48, що були алучені до бойових дій. У 2003 році, при проведенні операції в Іраку, британці взагалі відмовились від використання зазначеного БпЛА із-за ненадежної надійності та посередньої ефективності на користь американського БпЛА “Raven”); від Франції – “Crecerelle”; від Італії – “Mirach” (БпЛА ближньої дії з сучасним набором розвідувального обладнання на борту, яке включало дві відеокамери з високою роздільною здатністю (денна/нічна) та тепловізійне обладнання). Основними завданнями, які виконували БпЛА, стали ведення спостереження за полем бою та проведення розвідувальних операцій у тактичній глибині. Але щодо втрат, то як вдалося встановити, перший БпЛА (“Crecerelle”) було збито вогнем противника 14 травня 1998 р. У цілому, загальні втрати склали 17 БпЛА – вже згаданих “Phoenix” і 3 “Crecerelle”. Німецькі фахівці врахували попередній досвід США та Франції та у 2000 році провели в Косово експериментальні випробування

нового БпЛА “Luna X-2000”. Основними вимогами до БпЛА стали: можливість його використання цілодобово у будь-яких метеоумовах; компактність розміщення наземного обладнання (максимум на двох машинах); наявність автоматичної системи навігації, яка б давала змогу забезпечити політ БпЛА за спланованим маршрутом із можливостями внесення поправок за допомогою супутникової системи навігації GPS. Особливістю БпЛА була найсучасніше, на той час, розвідувальне обладнання – телевізійна камера відомої німецької фірми Zeiss, а також нова радіолокаційна станція (РЛС). БпЛА міг вести розвідку в радіусі 120 км протягом, приблизно, 4 годин.

В підсумку, конфлікт на Балканах остаточно закріпив висновок, зроблений під час першої компанії в Іраку, про необхідність використання БпЛА в інтересах тактичних підрозділів. На початок воєнної операції в Іраку 2003 року такі БпЛА складали вже біля 80% загальної кількості безпілотної системи. Серед понад 100 одиниць БпЛА, які брали участь в операції “Свобода Іраку”, біля 80 одиниць були БпЛА тактичного рівня. Серед них 9 RQ-7A “Shadow 200”, 20 БпЛА “Dragon Eye”; 28 БпЛА “FPASS” (варіант “Sentry Owl”); 6 “Sierra Foxe”; велика кількість FQM-151A “Pointer, Raven” і “Phoenix”. Втрати в операції склали всього 4 %: 2 БпЛА “Shadow-200” і 2 БпЛА “Phoenix”. Для забезпечення розвідувальною інформацією органи військового управління вищих рівнів (бригада) в Іраку широко використовувались БпЛА “Shadow-200”. Апарат мав нову бортову РЛС, яка давала змогу виявляти рухомі цілі. Командири батальйонного та ротного рівня морської піхоти США використовували в своїх інтересах в Іраку легкі переносні БпЛА “Dragon Eye”.

В силу забезпеченої скритності дій, особливостям застосування, особливостям місцевості та відсутності у противника дієвих засобів протидії тактичним БпЛА, під час операції “Свобода Іраку”, дозволило забезпечити вирішення більшості розвідувальних завдань в інтересах коаліції. Але зазначені фактори мали як позитивний так і негативний вплив на застосування БпЛА. Проведений аналіз бойового досвіду безпілотної авіації в Іраку та особливості застосування проти партизанських дій противника виявив зростання попиту на невеликі за розміром мобільні БпЛА. При необхідності ведення вуличних боїв та боїв у складній місцевості, наявні БпЛА сил коаліції вже не змогли ефективно виконувати завдання, які на них були покладені. Інфраструктура міста, щільна перешкоджала не тільки безпосередньо польоту БпЛА, а й процесу управління їм. Крім того, значні труднощі були пов'язані з процесом передачі розвідувальної інформації, зокрема відеозображення, у масштабі реального часу. Нові виклики, а саме: партизанські загони, що діяли в міській місцевості, пристосування бойовиків до розвідувальних польотів БпЛА - вплинуло на потребу в розробці маневреного, не швидкісного та малолучного БпЛА, здатного нести на собі сенсори для виявлення противника, у тому числі і

всередині будівель. Було сформовано нові вимоги до створення перспективних міні-БпЛА.

Ще одним недоліком, що був виявлений за досвідом війни в Іраку, стала низька оперативність надходження розвідувальних даних безпосередньо до військових підрозділів, що вели бойові дії в окремому секторі міста. Швидкоплинність зміни бойової обстановки в умовах урбанізованої та гірської місцевості зменшувала ефективність використання БпЛА та не забезпечувала достатній рівень оперативності, а відтак і достовірності інформації та правильності прийнятих на її підставі рішень.

В Афганістані серед нових БпЛА, що використовувались, був і німецький розвідувальний БпЛА “Aladin”. Підрозділи бундесверу зі складу Міжнародних сил за сприяння безпеці в Афганістані розпочали його використання у березні 2003 року. Підставою для створення БпЛА “Aladin” стала необхідність використання малогабаритних апаратів із запуском з руки вагою всього 3,5 кг. Посадку апарат виконував за допомогою парашуту. Електродвигун, що обертав пропелер, давав змогу розвивати швидкість 45–90 км/год і часом патрулювання до 30 хв. На борту БпЛА знаходилася відеокамера й апаратура для потокової передачі даних на командний пункт.

Починаючи з середини 90-х років ХХ століття США активно розробляли, а конфліктах в Афганістані та Іраку - застосовували БпЛА II та III класу (за класифікацією армії США) MQ-1 “Predator”, RQ-4 “Global Hawk”, RQ-7 “Shadow” та їх модифікації. Проте у зв'язку зі специфікою завдань та масовістю застосування, даних щодо аналізу ефективності недостатньо.

Отже, підсумовуючи еволюцію створення та бойового застосування БпЛА країнами-членами НАТО слід зазначити наступні особливості:

реальний бойовий досвід використання БпЛА став каталізатором розробки та створення новітніх, більш досконалих та ефективних систем озброєння; на основі досвіду попереднього конфлікту впроваджувались заходи по вдосконаленню БпЛА та тактиці його застосування в діючих конфліктах;

БпЛА, що виконували лише розвідувальні функції, ставали джерелом даних для систем ситуативної обізнаності на полі бою, значно розширивши бойові спроможності сил та військ;

особливості ведення бойових дій в різних регіонах та перехід на антитерористичну діяльність дуже сильно впливали на ефективність застосування БпЛА, тому ті з них, що мали значні переваги в Югославському конфлікті, стали мало ефективні в Іраку та Афганістані;

БпЛА слід розглядати як спеціалізовану зброю, а не універсальну, а її різноманітність є, в деякому розумінні, перевагою, а не недоліком;

позитивний досвід використання, ефективні рішення та недоліки поширювались та вивчались союзниками, враховувались та впроваджувались, що у свою чергу, завдавало стандарти сумісності та взаємодії. Одними з перших принцип уніфікації основних елементів конструкції БпЛА

запропонували і реалізували американці на таких БпЛА як “Shadow”, “Hunter”, безпілотною вертольоту “Fire Scout” (єдина станція управління);

запропонована конструктивна побудова БпАК по модульному принципу, що давало можливість легкої заміни датчиків та елементів їх конструкції.

Ізраїль. Керуючись винятковими потребами в безпеці та ефективності, а також ворожим середовищем існування, першість у розвитку і застосуванню БпАК тактичного рівня залишалась за Ізраїлем. На початку 2000 років на озброєнні ізраїльських підрозділів знаходилося понад 10 типів БпАК тактичного рівня. Частково рішення ізраїльських інженерів ставали орієнтирами в основі розробок багатьох країн світу, зокрема противників та росії. Також такі БпАК активно закуповувались країнами НАТО, у першу чергу США, які застосовували їх у воєнних конфліктах. Невеликі за розмірами, малощумні і тихохідні БпЛА були ідеально пристосовані для виконання завдань з виявлення терористів у міських умовах. Для ведення повітряної розвідки на бригадному рівні ізраїльськими військовими використовувався БпЛА ближньої дії “Mini-V” з сучасною розвідувальною апаратурою, вагою 55 кг і максимальну висоту бойового застосування 4000 м. Для ведення повітряної розвідки на рівні “взвод-батальон” і в інтересах сил спеціального призначення в Ізраїлі застосовувались міні-БпЛА “Skylight-B” (вага до 4,5 кг, радіус патрулювання 10 км протягом 70 хв., запуск з руки). Особливістю БпЛА було успішне застосування при несприятливих метеороумовах. БпАК “Skylark” мав тривалість польоту до 2 годин при тому ж радіусі патрулювання та наявності на борту трьох цифрових камер (або трьох тепло визорів), які забезпечували усепогодність розпізнавання та виявлення навіть замаскованих об’єктів.

Широке різноманіття розроблених та застосовуваних БпАК з одного боку ефективно впливало на виконання завдань ізраїльською армією, але з іншого боку значно ускладнило технічну експлуатацію та утримання БпАК, а отже і значні фінансові втрати. Досвід воєнних конфліктів доводить, що для спрощення експлуатації БпАК в бойових умовах було б доцільно стандартизувати та уніфікувати окреме обладнання і зробити його загальним для певного кола БпАК. Також ці заходи значно б скоротили логістичні витрати та вирішили питання складності в підготовці екіпажів.

Ізраїльтяни запропонували свій різновид уніфікації – перехід до БпАК модульного типу. Прикладом тому стала поява серії легких БпЛА, відомих під назвою “I-View”. БпЛА трьох розмірів зі злітною вагою 50, 125 і 250 кг, потребували меншої логістичної підтримки, ніж існуючі на той час БпЛА. Радіус їх застосування становив від 50 до 150 км, тривалість перебування у повітрі – від 6 до 12 год, а корисне навантаження – від 8 до 41 кг. Таким чином, починаючи з конфлікту в районі Перської затоки 1991 року, набула свого розвитку

тенденція використання розвідувальних БпЛА в інтересах найнижчих ланок військового управління “взвод-рота-батальон”[7].

БпАК тактичного рівня, у більшості випадків, стали єдиним засобом розвідки, який забезпечував тактичні підрозділи інформацією про противника й об’єкти в реальному часі. У результаті, командири змогли оперативно реагувати на зміни обстановки, що значно підвищило ефективність дій їх підрозділів.

Україна. Від початку повномасштабного вторгнення застосування розвідувальних БпАК ЗС України суттєво підвищило ситуаційну обізнаність та ефективність застосування підрозділів. Існує тенденція, коли кількість виявлених та підтверджених цілей переважає спроможність їх уражати [4]. Окрім цього, при здійсненні оцінки ефективності вогневого ураження з’являється оперативна можливість доураження цілі або переведення вогню на іншу ціль. В наслідок зазначеного, значно скорочується необхідний наряд сил та засобів для ураження цілі та можливість проведення противником проти батареїної боротьби.

Наприкінці 2023 року ударні БпАК за своїм масштабом впливу на противника почали прирівнюватись до артилерії та авіації [4]. І це не дивно з огляду на постійну нестачу боеприпасів для мінометів, ствольної та реактивної артилерії. Деякі боеприпаси, такі як ВоГ-25 та 82 мм міни набули значно ефективних спроможностей при застосуванні з БпАК. Натомість, FPV-дрони, при заміні снарядів ствольної артилерії, переважають їх не тільки за ефективністю, але й за вартістю. Довідково: FPV-дрон має середню вартість 300-400 доларів США за одиницю, а артилерійський снаряд 155 мм західного виробництва близько 2500-3000 доларів США за одиницю. Також використання БпАК значно знижує ризики матеріальних та людських втрат.

З огляду на зазначене, БпАК стають критичною спроможністю для ЗС України. Об’єм використання FPV-дронів становить, для високо результативного взводу БпАК, порядку 300-400 одиниць/місяць, при цьому, середньодобова потреба в них становить близько 15-20 одиниць. Ці потреби не враховують кількість дронів, які не придатні до бойового застосування в наслідок технічних дефектів та потребують відновлення або доробки.

Зважаючи на аналіз застосування БпАК під час ведення бойових дій можна сказати, що середньомісячна втрата багаторазових БпЛА типу MAVIC-3 (ЗТ) за рік склала 22 одиниці на місяць, мультироторний для скиду боеприпасів склала 5 одиниць/місяць, БпЛА типу “крило” розвідувальне – 2 одиниці/місяць.

Результативність FPV-дронів складає від 20 до 54 %, що становить 2-5 FPV на одне ураження цілі.

Показники високо результативного взводу БпАК наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Показники результативності взводу БпАК				
Клас цілі	Уражено	Знищено	Сума	Кількість витрачених FPV-дронів
ЛАТ/ВАТ	15	7	22	52
Танки	12	4	16	39
ББМ	12	4	16	35
Артилерія	4	3	7	29

Аналіз ураження FPV-дронами близько 730 цілей, розподіл їх типів має наступний вигляд: танки - 7%, ББМ - 13%, ЛАТ - 18%, ВАТ - 9%, обладнання розвідки - 4%, артилерія - 11%, скучення о/с - 10%, укриття і бліндажі - 22%, інше - 4%, склади - 2%.

Натомість нічні БпЛА типу “бомбери” мають наступну результативність: танки - 4%, ББМ - 12%, ЛАТ - 11%, ВАТ - 5%, сенсори розвідки - 7%, артилерія - 11%, скучення особового складу противника - 5%, укриття і бліндажі - 34%, інше - 7%, склади - 4%.

Таблиця 2

Основні фактори, що впливають на втрату	
Причина	Частина, %
Невлучання оператором	28
Нерозрив	13
Підрив у повітрі	8
Втрата керування	15
Втрата відео	12
Інше	3
Збито	9
Візуальна втрата цілі	8
Розрядка батареї	5

Обговорення

Уроки застосування БпЛА свідчать про те, що для враження габаритних цілей успішно застосовують FPV-дрони. Найчастіше такі типи цілей є малопомітними та розташовані з відкритим силуетом. Це не перешкоджає підрозділам знешкоджувати цей тип цілі досить ефективно. FPV-дрони дозволяють вражати такі засоби з більшою точністю та меншою витратою, аніж за допомогою артилерійських засобів.

Ударні БпАК продемонструвала себе як досить точні засоби ураження. Наприклад, для ураження цілі ствольною артилерією середня витрата боєприпасів складає від 15 до 20 пострілів, а для досягнення цього ж ефекту можна витрати 2-5 FPV-дронів чи 1-2 вильоти багаторазового мультироторного БпЛА типу – “бомбера”.

Аналізуючи розвідувально-ударні місії БпАК можна зробити висновок, що розвідувальна спроможність недостатньо розвинена у зв'язку з використанням обмежених за льотними та технічними характеристиками наявних БпАК. Виникає потреба розглянути доцільність створення розгалуженої системи, яка буде складатися з різних

класів та типів БпАК, спеціалізованих засобів розвідки стратегічного рівня, оперативного рівня та тактичного рівня у кількості - за складом бригад, батальйонів, рот та об'єднання всіх засобів розвідки в єдину систему за допомогою АСУ. Використання АСУ та системи ситуативної обізнаності дасть змогу якісно виконувати заходи щодо планування, підготовки та вогневого ураження противника.

Таким чином із зазначеного (табл. 2), що 28% неуспішних місій спричинені суб'єктивним фактором. Це зумовлено тим що велика частка цілей яку намагаються вразити перебуває в русі або є малогабаритними цілями. Втрата керування складала - 15%, втрата відео - 12%, що в сумі становить 27%. Типовими причинами втрати керування є застосування противником засобів РЕБ, обмеження радіо горизонту, FPV з конструктивно-виробничими недоліками, завадами від дружніх підрозділів. Також необхідно відмітити, що 13% неуспішних місій спричинені не спрацюванням боєприпасів (з технічних причин). Цей показник є наслідком відсутності спеціалізованих та адаптованих до конкретних моделей БпЛА боєприпасів. Передчасний підрив у повітрі склав 8%, що пов'язано з неякісними платами ініціації (технічна причина). Потрібно зауважити, що середньо результативні підрозділи зазвичай реалізують свій потенціал з ураження приблизно на 25-30% відносно високорезультативних підрозділів. Що стосується FPV, то середньо результативні підрозділи реалізували свій потенціал приблизно на 48%.

Висновки

Таким чином в статті був проведений аналіз ефективності застосування безпілотної авіаційних комплексів в сучасних військових конфліктах різними країнами світу. Проведений аналіз досить переконливо доводить, що застосування БпАК вже сьогодні є ефективним з точки зору придушення комплексів ППО, розвідки, виконання ударних та інших функцій достатньо малими витратами. Подальший розвиток технологій поодинокого та групового застосування БпАК з різними варіантами корисного навантаження значно ускладнить умови ведення бойових дій противником.

Визначення місця і ролі БпАК у загальній системі Збройних Сил України вимагає досить ґрунтовних теоретичних та практичних досліджень, а також уточнення завдань підрозділам БпАК, з яких впливатимуть напрямки удосконалення їх структури та пошуку нових форм, тактичних прийомів та способів їх застосування.

Список використаних джерел

1. Carl von Clausewitz, Vom Kriege, Book 1, Chapter 3.
2. Указ Президента України "Рішення Ради національної безпеки і оборони України. Про Стратегію воєнної безпеки України" № 121/2021. – К.: Адміністрація Президента України, 2021. – 16с.
3. Апарати літальні безпілотні. Основні терміни та визначення понять. Класифікація. ДСТУ В 7371:2023. – Київ.: “ДП УкрНДНЦ”, 2023. – 4 с.
4. Звіт з визначення досвіду застосування рот ударних

БпЛА, 2024. – 70с.

5. Старушенко Г. Цифрові методи і моделі оптимізації публічно-управлінських рішень: узагальнення моделі логістичних витрат Харріса-Уілсона / Г. Старушенко // Аспекти публічного управління. – 2022. – Том 10. № 2. – С. 5-15.

6. Ударні БПЛА змінили хід бойових дій в Сирії та Лівії // Військовий огляд [Електронний ресурс]. 23.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172367-udarnye-bpla-izmenili-hod-boevyh-dejstvij-v-sirii-i-livii.html>.

7. Артюшин Л.М., Ребрин Ю.К. Воздушная разведка наземных целей беспилотными летательными аппаратами. Киев: 2004. – 176 с.

8. Ростопча В. В. Ударні безпілотні літальні апарати і протиповітряна оборона - проблеми і перспективи протистояння // Безпілотна авіація [Електронний ресурс]. 2019. - URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_problemy_i_perspektivy_protivostoania.

Igor Voloshyn (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0009-0003-9315-5246>

Alehandr Lutseyvat

<https://orcid.org/0009-0001-2435-5434>

Dmitro Vasilchenko

<https://orcid.org/0009-0003-5350-9628>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

THE EFFECTIVENESS USE OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS APPLICATION IN MODERN MILITARY CONFLICTS

The article analyzes the effectiveness of using unmanned aerial systems (UAS) and the directions of their evolution in conflicts of the first quarter of the XXI century. Therefore, the purpose of this article is to summarize the information on the reasons for the development, improvement and features of the methods of application, tactical techniques, capabilities of the UAV in various conflicts of our time, a comparison is made between the use of UAS in the Russian-Ukrainian war before and after full-scale invasion. Based on this analysis, the author suggests promising directions for further development of UAS in Ukraine, taking into account global trends in this area, which today are one of the main types of modern weapons.

Keywords: *task redistribution, capabilities enhancement, combat effectiveness, unmanned aviation complexes, unmanned aerial vehicles, UAS application.*

References

1. Carl von Clausewitz, Vom Kriege, Book 1, Chapter 3.
2. Decree of the President of Ukraine "Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine. On the Military Security Strategy of Ukraine" No. 121/2021. - K.: Administration of the President of Ukraine, 2021. - 16 p.
3. Unmanned aerial vehicles. Basic terms and definitions of concepts. Classification. DSTU B 7371: 2023. - Kyiv: "SE UkrNDNC", 2023. - 4 p.
4. Report on determining the experience of using companies of strike UAVs, 2024. - 70 p.
5. Starushenko H. Digital methods and models for optimizing public administration decisions: generalization of the Harris-Wilson logistics cost model / H. Starushenko //

Aspects of Public Administration. - 2022. - Vol. 10. No. 2. - P. 5-15.

6. Strike UAVs changed the course of hostilities in Syria and Libya // Military Review [Electronic resource]. 23.06.2020. - URL: <https://topwar.ru/172367-udarnye-bpla-izmenili-hod-boevyh-dejstvij-v-sirii-i-livii.html>.

7. Artyushin L.M., Rebrin Yu.K. Aerial reconnaissance of ground targets using unmanned aerial vehicles. Kyiv: 2004. – 176 p.

8. Rostopchina V.V. Striking Unmanned Aerial Vehicles and Air Defense - Problems and Prospects of Confrontation // Unmanned Aviation [Electronic resource]. 2019. - URL: https://www.researchgate.net/publication/331772628_Udarnye_bespilotnye_letatelnye_apparaty_i_protivovozdusnaa_oborona_problemy_i_perspektivy_protivostoania.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-99-104

УДК 355.424.4

Чирак Микола Степанович

<https://orcid.org/0009-0004-9664-6048>

Головний центр підготовки особового складу Державної прикордонної служби України імені генерал-майора І. Момота, Оршанець, Україна

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ БОЙОВИХ СПРОМОЖНОСТЕЙ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ УДАРНИХ БПЛА

У статті проведений аналіз вогневого ураження противника, підрозділами ударних дронів Сил оборони України у період з 24.02.2022 по 24.02.2024 року з метою стримування наступу противника та недопущення просування в глибину території України. Визначено, що головним вогневим засобом ураження противника зі складу механізованих, мотопіхотних, піхотних, взводів та підрозділів Сил територіальної оборони – це ручні та станкові протитанкові гранатомети, протитанкові ракетні комплекси, ударні безпілотні авіаційні комплекси. Зроблено висновки, що у подальшому слід максимально оптимізувати, у тому числі і економічно вигідне швидке вогневе ураження противника, з максимальною ефективністю бойового застосування вогневих засобів, що є у складі тактичних підрозділів на передньому краї оборони військ Збройних Сил України з використанням максимальної кількості високоточної зброї, у тому числі з оптимізацією використання високоточної зброї виробництва СРСР.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, бойові дії, вогневе ураження, вогневий засіб, комплекс, протитанковий ракетний комплекс, радіоелектронна боротьба, радіоелектронне подавлення.

Вступ

У складних умовах сучасного етапу державотворення в Україні, що визначаються веденням Російською Федерацією (рф) проти України повномасштабної збройної агресії варварськими (злочинними) методами, з одночасним застосуванням різних заходів ведення “гібридної” війни, у тому числі і в інформаційному просторі, постає питання щодо необхідності пошуку нової тактики застосування протитанкових підрозділів сухопутних військ та фінансово-економічно вигідних способів ефективного вогневого ураження броньованих та легкоброньованих цілей.

Якщо у війнах минулих поколінь планувались, виділялись пріоритетні об’єкти для ураження на полі бою (як правило високоточна зброя, засоби розвідки, броньовані цілі), то в сучасних війнах та війнах майбутнього такими цілями стануть об’єкти противника, що уражатимуться у визначеній послідовності [1, 2].

Для їхнього ураження буде потрібна велика кількість високоточних засобів ураження різної дальності дії і відносно дешевих способів їхньої доставки. У бою або операції мова буде йти не про застосування лавини вогню з усіх видів зброї сухопутних військ (СВ) по силах противника, а про “хірургічні операції” з масованим застосуванням високоточної зброї, з одночасним використанням БпАК різного призначення щодо знищення безлічі

найважливіших об’єктів в першу чергу, а потім у визначенні послідовності знищення всіх виявлених цілей противника до останнього ручного кулеметника.

Тому на сьогодні дуже важливим питанням для України є вирішення проблеми інтегрованого та синхронізованого застосування у реальному масштабі часу всіх наявних вогневих засобів, у тому числі протиповітряної оборони (ППО) для ефективного використання БпАК проти військ рф. У сучасних умовах, в яких опинилась наша країна, коли рф здійснює повномасштабну збройну агресію проти України, дослідження питання щодо надійного та дешевого вогневого ураження (і не тільки основних цілей, а теоретично майже всі виявлені цілі, що дозволить істотно зменшити санітарні втрати загальновійськових підрозділів при веденні різних видів бою) для реалізації замислу бойових дій, що вона має у війні проти України, є дуже актуальним аспектом, у тому числі і для пошуку ефективних засобів боротьби з броньованими цілями противника [3].

Матеріали та методи

У наведеній літературі розглядаються питання щодо аналізу наявного способу застосування БпАК для вогневого ураження противника [1], напрямків розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України, з урахуванням досвіду російсько-української війни [2], застосування повітряно-ударної компоненти збройних сил російської федерації [3-9], сучасні

методи радіоелектронної боротьби [10], застосування безпілотних авіаційних комплексів збройними силами російської федерації у війні проти України [11-15], з метою пошуку нових, вдосконалення наявних способів бойового застосування безпілотних літальних апаратів, посилення різним озброєнням та боеприпасами.

Отже, метою статті є – на підставі проведеного аналізу шляхів підвищення окремих бойових спроможностей військових частин ЗС України, запропонувати напрями оптимізації застосування ударних БпЛА.

Результати

У нинішніх умовах складність ведення бойових дій обумовлюється багатьма факторами, серед них високою інтенсивністю бойових дій, переважаючий по чисельності противник, значна по довжині лінія фронту, складністю вогневого ураження через недостатню кількість вогневих засобів та значну недостатність боеприпасів до всіх видів озброєння. У сучасному світі, де значну роль відіграють фінансово-економічні відносини, щоб збільшити кількість засобів для ураження противника, ці засоби мають бути максимально дешевими, щоб забезпечити ними всі підрозділи в оперативних масштабах, та отримати можливість уражати всі виявлені цілі, а не лише найважливіші цілі для ефективного, як просування вперед під час наступальних дій, так і надійного утримання своїх рубежів в обороні.

Пропонується кілька шляхів розв'язання цієї проблеми. Потрібно знайти та запустити у масове виробництво хорошу альтернативу FPV дрону-“Камікадзе” з певним відсотком вірогідності ураження цілей. Це дасть змогу зосередитись на закупівлі боеприпасів, замість закупки і дронів, і боеприпасів.

Пропонується протитанкові ракетні комплекси ще радянського виробництва застосовувати з повітря за допомогою квадрокоптерів, що підвищить відсоток вогневого ураження за рахунок відсутності перешкод для керованих ракет, які приводяться в дію за допомогою розмотування дроту. Такий спосіб дає можливість отримати кращий огляд зони спостереження цілі противника з висоти та збільшити площу видимої поверхні цілі.

Попередні розрахунки дають підставу сказати, що за такого підходу площа видимої поверхні цілі буде збільшена у чотири рази по фронту і у два фронтально. Також це дасть змогу уражати цілі, що знаходяться за невеликим укриттям, що неможливе здійснити у пішому порядку, наприклад якщо ціль від піхоти відділена двохметровим бетонним парканом, або будівлею, яку неможливо обійти у зв'язку з тактичною обстановкою.

Процес ведення активних бойових дій з регулярними військовими частинами та підрозділами рф, що здійснює повномасштабну агресію, як у повітряному просторі, на суші, у морі, так і в інформаційному просторі, характеризується застосуванням великої кількості військ (тактичних бойових груп, різних формувань, спеціальних

підрозділів) та засобів повітряного нападу (КР, тактичної та армійської авіації, БпЛА), ракетних систем залпового вогню, різних артилерійських систем, танків та іншої спеціальної техніки [2, 7].

Станом на кінець листопада 2022 року ЗС України знищено велику чисельність особового складу та техніки противника, включно з повітряною компонентою, що свідчить про ведення жорстких бойових дій не тільки на суші, але й у повітряному просторі за здобуття переваги у повітрі [9].

На сьогоднішній день є гостра необхідність застосування ефективної високоточної зброї, придатної для бойового застосування в умовах жорсткої радіоелектронної боротьби, адже російська федерація є одним з провідних світових розробників засобів РЕБ. Російські війська використовують широкий спектр засобів РЕБ, який може мати значний вплив на хід бойових дій. РЕБ противника може використовуватися для наступних завдань у ході бойових дій:

порушення роботи систем зв'язку і управління противника, що може ускладнити або унеможливити управління військами і бойовими діями, що може призвести до дезорганізації противника і його поразки;

придушення роботи радарів противника, що може ускладнити або унеможливити використання авіації, протиповітряної оборони та інших систем противника, що у свою чергу, може призвести до переваги союзників;

введення в оману противника, що може призвести до дезорганізації його дій або до змущення його прийняти помилкове рішення;

фізичне ураження РЕЗ противника, що може призвести до їх повного знищення або виведення з ладу. Загалом, РЕБ є складною і багатогранною областю. Вона постійно розвивається, і її ефективність постійно підвищується. У сучасних умовах радіоелектронна боротьба є одним з найважливіших складових оперативного мистецтва.

У ході аналізу сучасних методів радіоелектронної боротьби російською федерацією виявлено, що ця галузь стає все важливішою у контексті сучасних військових конфліктів та загроз кібербезпеки. Застосування штучного інтелекту, кіберзаходів та новітніх технологій у РЕБ зумовлює необхідність постійного вдосконалення та адаптації стратегій не тільки електронного протистояння, а також спонукає до нових технологічних рішень у бойовому застосуванні різних підрозділів. Як російські, так і західні методи радіоелектронної боротьби відзначаються високим рівнем технічної складності та ефективності. Розвиток нових технологій дозволить створювати більш ефективні засоби високоточної зброї та протитанкових засобів, які матимуть значний вплив на хід бойових дій і зокрема на пілотування безпілотною літальними апаратами [10].

Значну кількість броньованої техніки було знищено саме завдяки FPV дронам-“камікадзе”.

Використання таких дронів ефективно та має досить малу кількість недоліків при застосуванні у порівнянні з вартістю та ефективністю із сучасними протитанковими ракетними комплексами. Під час виконання бойових завдань потрібна велика кількість засобів, що спроможні протистояти бронетехніці противника. Тому потрібен засіб, який здатен уражати танки противника з такою ж самою ефективністю як FPV дрон-“камікадзе”, але значно меншою собівартістю, для забезпечення максимальною кількістю. Середня балансова вартість FPV дрона-“камікадзе” складає приблизно від 25 тис. грн до 46 тис. грн (здебільшого такі дрони оснащуються пострілами гранатними ПГ-7 різних модифікацій, а їхня балансова вартість складає приблизно від 800 грн до 3 тис. грн).

Польотний ресурс самого безпілотно літального апарата, який несе на собі вибуховий заряд під час ураження цілей противника, складає приблизно 700 годин (взято середні дані живучості дронів, які піднімались у повітря кожен день, без урахування їх ремонту), а використовується цей ресурс FPV дронами-“камікадзе” при ураженні цілей на один політ, який за тривалістю складає менше години.

Сам безпілотно літальний апарат має досить значний польотний ресурс, він може перебувати у повітрі тривалий час (за винятком часу для заміни акумуляторних батарей). Розглядаючи приклади бойового застосування безпілотно літальних апаратів, ми бачимо, що більшість ураження противника відбувається або скидом боєприпасів зверху або “Камікадзе” – тобто польотом апарата, який оснащується вибухівкою та знищується разом з нею в кінці польоту. Останній спосіб найбільш поширений при боротьбі з броньованими цілями противника, тому що простий і доступний. Танкові підрозділи збройних сил російської федерації дуже бояться таких атак з повітря, тому навіть обладнують свої танки суцільними щитами з металу та засобами РЕБ. Але є шляхи вдосконалення застосування безпілотно літального апарата у боротьбі з танками противника. Потрібно застосувати вдосконалені боєприпаси (причому для ефективності і масовості застосування мають бути відносно дешевими та являти собою модернізовані боєприпаси до вже існуючих зразків озброєння і військової техніки), щоб БпЛА не знищувався після застосування, а після успішного знищення цілі можливо було його скерувати у зворотному напрямку. Якщо БпЛА оснастити вдосконалим пострілом на базі пострілу ПГ-7, який оснащений системою корегування польоту, то такий підхід надасть змогу керувати польотом такої гранати другим пілотом.

Таким шляхом можна зменшити вартість одного бойового застосування ударного БпЛА приблизно на 70% від середньої балансової вартості одного апарата БпЛА (ще 30% від вартості апарата – це вартість системи корегування польоту для пострілу ПГ-7).

Застосування ударних БпЛА таким чином дасть змогу застосувати “карусельну” тактику, тобто

декілька десятків БпЛА вилітали б один за одним та по черзі уражали б противника з поверненням у зворотному напрямку, причому ураження противника проводилось би з певної відстані, що зменшує вірогідність збиття стрілецькою зброєю на шляху польоту. Саме процес, який відбуватиметься при цьому, буде також і ефективно пригнічувати морально-психологічний стан особового складу бойових підрозділів противника, причому всіх родів військ.

Слід також відмітити що противник має у повітрі значні сили та вдосконалює тактику застосування авіації. Так вже у період з 01.05.2022 по 24.11.2022 ворог, не здобувши переваги у повітрі на початковому етапі і зазнавши значних втрат авіаційної складової повітряно-ударної компоненти (ПУК) ЗС РФ, почав заощадливе використання тактичної та армійської авіації, в основному для виконання завдань щодо підтримки дій наземних угруповань сухопутних військ на Сході і Півдні України, змінивши тактику їх застосування. Для виконання бойових завдань вони вже не входили в оперативну глибину повітряного простору в межах підконтрольної території України, а наносили авіаційні удари у безпосередній тактичній зоні ведення бойових дій, вздовж лінії зіткнення військ, що призвело до різкого зниження їх втрат: в травні 16 літаків та 19 вертольотів, у червні 9 літаків і 10 вертольотів, у липні 6 літаків та 6 вертольотів; у серпні 11 літаків і 14 вертольотів, у вересні 30 літаків і 20 вертольотів, у жовтні

11 літаків та 27 вертольотів, у листопаді 3 літаки і 8 вертольотів. Загальні втрати авіаційної складової ПУК ЗС РФ на даному етапі за 7 місяців війни склали 86 літаків та 104 вертольоти, що значно менше ніж на початковому етапі за 66 діб війни.

Загальні втрати авіаційної складової угруповання військ РФ станом на 24.11.2022 року склали: 278 літаків тактичної авіації та 261 ударних вертольотів армійської авіації. Це дуже великі втрати, втім, РФ наприкінці серпня змогла відновити чисельність авіаційного угруповання ПУК, чисельністю до 790 од. (у складі 430 літаків тактичної авіації та 360 ударних вертольотів), що розміщувалось на аеродромах поблизу кордону з Україною та на окупованих територіях, використавши майже увесь свій резерв армійської авіації, що більше ніж на момент вторгнення. Але це не змогло зупинити контрнаступ ЗС України та Харківщині та Херсонщині [9].

Сили оборони України для успішного наступу та відбиття тимчасово захоплених районів мають створити вогневу перевагу, зокрема і у повітряному просторі, бо як відомо, неможливо створити перевагу над противником без переваги у повітрі.

Частково вогневу перевагу у повітрі можна створити якраз за рахунок застосування безпілотно літальних апаратів.

Ще одним з варіантів простого та дешевого вдосконалення застосування вже існуючих зразків озброєння може стати застосування протитанкових ракетних комплексів радянського виробництва,

підняти у повітря за допомогою квадрокоптерів відповідної вантажопідйомності. Як і у будь-якого нововведення, такий спосіб застосування має як переваги, так і недоліки. Але все ж варто звернути увагу перш за все на переваги.

Розглянемо літаючий ПТРК на базі комплексу 9К115 “Метис”. По-перше, завдяки керуванню високоточних ракет дротяною системою управління, РЕБ не зможе створювати перешкоди для ураження цілей, по-друге на відміну від розставленого на землі ПТРК, набагато ширший огляд місцевості (особливо при просуванні через населені пункти, де, навіть припіднятий на декілька метрів зразок озброєння, може мати перевагу).

Якщо по дротах здійснювати пілотування та стрільбу, то ми отримаємо літаючий вогневий засіб, який буде стійким до всіх без винятку перешкод, які створює противник силами підрозділів радіоелектронного подавлення.

Дальність стрільби комплексу 9К115 “Метис” не перевищує 1000 м, що робить його не достатньо ефективною протитанковою зброєю загальновійськових підрозділів. До того ж, під час просування загальновійськових підрозділів територією противника бувають випадки, коли танки противника займають вигідні укриття за будівлями, парканами, обладнанням тощо, і застосування скиду або FPV з тих чи інших причин (зумовлених відповідною тактичною обстановкою) не може бути здійснене, – цю задачу можна виконати саме завдяки такому комбінованому способу бойового застосування ПТРК і БпЛА.

Використання такого комплексу 9К115 “Метис” способом “з повітря” підвищує його ефективність в рази, і не тільки завдяки збільшенню обзору. Річ у тім, якщо порівнювати спостереження будь-якого об’єкту із землі та з повітря, то ми побачимо, що площа поверхні, яку ми спостерігаємо під кутом з повітря, буде більшою, ніж якщо спостерігати із поверхні землі. Розглянемо приклад на базі розмірів танка Т-72. Порівнюючи фронтальну площу поверхні, яку ми спостерігаємо, коли танк рухається на нас фронтально, з тим коли спостерігаємо зверху під кутом – різниця видимої нам площі поверхні танка складає у чотири рази. Порівнюючи бокову площу поверхні, яку ми спостерігаємо коли танк рухається боком відносно нас, з тим, коли спостерігаємо зверху під кутом – різниця видимої нам площі поверхні танка складає у два рази. Тож я можна зробити припущення, що ефективність бойового застосування ПТРК з повітря підвищиться щонайменше у два рази.

Обговорення

На сьогоднішній день для здійснення ефективної боротьби при проведенні бойових та спеціальних завдань підрозділи ЗС України потребують підвищення ефективності застосування та оптимізації вже наявних способів бойового застосування високоточних та безпілотної засобів боротьби з броньованими цілями зі складу механізованих, мотопіхотних,

піхотних, підрозділів частин та з’єднань та військ рф у війні проти України.

Висновки

Таким чином, при веденні сучасних бойових дій, у тому числі і у війні рф проти України, роль повітряно-ударної компоненти ЗС буде тільки зростати, зокрема використання БпЛА різного призначення (в якості основних елементів системи розвідки, зв’язку, навігації та ураження) у боротьбі за панування дронів у повітряному просторі. Нарощування потрібної кількості цих засобів веде за собою необхідність пошуку максимально дешевих та ефективних, як технологічних рішень, так і рішень комбінованого бойового застосування підрозділів.

При цьому слід очікувати розвитку їх застосування у тому числі і інтегрованого та синхронізованого застосування (одночасно ПТРК та БпЛА, які здатні уражати противника удосконаленими боеприпасами) у складі різних за призначенням бойових груп для вирішення широкого кола завдань і особливо ураження танків, бойових машин піхоти, інших броньованих, легкоброньованих та маневрених цілей в умовах застосування противником великої кількості потужних засобів радіоелектронної боротьби.

Вищеперераховані заходи нададуть змогу суттєво підвищити ймовірність ідентифікації та ураження цілей противника.

Даний матеріал пропонується використовувати керівному складу ЗС України у період підготовки та пошуку шляхів вдосконалення ведення бойових дій з метою підвищення ефективності виконання заходів щодо забезпечення ефективної боротьби із броньованими цілями противника з метою надійного утримання зайнятих рубежів оборони або при проведенні штурмів районів, які зайняті противником.

Список використаних джерел

1. Олексенко О. О., Авраменко О. В., Федоров А. В., Сніцаренко В. В., Чернавіна О. Є. Застосування безпілотної літальної апаратури збройними силами Російської Федерації у війні проти України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2022. № 4(49). С. 37–42. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.05>.
2. Олещук М. М., Коршець О. А., Горбенко В. М. Погляди щодо напрямків розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України з урахуванням досвіду російсько-української війни. *Повітряна міць України*. 2022. Том 1., № 1(2). С. 6–13.
3. Коваль В. В., Олексенко О. О., Лупандін В. А., Нос І. А. Загальний підхід щодо визначення пріоритетності повітряних загроз відповідно до прогнозованих втрат для системи оповіщення, розпізнавання та попередження населення. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2023. № 1(50). С. 7–14. <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.01>.
4. Алімпієв А. М., Певцов Г. В. Особливості гібридної війни РФ проти України. Досвід, що отриманий Повітряними Силами Збройних Сил України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2017. № 2 (27). С. 19–25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.

5. Кучеренко Ю. Ф., Науменко М. В., Кузнецова М. Ю. Аналіз досвіду застосування безпілотної літальної апаратури та визначення напрямку їх подальшого розвитку при веденні мережецентричних операцій. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 1(53). С. 25–30. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.03>.
6. Павленко М. А. Особливості застосування досвіду ООС для підготовки фахівців військ зв'язку, автоматизованих та інформаційних систем : навч. посіб. / М.А.Павленко, О. М. Чекунова, С. А. Макаров та ін. –Х. : ХНУПС.2020. –275 с.3.Борисюк А. О., Павленко М. А., Тимочко О. І. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень в системах управління Повітряних Сил : навч. посіб. 2-ге вид., доп. і перероб. – Х.: ХУПС.2011. –176с.
7. Корсунов С. І., Левагін Г. А., Коротій В. О. Застосування засобів повітряного нападу провідних країн світу у збройних конфліктах і локальних війнах. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2016. № 3(140). С. 131–135.
8. Корсунов С. І., Лезік О. В., Галкін Ю. О., Оборонов М. І., Коваленко С. П., Оборонов Ю. М. Аналіз застосування угруповання Повітряно-космічних сил Російської Федерації у Сирійській Арабській Республіці. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2020. 4(66). С. 7–18. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01>.
9. Кучеренко Ю. Ф., Олексенко О. О., Власік С. М., Александров О. В., Місюк Г. В., Сальник О. В. Аналіз застосування повітряно-ударної компоненти збройних сил російської федерації у війні проти України. Збройна боротьба: теорія, забезпечення, досвід 2023. С. 14–21. <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.02>.
10. Д. О. Шаманов, А. Р. Сорокін Аналіз сучасних методів радіоелектронної боротьби. Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. № 1(50). С. 211–214. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.211>.
11. Борисюк А. О., Павленко М. А., Тимочко О. І. Теоретичні основи автоматизації процесів вироблення рішень в системах управління Повітряних Сил : навч. посіб. 2-ге вид., доп. і перероб. – Х.: ХУПС.2011. –176с.
12. Кушнір О.І. Аналіз впливу “гібридної” війни на розвиток автоматизованої системи управління авіацією та ППО Збройних Сил України / О.І. Кушнір, О.П. Давикоза, Ю.Ф. Кучеренко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Харків: ХНУПС, 2017. – № 2 (27). <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.22>.
13. Корсунов С. І., Волков А. Ф., Оборонов М. І., Орехов С. В., Гуртовенко В. В., Федченко С. І. Трансформація завдань безпілотної авіації: від створення до застосування у воєнних конфліктах сучасності. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 3(44). С. 66–81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>.
14. Ярош С. П., Гур'єв Д. О. Аналіз розвитку безпілотної літальної апаратури, способів їх бойового застосування та розробка пропозицій щодо організації ефективної боротьби з безпілотною авіацією. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2021. № 2(43). С. 54–60. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.07>.
15. Ярош С. П., Рогуля О. В. Аналіз тактики бойового застосування крилатих ракет при нанесенні ударів по важливих державних об'єктах та угрупованнях військ. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2019. № 3(61). С. 35–44. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.06>.

Chyrak Mykola

<https://orcid.org/0009-0004-9664-6048>

Major-general Ihor Momot Main Training Center of the State Border Service of Ukraine, Orshanets, Ukraine

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF SUBDIVISIONS OF STRIKE UAVS

In the article, an analysis of enemy fire impact by units of the strike drones of the Armed Forces of Ukraine from February 24, 2022, to February 24, 2024, was conducted to curb the enemy's advance and prevent penetration into the territory of Ukraine. It has been determined that the primary means of enemy engagement from the composition of mechanized, motorized infantry, infantry, platoons, and units of the Territorial Defense Forces are handheld and tripod-mounted anti-tank grenade launchers, anti-tank missile systems, and strike unmanned aerial complexes. Conclusions have been drawn that in the future, it is necessary to maximize the optimization, including economically viable rapid fire engagement of the enemy, with the maximum effectiveness of the combat application of fire weapons included in the tactical units at the frontline of defense of the Armed Forces of Ukraine, using the maximum amount of precision weapons, including optimization of the use of precision weapons produced by the USSR.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, combat operations, fire damage, fire means, complex, anti-tank missile complex, radio electronic warfare, radio electronic suppression.*

References

1. Olexsenko O. O., Avramenko O.V., Fedorov A. V., Snicarenko V. V., Chernavina O. Je. Zastosuvannja bezpilotnykh litalnykh aparativ zbrojnyjmy sylamy Rosijskoi Federaciji u vijni proty Ukrainy. Nauka i tekhnika Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. 2022. # 4(49). S. 37–42. <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.49.05>.
2. Oleshchuk M. M., Korshej O. A., Ghorbenko V. M. Poghlyady shhodo naprjamkiv rozvytku Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy z urakhuvannjam dosvidu rosijjsko-ukrajinskoji vijny. Povitrjana micj Ukrainy. 2022. Tom 1., # 1(2). S. 6–13.
3. Kovalj V. V., Olexsenko O. O., Lupandin V. A., Nos I. A. Zaghalnyj pidkhid shhodo vyznachennja

- priorytetnosti povitrynykh zagroz vidpovidno do proghnozovanykh vtrat dlja systemy opovishhennja, rozpiznavannja ta poperedzhennja naseleennja. Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. 2023. # 1(50). S. 7–14. <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.01>.
4. Alimpijev A. M., Pjevcev Gh. V. Osoblyvosti ghibrydnoji vijny RF proty Ukrainy. Dosvid, shho otrymanyj Povitrynymy Sylamy Zbrojnykh Syl Ukrainy. Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. 2017. # 2 (27). S. 19–25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
5. Kucherenko Ju. F., Naumenko M. V., Kuznjecova M. Ju. Analiz dosvidu zastosuvannja bezpilotnykh litalnykh aparativ ta vyznachennja naprjamku jikh podalshohogo rozvytku pry vedenni merezhcentrychnykh operacij. Systemy ozbrojennja i vijsjkova tekhnika. 2018. # 1(53). S. 25–30. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.53.03>.
6. Pavlenko M. A. Osoblyvosti zastosuvannja dosvidu OOS dlja pidghotovky fakhivciv vijsjk vz'jazku, avtomatyzovanykh ta informacijnykh system : navch. posib. /M.A.Pavlenko, O. M. Chekunova, S. A. Makarov ta in. –Kh. : KhNUPS.2020. –275 s.3.Borysjuk A. O., Pavlenko M. A., Tymochko O. I. Teoretychni osnovy avtomatyzaciji procesiv vyroblennja rishenj v systemakh upravlinnja Povitrynykh Syl : navch. posib. 2-ghe vyd., dop. i pererob. – Kh.: KhUPS.2011. –176s.
7. Korsunov S. I., Levaghin Gh. A., Korotij V. O. Zastosuvannja zasobiv povitryanogho napadu providnykh krajin svitu u zbrojnykh konfliktakh i lokalnykh vijnakh. Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho universytetu Povitrynykh Syl. 2016. # 3(140). S. 131–135.
8. Korsunov S. I., Lezik O. V., Ghalkin Ju. O., Oboronov M. I., Kovalenko S. P., Oboronov Ju. M. Analiz zastosuvannja ughrupovannja Povitryano-kosmichnykh syl Rosijskoi Federaciji u Syrijskij Arabskij Respublici. Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho nacionalnogho universytetu Povitrynykh Syl. 2020.4(66). S. 7–18. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.66.01>.
9. Kucherenko Ju. F., Oleksenko O. O., Vlasik S. M., Aleksandrov O. V., Misjuk Gh. V., Saljnyk O. V. Analiz zastosuvannja povitryano-udarnoji komponenty zbrojnykh syl rosijskoi federaciji u vijni proty Ukrainy. Zbrojna borotjba: teoriya, zabezpechennja, dosvid 2023. S. 14–21. <https://doi.org/10.30748/zhups.2023.75.02>.
10. D. O. Shamanov, A. R. Sorokin Analiz suchasnykh metodiv radioelektronnoji borotjby. Systemy upravlinnja, navighaciji ta vz'jazku. 2024. # 1(50). S. 211–214. <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.1.211>.
11. Borysjuk A. O., Pavlenko M. A., Tymochko O. I. Teoretychni osnovy avtomatyzaciji procesiv vyroblennja rishenj v systemakh upravlinnja Povitrynykh Syl : navch. posib. 2-ghe vyd., dop. i pererob. – Kh.: KhUPS.2011. –176s.
12. Kushnir O.I. Analiz vplyvu “ghibrydnoji” vijny na rozvytok avtomatyzovanoji systemy upravlinnja aviacijeju ta PPO Zbrojnykh Syl Ukrainy / O.I. Kushnir, O.P. Davykoza, Ju.F. Kucherenko // Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy: nauково-tekhnichnyj zhurnal. – Kharkiv: KhNUPS, 2017. – # 2 (27). <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.22>.
13. Korsunov S. I., Volkov A. F., Oboronov M. I., Orjehov S. V., Ghurtovenko V. V., Fedchenko S. I. Transformacija zavdanj bezpilotnoji aviaciji: vid stvorenja do zastosuvannja u vojennykh konfliktakh suchasnosti. Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. 2021. # 3(44). S. 66–81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.44.08>.
14. Jarosh S. P., Ghur'jev D. O. Analiz rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ, sposobiv jikh bojovogho zastosuvannja ta rozrobka propozycji shhodo orghanizaciji efektyvnoji borotjby z bezpilotnoju aviacijeju. Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy. 2021. # 2(43). S. 54–60. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.43.07>.
15. Jarosh S. P., Roghulja O. V. Analiz taktyky bojovogho zastosuvannja krylatykh raket pry nanesenni udariv po vazhlyvykh derzhavnykh ob'jektakh ta ughrupovannjakh vijsjk. Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho nacionalnogho universytetu Povitrynykh Syl. 2019. # 3(61). S. 35–44. <https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.06>.

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

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-105-111

УДК 355.424.4

Шкурат Богдан Жоржович (доктор філософії)

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

Резнік Дмитро Вікторович (кандидат військових наук, доцент)

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

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЕКСПРЕС-ОЦІНЮВАННЯ ВАРІАНТІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ ЗАСОБІВ ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ З ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

В умовах сучасних бойових дій зростає потреба чіткої координації різнорідних складових угруповання військ, зокрема засобів протиповітряної оборони та літальних апаратів, спільні дії яких можуть привести до конфліктних ситуацій та ризику знищення своїх літальних апаратів. Метою статті є розроблення порядку експрес-оцінювання особою, яка приймає рішення, варіантів організації взаємодії засобів протиповітряної оборони з літальними апаратами. Для цього в статті обґрунтовано порядок визначення імовірності знищення своїх літальних апаратів, а також порядок визначення одного з ключових показників – коефіцієнту врахування впливу варіанту організації взаємодії. Для обґрунтування цього показника застосовані елементи експертних методів, зокрема методу аналізу ієрархії, а також агрегації показників. Запропонований порядок експрес-оцінювання може бути застосовано при прийнятті рішення не тільки на взаємодію засобів протиповітряної оборони з літальними апаратами, але й між іншими складовими угруповання військ. Також можливе застосування вказаного порядку в спеціалізованому програмному забезпеченні та автоматизованих системах управління.

***Ключові слова:** протиповітряна оборона, взаємодія, ризик, безпека дій, дружній вогонь.*

Вступ

Повномасштабна війна російської федерації проти нашої держави ще раз підтвердила важливість узгоджених спільних дій різнорідних угруповань військ, зокрема наземних засобів ППО та літальних апаратів. При цьому дії останніх, зокрема безпілотних літальних апаратів (БПЛА), своєї авіації, часто можуть відбуватися в зонах ураження наземних вогневих засобів ППО, що потребує організації взаємодії між ними. Наслідком неякісно організованої взаємодії є випадки конфлікту інтересів, які можуть проявлятися у взаємних обмеженнях в діях, наприклад, в збільшенні робочого часу наземних засобів ППО по повітряних цілях через необхідність проводити визначення їх належності, зміна маршрутів польоту своїх літальних апаратів, закриття для дій певних ділянок простору. Але найгірший прояв конфлікту інтересів – це знищення своїх літальних апаратів (ЛА) – так званий “дружній вогонь”. В подальшому під засобами ППО матимуться на увазі наземні

вогнєві засоби. Тому при виконанні завдань ЛА в зонах ураження наземних засобів ППО для виключення таких випадків організація взаємодії між ними буде полягати в чіткій координації їх дій, яка може відбуватися за простором, за часом, або їх комбінуванням. Таким чином, можна сформулювати перелік типових варіантів організації взаємодії. Поряд з тим, зважаючи на небезпеку виникнення конфлікту інтересів перед особою, яка приймає рішення (ОПР) на взаємодію, виникне завдання оцінювання доцільності застосування цих варіантів в конкретних умовах обстановки.

Для оцінювання варіантів організації взаємодії описані відповідні математичні моделі [1-4]. Але окремі їх показники потребують додаткового обґрунтування, зокрема це відноситься до ризику “дружнього вогню”, основним показником якого доцільно визначити імовірність знищення своїх ЛА. Зважаючи на специфіку питання та відсутність, з різних причин, достатньої за обсягом та адекватної статистики, доцільно звернутися до

методів експертних оцінок [5-6].

До таких методів відносяться:

експертні опитування, яке передбачає залучення кваліфікованих фахівців з протиповітряної оборони для оцінки різних аспектів взаємодії між наземними та літальними апаратами. Експерти можуть визначати ключові фактори, що впливають на взаємодію, та надавати свої оцінки з урахуванням свого досвіду та знань. До таких фахівців можна віднести посадових осіб пунктів управління відповідного рівня. Недоліками такого методу є потреба у визначенні переліку факторів, які можуть не співпадати у різних експертів, або створення заздалегідь відповідної анкети для опитування. Крім того, для отримання точних результатів необхідно залучення достатньої кількості фахівців, яких може не бути в наявності на пункті управління, де знаходиться ОПР, а залучення експертів з інших пунктів управління вимагатиме часу і знизить ступінь прихованості інформації стосовно можливих варіантів виконання завдань;

аналіз сценаріїв – полягає у розгляді різних сценаріїв взаємодії між засобами ППО з літальними апаратами та оцінці їхньої ефективності. Шляхом аналізу різних ситуацій та умов, експерти можуть прийти до висновків щодо найбільш оптимальних стратегій взаємодії. При цьому для найкращих результатів потрібна присутність “команди розіграшу”, тобто цілої групи експертів, яка змоделює відповідні сценарії, що підвищує точність та адекватність результату, але вимагає наявності відповідної кількості фахівців та часу;

метод Delphi – базується на послідовному опитуванні групи експертів, які надають свої прогнози та коментарі. Після кожного раунду опитування результати аналізуються та надсилаються назад експертам для подальшого обговорення та коригування. Цей процес триває досягнення консенсусу серед експертів. З самого опису методу видно, що він потребує значного обсягу часу.

Загальним недоліком всіх методів експертних оцінок є потреба в наявності відповідної кількості експертів, які володіють відповідною компетентністю у порушених питаннях. Також необхідно мати певний перелік питань для розгляду, які можуть змінюватися в залежності від умов обстановки. Тому виникає потреба в оцінюванні ОПР варіантів взаємодії засобів ППО з літальними апаратами самостійно або невеликою кількістю посадових осіб.

Метою статті є розроблення порядку експрес-оцінювання особою, яка приймає рішення, варіантів організації взаємодії засобів протиповітряної оборони з літальними апаратами.

Матеріали та методи

Для визначення факторів, які впливають на взаємодію засобів ППО та літальних апаратів, застосовано методи системного аналізу та

узагальнення. Під час визначення імовірності знищення своїх ЛА застосовані методи теорії імовірностей та синтезу. Оцінювання безпеки варіантів організації взаємодії проведено із застосуванням елементів методу аналізу ієрархій, а також за допомогою методу агрегації показників.

Результати

Для розроблення методики експрес-оцінювання прийняті наступні гіпотези (припущення), які не тільки описують взаємодію засобів ППО з літальними апаратами, але й дозволяють ОПР звузати перелік питань, відповіді на які треба знайти:

до літальних апаратів відносяться всі роди авіації, зокрема винищувальна, штурмова, бомбардувальна, транспортна, розвідувальна, спеціальна, безпілотна;

як засоби ППО, так і літальні апарати підпорядковуються не тільки Повітряним Силам, але й іншим складовим Сил оборони, але всі ці засоби в зоні відповідальності підпорядковані єдиному командувачу (ОПР);

основним завданням взаємодії є забезпечення безпеки виконання завдань літальними апаратами без зниження ефективності протиповітряної оборони;

довжина ланцюгу постановки завдань (кількість ланок управління) засобам, які виконують завдання в одній зоні, однакова;

всі ланки управління, вогневі засоби та літальні апарати оснащені працездатними приладами зв'язку та автоматизації для прийому та передавання команд;

визначення державної належності літальних апаратів здійснюється із застосуванням відповідної апаратури для тих засобів, де вона встановлена, або при постановці завдань вогневим підрозділам така інформація надається старшою ланкою управління;

підготовка особового складу бойових обслуг знаходиться на рівні, який забезпечує виконання ними поставлених завдань.

Зважаючи на те, що до виконання завдань в зоні відповідальності фактично залучаються не тільки засоби ППО, але й літальні апарати різного призначення, основною метою ОПР при прийнятті рішення на взаємодію буде забезпечення безпеки своїх літальних апаратів. Таким чином, для оцінювання ризику “дружнього вогню” доцільно прийняти показник імовірності знищення своїх ЛА, який може проявитися переважно у вигляді обстрілу наземними засобами ППО. Для його розрахунку доцільно скористатися теорією імовірностей, зокрема що стосується імовірності настання декількох незалежних подій одночасно [7, 8], з урахуванням можливої кількості засобів ППО, які можуть вести обстріл ЛА, їх вогневих

можливостей та інформованості бойових обслуг про обстановку:

$$\eta = 1 - \prod_{i=1}^n \left(1 - K_{др i} P_i \frac{N_{св}}{N_{ла}} \right) \quad (1)$$

де η	–	імовірність знищення своїх ЛА;
n	–	кількість наземних вогневих засобів ППО), які беруть участь у виконанні завдань;
P_i	–	середня імовірність знищення цілі i -м засобом ППО;
$K_{др i}$	–	коефіцієнт, який враховує вплив обстановки на імовірність знищення своїх ЛА;
$N_{св}$	–	кількість своїх ЛА в зоні вогню засобу ППО;
$N_{ла}$	–	загальна кількість ЛА в зоні вогню засобу ППО.

З виразу (1) видно, що в будь-який момент часу можна визначити кількість залучених до ППО засобів, їх характеристики, а також загальну кількість літальних апаратів та своїх ЛА в їх зоні вогню. Найбільш складним завданням при цьому залишається визначення впливу обстановки на імовірність знищення своїх ЛА в поточний момент бойових дій.

В першу чергу вона визначається інформаційною обізнаністю осіб, які приймають кінцеве рішення на обстріл цілі. До цих осіб відносяться не тільки командувач, але й командири та оператори вогневих засобів. Наявність та працездатність апаратури розпізнавання при цьому є лише одним з факторів, які слід брати до уваги, оскільки ця апаратура присутня не на всіх вогневих та повітряних засобах (наприклад, вона відсутня на зенітних установках, в мобільних вогневих групах, на безпілотних літальних апаратах). Тому на інформаційну обізнаність про повітряну обстановку будуть в першу чергу впливати наявність зв'язку та відповідної апаратури зі спеціальним програмним забезпеченням на вогневому підрозділі, по яким будуть приходити цілевказівки та обмеження.

Крім цього, на імовірність знищення своїх ЛА буде впливати варіант організації взаємодії, обраний ОПР. Це обумовлено рядом факторів, які обумовлюють можливості щодо організації взаємодії окремих засобів ППО та літальних апаратів.

Тоді вплив обстановки на імовірність знищення своїх ЛА для i -го засобу ППО у цьому випадку буде визначатись таким чином:

$$K_{др i} = 1 - \left(K_{вар} \cdot \prod_{l=1}^{m-1} K_{зв l} \cdot \prod_{h=1}^m K_{інф h} K_{вдн h} K_{підг h} \right) \quad (2)$$

де m	–	кількість літальних апаратів, до яких необхідно довести завдання
--------	---	--

		з порядку взаємодії;
$K_{вар}$	–	коефіцієнт врахування впливу варіанту організації взаємодії;
$K_{зв l}$	–	коефіцієнт, який враховує умови зв'язку (передачі інформації) на l -й ланці зв'язку;
$K_{інф h}$	–	коефіцієнт, який враховує інформованість про обстановку посадових осіб h -ї ланки управління;
$K_{вдн h}$	–	коефіцієнт, який враховує спосіб визначення державної належності;
$K_{підг h}$	–	коефіцієнт, який враховує підготовку особового складу ланки управління (обслуги).

Зважаючи на оголошені раніше обмеження, що умови зв'язку, інформованості, порядку визначення державної належності, а також підготовки особового складу не змінюються, принаймні за час прийняття рішення ОПР на взаємодію та виконання відповідних завдань, суттєвим чином на імовірність дружнього вогню буде впливати обраний варіант організації взаємодії, що викликає необхідність обґрунтувати значення показника $K_{вар}$.

З виразу (1) видно, що імовірність ураження своїх ЛА буде тим нижче, чим нижче буде $K_{др i}$. Виходячи з виразу (2), виконання цієї умови можливе при $\max(K_{вар})$.

Таким чином, при наявних сформульованих варіантах організації взаємодії необхідно розставити між ними пріоритети таким чином, щоб найбільш безпечний варіант мав найвищий пріоритет, а при необхідності розрахунку імовірності знищення своїх ЛА міг легко бути трансформований у відповідний коефіцієнт $K_{вар} = (0,1)$.

Для розстановки пріоритетів між варіантами можливо скористатися теорією прийняття рішень [5, 6], зокрема наведеними вище методами експертних оцінок, проте в умовах швидких змін як наземної так і повітряної обстановки це майже неможливо по причині відсутності відповідної кількості експертів та часу.

Тому виникає необхідність в експрес-оцінюванні варіантів для розстановки пріоритетів між ними. Для вирішення цього завдання доцільно використати окремі складові експертних методів, зокрема: елементи методу аналізу ієрархій [9-11], а також методом агрегації показників [12-14] з подальшим сумуванням елементів за рядками та їх нормалізацією [15].

При використанні методу аналізу ієрархій для кожного варіанту організації взаємодії (альтернативи) обираються показники, які будуть характеризувати такий варіант. Для кожного показника визначається його оцінка за шкалою

ступеня значимості Т.Сааті. Але на відміну від запропонованих п'яти (дев'яти) ступенів для оцінювання впливу кожного показника на реалізацію певного варіанту організації взаємодії запропоновано використовувати тільки три, із відповідним визначенням кількості балів від 1 до 3, де

1 бал – дотримання вказаного показника (вимоги) в заданих умовах неможливо або воно призведе до несприятливих умов обстановки (підвищення ризику “дружнього вогню”);

2 бали – середнє значення;

3 бали – дотримання вказаного показника можливе і це покращить передбачуваність обстановки.

В цілому, вказаних ступенів оцінювання достатньо для експрес-оцінювання однією особою, але за можливості залучити додаткових експертів краще перейти до методу парних порівнянь варіантів дій (альтернатив) за визначеними показниками. В такому випадку краще встановити 5 або навіть 9 ступенів переваги однієї альтернативи (варіанту дій) над іншою, і в подальшому діяти за класичним методом аналізу ієрархій.

Але при експрес-оцінюванні після призначення кожному варіанту балів за визначеними показниками отримані за кожний варіант бали доцільно скласти, що в принципі надасть ОПР достатню інформацію про переваги чи недоліки певного варіанту та його придатність в цілому.

При необхідності визначити більш точно ступінь ризику доцільно скористатися наведеними вище виразами (1,2), що потребує отримання конкретного значення $K_{вар}$. Для цього суму отриманих балів за кожним варіантом (альтернативою) потрібно пронормувати [15], щоб отримати значення коефіцієнту впливу варіанту організації взаємодії від 0 до 1. В найпростішому випадку можна скористатися виразом:

$$K_{вар j} = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^J w_j}, \quad (3)$$

де J	–	кількість варіантів;
w_j	–	сума балів показників за j -й варіант.

Для наочності доцільно розібрати порядок експрес-оцінювання варіантів організації взаємодії наземних засобів ППО з літальними апаратами за простором та часом.

При взаємодії за часом, засобам ППО та літальним апаратам призначається певні часові межі. Після закінчення дій одних засобів починають діяти інші. Така зміна може відбуватися одноразово або по чергово.

При взаємодії за простором, дії засобів ППО будуть обмежуватись простором, в якому діють літальні апарати. Для прикладу можна взяти такі варіанти організації взаємодії за простором: за районами дій, за секторами, призначення коридору дій, призначення висоти дій.

При оцінюванні безпеки певного варіанту, визначними показниками можуть бути:

конкретизація завдань, яка означає чіткі межі зони або часу дій кожного вогневого засобу;

можливості засобів ППО виконати поставлені завдання, не виходячи за призначені просторові та часові межі, тобто вчасно виключитись або переспрямувати вогонь;

можливість засобів ППО виконати заходи взаємодії самостійно або у складі підрозділу.

При конкретизації завдань доцільно розглядати три градації:

можливо встановити чіткі межі виконання завдань для кожного засобу (як наземного так і повітряного (оптимальний варіант, 3 бали);

можливо встановити чіткі межі тільки для окремих засобів (менш оптимально, оскільки імовірно невірне тлумачення командирами окремих засобів меж дій, 2 бали);

межі виконання завдань інтуїтивні, допускають суб'єктивне трактування або взагалі неможливо встановити чіткі межі (1 бал).

Можливість засобів ППО або літальних апаратів виконати завдання, не виходячи за призначені межі визначає імовірність знаходження літальних апаратів в зоні вогню активних засобів ППО, яку умовно можна поділити на три ступеня:

висока (1 бал);

середня (2 бали);

низька (3 бали).

Можливість засобів ППО або літальних апаратів виконати завдання самостійно або у складі підрозділів визначатиметься в залежності від складності реалізації поставлених завдань щодо обмежень в просторі (часі) дій та матиме наступні градації:

можливо для кожного засобу (3 бали);

можливо для значної частини вогневих одиниць (2 бали);

неможливо або можливо лише для окремих вогневих одиниць (1 бал).

На підставі визначення градацій впливу кожного показника на реалізацію варіанту дій можна скласти наступну таблицю (табл. 1).

Як видно з таблиці, ОПР може шляхом нескладних дій оцінити кожний варіант організації взаємодії за сумою балів за показниками, яка буде визначати безпеку цього варіанту (чим більше балів, тим безпечніше).

Для наведеного прикладу варіанти за ступенем безпеки розподіляються наступним чином (від найбільш до найменш безпечного):

за часом з одноразовою зміною дій засобів ППО та літальних апаратів;

за часом з почерговою зміною дій засобів ППО та літальних апаратів;

за районами дій;

призначення літальним апаратам коридору дій (рівнозначний з попереднім);

за секторами;

призначення діапазону висот для дій засобів ППО та літальних апаратів.

Таблиця 1

Визначення значень коефіцієнту врахування впливу варіанту організації взаємодії на імовірність знищення своїх літальних апаратів

Варіант організації взаємодії	Показник	Конкретизація завдань	Можливість невиходу за призначені межі	Можливість виконання завдань окремими засобами	Сума балів	$K_{вар}$
за часом з одноразовою зміною дій	w_1	3	3	3	9	1
за часом з почерговою зміною дій засобів	w_2	3	2	3	8	0,89
за районами дій	w_3	2	2	3	7	0,78
за секторами	w_4	2	2	2	6	0,67
призначення коридору дій	w_5	2	2	3	7	0,78
призначення висоти дій	w_6	2	2	1	5	0,56

За потреби можливо отримати значення коефіцієнту $K_{вар}$, який може бути застосовано в подальших розрахунках для визначення більш імовірність знищення своїх літальних апаратів, на підставі якої можливо більш конкретно оцінити ризики обраного варіанту.

При виборі варіанту організації взаємодії слід враховувати, що не всі вони за поточних умов обстановки можуть бути застосовані, або замінені на інший. Тому вибір робиться з переліку доступних для застосування варіантів.

Обговорення

Використання запропонованого методу експрес-оцінювання із застосуванням агрегації показників доцільно застосовувати при прийнятті рішень у сфері ППО, зокрема при управлінні спільними діями засобів ППО та літальних апаратів. Процес управління різномірним угрупованням військ (сил) потребує не тільки якісного управління, але й чіткої координації та взаємодії складових цього угруповання для запобігання конфлікту інтересів між ними. Зокрема це відноситься до взаємодії засобів ППО з

літальними апаратами. Для управління різномірними засобами ОНР необхідно заздалегідь визначити варіанти організації їх взаємодії, а також передбачити можливі ризики. З цією метою доцільно скласти перелік показників, які впливають на збільшення чи зменшення ризику та оцінити кожний варіант за такими показниками. Сума оцінок за показники може бути підставою для прийняття рішення на застосування певного варіанту. А за потреби можливо отримати числові показники ризиків. На відміну від поширених експертних методів, запропонований порядок дозволяє особі, яка приймає рішення, визначити доцільний варіант дій самостійно або у складі невеликої групи.

Для застосування запропонованої методики в автоматизованих системах управління або спеціальному програмному забезпеченні доцільно визначити мету та основні завдання взаємодії, конкретний перелік варіантів організації взаємодії різномірних засобів, а виходячи з цього – обґрунтувати показники для кожного варіанту та ступінь їх впливу на виконання завдань.

Висновки

Отже, в статті на підставі аналізу досвіду управління різномірними угрупованнями військ та існуючого науково-методичного апарату запропоновано порядок експрес-оцінювання варіантів організації взаємодії засобів ППО з літальними апаратами. Для цього обґрунтовано порядок визначення імовірності знищення своїх літальних апаратів, а також порядок визначення одного з ключових показників – коефіцієнту врахування впливу варіанту організації взаємодії. Для обґрунтування цього показника застосовані елементи експертних методів, зокрема методу аналізу ієрархій, а також агрегації показників.

Запропонований порядок експрес-оцінювання може бути застосовано ОНР при прийнятті рішення не тільки на взаємодію засобів ППО з літальними апаратами, але й між іншими засобами. Також можливе застосування вказаного порядку в спеціалізованому програмному забезпеченні та автоматизованих системах управління.

Список використаних джерел

- Rieznik D., Levchenko M., Patalakha V., Kitik S., Shkurat B., Globa O. Using A Model Of Coordinated Interaction For Estimation Of Troops Joint Missions Effectiveness. ISIT 2021 : Short Paper Proceedings of the 2nd International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies, Odesa, Ukraine, September 13-19. Odesa, 2021. P. 233–237.
- Rieznik D., Levchenko M., Melnichenko V., Patalakha V., Kitik S., Shkurat B. Method of the Effort Coordination Chart Creation. International journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2020. Vol. 9, No.5. P. 7610–7617. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/100952020>.
- Шкурят Б. Ж., Резнік Д. В., Мельниченко В. С. Математична модель взаємодії наземних та повітряних вогневих засобів під час протидії загрозам з повітря.

- Повітряна міць України : наук.-практ. журнал. 2021. № 1 (1). С. 59–66.
4. Шкурат Б. Ж. Методика динамічного розподілу ресурсів при спільних діях наземних та повітряних засобів протиповітряної оборони. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2023. № 2 (47). С. 148–154.
5. Теорія прийняття рішень : підручник / М. П. Бутко, І. М. Бутко, В. П. Машенко та ін. ; за заг. ред. Бутка М. П. Київ : Центр учбової літератури, 2015. 360 с.
6. Методи та засоби прийняття рішень : навч. посіб. / М. В. Новожилова, О. І. Чуб ; Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 115 с.
7. Барановська Л. В. Теорія ігор. Курс лекцій : навч. посіб. Київ : КПІ, 2022. 245 с.
8. Ярош С. П., Єрмошин М. О., Дробаха Г. А.. Моделювання бойових дій зенітного ракетного підрозділу : підручник. Харків : ХУПС, 2014. 380 с.
9. Saaty, T.L. (2000) Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6). RWS Publications, Pittsburgh.
10. Xiaoyu Gan, Ignacio C. Fernandez, Jie Guo, Maxwell Wilson, Yuanyuan Zhao, Bingbing Zhou, Jianguo Wu. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators, Ecological Indicators, Vol. 81, 2017, PP. 491-502. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068>
11. William Ho, Xiaowei Xu, Prasanta K. Dey, Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review, European Journal of Operational Research, Volume 202, Issue 1, 2010, PP. 16-24, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>.
12. Özdemir E. D., Härdtlein M., Jenssen T., Zech D., Eltrop L. A confusion of tongues or the art of aggregating indicators – Reflections on four projective methodologies on sustainability measurement, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 5, 2011, PP. 2385-2396, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.021>.
13. Циганок В.В. Визначення ефективності методів агрегації експертних оцінок при використанні парних порівнянь. Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2009. №2, Т.11. С. 83-39.
14. Saaty T.L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. The Analytic Hierarchy. Network Process. Statistics and Operations Research. Vol. 102 (2), 2008. PP. 251-318.
15. Mariya A. Sodenkamp, Madjid Tavana, Debora Di Caprio. An aggregation method for solving group multi-criteria decision-making problems with single-valued neutrosophic sets. Applied Soft Computing, Vol. 71, 2018, PP. 715-727, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.07.020>.

Bohdan Shkurat (PhD)

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

Dmytro Rieznik (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

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

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

EXPRESS EVALUATION OF OPTIONS FOR ORGANIZING THE INTERACTION OF AIR DEFENSE MEANS WITH AIR VESSELS

Modern warfare shows a growing need for coordination of different types of troops, in particular air defense units and aircraft, joint actions of which can lead to conflict situations and the risk of destroying their aircraft. The purpose of the article is to develop a procedure for an express evaluation for decision-making about options for the organization of interaction of air defense units with aircraft. In the paper, the procedure for determining the probability of the destruction of friendly aircraft is justified, as well as the procedure for determining one its key indicators - the coefficient of consideration the interaction option. To substantiate this indicator, elements of expert methods are used, in particular, the method of hierarchy analysis, as well as the indicators aggregation. The proposed express evaluation procedure can be applied when making a decision not only for the interaction of air defense units with aircraft, but also between other components of troops formations. The procedure can be also applied in special software and automated control systems.

Keywords: air defence, interaction, risk, actions safety, friendly fire.

References

1. Rieznik D., Levchenko M., Patalakha V., Kitik S., Shkurat B., Globa O. Using A Model Of Coordinated Interaction For Estimation Of Troops Joint Missions Effectiveness. ISIT 2021 : Short Paper Proceedings of the 2nd International Conference on Intellectual Systems and Information Technologies, Odesa, Ukraine, September 13-19. Odesa, 2021. P. 233–237.
2. Rieznik D., Levchenko M., Melnichenko V., Patalakha V., Kitik S., Shkurat B. Method of the Effort Coordination Chart Creation. International journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2020. Vol. 9, No.5. P. 7610–7617. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/100952020>.
3. Shkurat B. Zh., Rieznik D. V., Melnychenko V. S. Matematychna model vzaiemodii nazemnykh ta povitrianykh vohnevnykh zasobiv pid chas protydiv zahrozam z povitria. Povitriana mits Ukrainy : nauk.-prakt. zhurnal. 2021. № 1 (1). С. 59–66.
4. Shkurat B. Zh. Metodyka dynamichnoho rozpodilu resursiv pry spilnykh diiakh nazemnykh ta povitrianykh zasobiv protypovitrianoi oborony. Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony. 2023. № 2 (47). С. 148–154.
5. Teoriia pryiniattia rishen : pidruchnyk / M. P. Butko, I. M. Butko, V. P. Mashchenko ta in. ; za zah. red.

- Butka M. P. Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury, 2015. 360 s.
6. Metody ta zasoby pryiniattia rishen : navch. posib. / M. V. Novozhylova, O. I. Chub ; Kharkiv. nats. un-t misk. hos-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2024. – 115 s.
7. Baranovska L. V. Teoriia ihor. Kurs leksii : navch. posib. Kyiv : KPI, 2022. 245 s.
8. Yarosh S. P., Yermoshyn M. O., Drobakha H. A.. Modeliuvannia boiovykh dii zenitnoho raketnoho pidrozdilu : pidruchnyk. Kharkiv : KhUPS, 2014. 380 s.
9. Saaty, T.L. (2000) Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process (Analytic Hierarchy Process Series, Vol. 6). RWS Publications, Pittsburgh.
10. Xiaoyu Gan, Ignacio C. Fernandez, Jie Guo, Maxwell Wilson, Yuanyuan Zhao, Bingbing Zhou, Jianguo Wu. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators, Ecological Indicators, Vol. 81, 2017, PP. 491-502. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.05.068>
11. William Ho, Xiaowei Xu, Prasanta K. Dey, Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review, European Journal of Operational Research, Volume 202, Issue 1, 2010, PP. 16-24, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.05.009>.
12. Özdemir E. D., Härdtlein M., Jenssen T., Zech D., Eltrop L. A confusion of tongues or the art of aggregating indicators – Reflections on four projective methodologies on sustainability measurement, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 5, 2011, PP. 2385-2396, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.021>.
13. Tsyhanok V.V. Vyznachennia efektyvnosti metodiv ahrehatsii ekspertnykh otsinok pry vykorystanni parnykh porivnian. Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh. 2009. №2, T.11. S. 83-39.
14. Saaty T.L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making. Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. The Analytic Hierarchy. Network Process. Statistics and Operations Research. Vol. 102 (2), 2008. PP. 251-318.
15. Mariya A. Sodenkamp, Madjid Tavana, Debora Di Caprio. An aggregation method for solving group multi-criteria decision-making problems with single-valued neutrosophic sets. Applied Soft Computing, Vol. 71, 2018, PP. 715-727, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.07.020>.

ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-112-116

УДК 35.358 (477)

Попов Сергій Едуардович (кандидат військових наук, доцент)

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

Юфа Євген Агашович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6362-5986>

Якобінчук Олександр Вікторович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-8186-6978>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

Аналіз досвіду бойового застосування радіотехнічних військ у російсько-українській війні показав доцільність та необхідність покращення технічної надійності радіоелектронної техніки, яка стоїть на озброєнні військ, за рахунок своєчасного та якісного проведення її технічного обслуговування. У статті, для підвищення інформативності оцінювання можливостей системи технічного обслуговування радіоелектронної техніки радіотехнічних військ щодо виконання покладених на неї завдань, проведено аналіз її функціонування з урахуванням особливостей бойового застосування експлуатації та ремонту радіоелектронної техніки радіотехнічних військ під час підготовки та ведення операцій (бойових дій). За результатами проведеного аналізу, визначено ряд факторів, які суттєво впливають на функціонування зазначеної системи, позитивні та негативні її сторони, а також проблемні питання які виникають під час виконання завдань технічного обслуговування радіоелектронної техніки з можливими шляхами їх вирішення. Матеріали статті можуть бути корисними для фахівців оперативної і тактичної ланок управління, які займаються питаннями удосконалення функціонування систем технічного обслуговування озброєння та військової техніки Повітряних Сил з метою підтримання її постійної готовності до використання за призначенням.

Ключові слова: радіотехнічні війська, радіоелектронна техніка, експлуатація, технічне обслуговування, використання за призначенням.

Вступ

Двадцять четвертого лютого 2022 року російська федерація (рф) розпочала повномасштабну збройну агресію проти нашої держави. Країна-агресорка застосувала увесь наявний в її арсеналі спектр озброєння крім ядерної. Як і прогнозувалося, в перші години вторгнення противник одночасно завдав зосереджені, групові та поодинокі ракетно-авіаційні удари по важливим державним і військовим об'єктам, об'єктам критичної інфраструктури держави. Для нанесення ударів було залучено, як авіацію (стратегічну, тактичну), так і різні типи ракет повітряного, морського та наземного базування.

Одними з перших об'єктів ураження противника стали підрозділи радіотехнічних військ (РТВ), які на сьогоднішній день залишаються основним джерелом інформації про повітряну обстановку у Збройних Силах (ЗС) України і складають основу системи розвідки та попередження про повітряного противника.

На РТВ під час бойового застосування покладається виконання наступних оперативно-

тактичних завдань [5]:

ведення радіолокаційної розвідки повітряного противника у визначених операційних зонах (районах), із зосередженням зусиль на основних напрямках його дій;

видача розвідувальної інформації на командні пункти (КП) повітряних командувань (ПвК) – для управління підпорядкованими силами і засобами протиповітряної оборони, бойової інформації на КП військових частин (підрозділів) зенітних ракетних військ, радіоелектронної боротьби (РЕБ), пункти управління авіацією (ПУА) – для забезпечення ведення ними бойових дій (бойового застосування).

У наукових публікаціях останніх років [1-4] вказується на недосконалість і недоліки чинної системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) озброєння та військової техніки (ОВТ) і обґрунтовується потреба виконання досліджень щодо вдосконалення її (розроблення нової) на основі визначеного діагностуванням фактичного технічного стану ОВТ (за станом).

Всі ці завдання, без винятку, можливо виконати лише за умови технічної справності

радіоелектронної техніки (РЕТ), яка є основним видом озброєння РТВ, для підтримання якої і призначена система технічного обслуговування (ТО).

Метою статті є аналіз проблемних питань функціонування існуючої системи ТО РЕТ радіотехнічних військ Повітряних Сил (ПС) ЗС України під час російсько-української війни та можливі шляхи їх вирішення.

Матеріали та методи

Система ТО РЕТ РТВ являє собою сукупність взаємопов'язаних засобів, виконавців, програм і документації ТО, призначених для підтримання та відновлення справного чи працездатного стану РЕТ РТВ [7].

Метою функціонування системи ТО є управління технічним станом зразків РЕТ РТВ протягом їх терміну експлуатації або ресурсу до списання, яке дозволяє забезпечити:

заданий рівень готовності зразків РЕТ до використання за призначенням та їх працездатність у процесі використання;

мінімальні витрати часу, праці та коштів на виконання технічного обслуговування і ремонту РЕТ РТВ.

Слід зазначити, що на ефективність функціонування системи ТО РЕТ РТВ буде впливати досить велика кількість факторів, які умовно можна поділити на внутрішні та зовнішні.

До внутрішніх факторів можна віднести експлуатаційні характеристики зразка РЕТ (витрата запасу ресурсу за строком експлуатації, загальне напрацювання, ударно-вібраційні навантаження, інтенсивність експлуатації інші характеристики).

До зовнішніх факторів можна віднести умови експлуатації (застосування) зразка РЕТ (кліматичні, фізико-географічні умови району призначення (застосування)).

Отже, метою статті є проведення аналізу функціонування існуючої системи ТО РЕТ РТВ в умовах впливу значених факторів з подальшим оцінюванням ефективності функціонування такої системи та обґрунтування рекомендацій, реалізація яких дозволить підвищити ефективності її функціонування у визначених умовах обстановки.

Дослідження проведено з використанням відомих наукових методів, зокрема аналізу і синтезу, які дозволили об'єктивно описати існуючі інформаційні зв'язки між складовими системи ТО РЕТ РТВ, основними з яких є органи управління силами і засобами ТО, програмне, матеріальне та документальне забезпечення ТО РЕТ, сили і засоби ТО, які безпосередньо залучаються до виконання завдань ТО, з метою підтримання та відновлення справного чи працездатного стану РЕТ РТВ.

Результати

Стан ОВТ ПС ЗС України, у тому числі РЕТ РТВ, безпосередньо впливає на стан їх бойової готовності. За минулі роки розроблено декілька державних програм щодо заміни застарілих систем ОВТ на нові, а також проведення їх модернізації

тощо. Однак, для реалізації цих державних програм потрібний значний обсяг коштів і час, тривалість якого безпосередньо залежить від строків та обсягу виділення коштів на реалізацію цих програм. На даний час у державі склалася кризова ситуація з виділенням коштів на вище зазначені потреби. За таких умов військовим частинам не залишається вибору і доводиться експлуатувати наявні, деякою мірою застарілі, зразки ОВТ та підтримувати їх у боездатному стані.

Для підтримання ОВТ у постійній готовності до використання за призначенням необхідно уміло організувати та здійснювати їх експлуатацію, керуючись науковими принципами. Фахівці з питань експлуатації ОВТ мають чітко уявляти, від яких факторів і умов залежить технічний стан і готовність ОВТ до виконання поставлених завдань, і мати досвід щодо контролю за змінами умов експлуатації ОВТ та їх технічного стану.

Оцінка стану ОВТ ПС ЗС України останніх років дає підставу говорити про те, що цей стан на теперішній час оцінюється як критичний та характеризується швидкими темпами скорочення строку технічної готовності ОВТ [9]. Цей висновок повною мірою характеризує і стан РЕТ РТВ, до складу якої входять засоби радіолокації (радіолокаційні станції, рухомі радіовисотоміри, наземні радіолокаційні запитувачі), комплекси засобів автоматизації оперативної і тактичної ланок управління (засоби автоматизації командних пунктів ПвК, військових частин, підрозділів РТВ), спеціальні засоби (системи обробки і передачі радіолокаційної інформації, радіопрозори укриття, інші спеціальні засоби) [10].

Недостатня надійність РЕТ призводить до зростання експлуатаційних витрат. Під надійністю зразків РЕТ розуміється їх властивість зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, ТО, зберігання і транспортування [6].

Сучасні зразки РЕТ РТВ – це складні технічні системи, які складаються з десятків мільйонів елементів, з'єднаних, паяних, функціональних зв'язків. Така кількість складових елементів, у цілому, супроводжується зниженням надійності та якості функціонування зразків РЕТ.

Під експлуатацією зразка РЕТ розуміється стадія життєвого циклу зразка РЕТ [13]: з моменту прийняття його військовою частиною від підприємства-виробника чи ремонтного підприємства до зняття з експлуатації.

Експлуатація зразка РЕТ включає наступні етапи [7]:

введення в експлуатацію зразка РЕТ;
приведення зразка РЕТ у готовність до використання за призначенням;
підтримання зразка РЕТ у готовності до використання за призначенням;
використання зразка РЕТ за призначенням;
зберігання зразка РЕТ;
транспортування зразка РЕТ.

Етап використання зразка РЕТ за призначенням – це етап експлуатації, протягом якого зразок РЕТ використовуються відповідно до свого функціонального призначення [8].

В процесі експлуатації зразки РЕТ поступово втрачають свої властивості. На кожному з етапів експлуатації тією або іншою мірою збільшується інтенсивність використання зразків РЕТ, іншими словами, відбувається їх фізичне (технічне) старіння. Крім того, в ході виробництва та експлуатації, властивості зразків РЕТ втрачаються практично незалежно від самих зразків РЕТ (моральне старіння).

Якщо вплинути на моральне старіння зразків РЕТ неможливо, то для підтримання їх фізичних (технічних) властивостей в процесі експлуатації, розгортається і функціонує система ТО РЕТ РТВ, яка є однією з складових системи технічної експлуатації та складовою частиною системи технічного забезпечення РТВ у цілому [11].

Отже, ТО РЕТ РТВ є складовою частиною системи технічної експлуатації РЕТ РТВ і містить комплекс робіт, які організовуються і проводяться для підтримання працездатного чи справного стану РЕТ у ході підготовки її до використання за призначенням, під час зберігання й транспортування.

За характеристикою етапів експлуатації РЕТ РТВ розрізняють наступні види ТО [12]:

- ТО в процесі використання за призначенням;
- ТО в процесі зберігання;
- ТО в процесі транспортування;
- ТО в особливих умовах (у ході бойових дій).

Для РЕТ РТВ у процесі її використання за призначенням передбачаються такі види ТО [9]:

- щоденне технічне обслуговування і контрольний огляд (ЩТО і КО);
- технічне обслуговування перше (ТО-1);
- технічне обслуговування друге (ТО-2);
- сезонне технічне обслуговування (СО);
- регламентоване технічне обслуговування (РО).

Вид ТО РЕТ РТВ й обсяги робіт у післягарантійний період експлуатації встановлюються для конкретних зразків техніки й енергетичних засобів посібниками з ТО (регламентних робіт).

Планування ТО РЕТ РТВ здійснюється з дотриманням загальних вимог щодо збереження оптимальних параметрів чергового радіолокаційного поля та вимог до видачі радіолокаційної інформації на КП військових частин (підрозділів) ЗРВ, РЕБ, ПУА.

Добре організоване та грамотно проведено ТО зменшує ймовірність відмов зразка РЕТ. Ступінь доцільності проведення того чи іншого виду ТО на зразках РЕТ можна оцінити за значенням коефіцієнта, який показує, у скільки разів підвищується напрацювання зразка РЕТ на відмову при проведенні на ньому ТО порівняно із напрацюванням на відмову, якщо це обслуговування не проводити:

$$W = \frac{T_{01}}{T_0} \quad (1)$$

де T_{01} – напрацювання зразка РЕТ на відмову за умов проведення ТО;

T_0 – напрацювання зразка РЕТ на відмову за умов, якщо ТО не проводилося.

Існуюча система ТО РЕТ РТВ за своїм змістом планово-періодична, якій властиві такі особливості:

- чітке визначення нормативно-технічної документації, періодичності та обсягу робіт, які підлягають виконанню;
- чіткі плани, які визначають послідовність виконання операцій ТО;
- централізація планування ТО.

Обговорення

Існуюча система ТО РЕТ РТВ має ряд суттєвих недоліків, основними з яких є те, що:

не враховується фактичний технічний стан зразків РЕТ при організації та проведенні ТО. Це пов'язано з недоцільним плануванням та проведенням заходів ТО на справних (працездатних) зразках РЕТ в умовах обмеженого часу на його проведення в особливий період, і як наслідок, зниження кількісного складу РЕТ РТВ, який залучається до ведення радіолокаційної розвідки та можливостей системи розвідки та попередження про повітряного противника у цілому;

не використовуються у повній мірі результати аналізу експлуатаційної надійності, накопичений досвід експлуатації зразків РЕТ, кваліфікація обслуговуючого персоналу;

технічному діагностуванню та прогнозуванню технічного стану зразків РЕТ відводиться незначне місце в процесі їх експлуатації;

нормативні документи не враховують особливості організації ТО зразків РЕТ, що залучаються до бойового чергування як у мирний час, так і в особливий період;

не враховується елементна база та конструктивні особливості побудови зразків РЕТ, що складаються з великої кількості елементів і з'єднань;

великі працевитрати на проведення ТО;

значний відсоток часу перебування зразків РЕТ у всіх видах ТО в загальному процесі їх експлуатації і, насамперед в процесі використання за призначенням.

Необхідно зазначити, що удосконалення ТО без докорінної зміни методів, форм і способів його організації та проведення, як правило, не призводить до істотних покращень показників системи ТО.

Важливо створити таку систему ТО РЕТ РТВ, яка забезпечувала б необхідну працездатність та якість її функціонування в будь-яких умовах обстановки.

Отже, аналіз функціонування існуючої системи ТО РЕТ РТВ свідчить про те, що вона має як позитивні, так і негативні сторони, які безпосередньо впливають на ефективність її функціонування.

До позитивних сторін функціонування системи можна віднести:

чітко виражену регламентованість ТО, у цілому, та окремих операцій ТО, зокрема, що дозволяє завчасно спланувати виконання всіх операцій ТО, розраховувати витрати на їх проведення та вжити

заходів щодо забезпечення ТО (хоча цілком зрозуміло, що кількість проведення ТО значно більшою мірою залежить від розміру виділених на це коштів та матеріальних ресурсів, ніж від величини інтервалу часу на підготовку до ТО, а забезпеченість військових частин коштами та матеріальними ресурсами є окремим проблемним питанням);

централізацію планування ТО, що дозволяє якісно планувати ТО (тому що до цього процесу постійно залучаються одні й ті ж посадові особи обмеженого кола, що сприяє підвищенню їх кваліфікації з часом та дозволяє не відволікати решту посадових осіб від виконання покладених на них функціональних обов'язків).

Що стосується негативних сторін функціонування системи ТО РЕТ РТВ, то слід зазначити, що:

на теперішній час ще залишається значна кількість РЕТ, яка виступила встановленими термінами експлуатації, стан окремих систем такої РЕТ оцінюється як близький до критичного та характеризується швидкими темпами скорочення строку їх технічної готовності;

недостатня надійність РЕТ РТВ призводить до зростання експлуатаційних витрат. Вартість експлуатації РЕТ РТВ у багатьох випадках значно перевищує вартість розробки і виготовлення РЕТ.

надмірні працевитрати, витрати матеріальних ресурсів та часу на проведення ТО не дають адекватного позитивного результату, що виражався б як у значному зростанні рівня надійності зразків РЕТ, так і в суттєвому продовженні життєвого циклу їх експлуатації. Тобто, практично отриманий результат проведення ТО хоча і є позитивним, однак значно менший від очікуваного.

Отже, зазначені проблемні питання в системі ТО можуть привести до збільшення кількості відмов РЕТ як під час використання за призначенням, так і безпосередньо перед їх виконанням, коли час на відновлення РЕТ перевищує час їх підготовки до використання за призначенням, за умови відсутності відповідного резервування РЕТ, і як наслідок – не виконання поставлених завдань підрозділами РТВ під час бойового застосування.

Висновки

У статті, для підвищення інформативності оцінювання можливостей системи ТО РЕТ РТВ щодо виконання покладених на неї завдань, проведено аналіз її функціонування з урахуванням особливостей бойового застосування РТВ під час підготовки та ведення операцій (бойових дій).

Враховуючи позитивні і негативні сторони функціонування існуючої системи ТО РЕТ РТВ, можна визначитися з найбільш перспективними шляхами підвищення ефективності її функціонування, основними з яких є:

здійснення переходу від системи ТО за стратегією за напрацюванням на адаптивну систему ТО за стратегією за технічним станом для економії часу та ресурсів (трудовитрат, елементної бази, запасних інструментів і приладдя);

запровадження алгоритму проведення ТО РЕТ РТВ при обмеженні часу на його проведення, основним спрямуванням якого є зростання значення коефіцієнта технічного використання, а фактично – підтримання рівня боєздатності підрозділів РТВ;

впровадження підсистеми інформаційного забезпечення системи ТО РЕТ РТВ для своєчасного впливу на неї, оперативного прийняття рішень щодо підтримання належного рівня боєздатності РЕТ РТВ.

У ході проведення подальших досліджень за обраним напрямком доцільно визначити вимоги до системи ТО РЕТ РТВ та провести оцінювання ефективності функціонування такої системи з обґрунтуванням рекомендацій, реалізація яких дозволить підвищити ефективності її функціонування у визначених умовах обстановки.

Список використаних джерел

1. Бабкін Ю. В., Оліфіренко В. С. Аналіз існуючих засобів технічного обслуговування та пропозиції щодо скорочення часу на технічне обслуговування бронетанкового озброєння та військової техніки у польових умовах. Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : зб. тез. доп. XXVII Міжнародної наук.-практ. конф., 15–17 трав. 2019 р. Харків : ХІП, 2019. С. 16. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/44984/1/MicroCAD_2019_Babkin_Analiz_isnuuychykh.pdf.
2. Gallasch Guy E., J. Lilith. Modelling Defence Logistics Networks. International Journal on Soft-ware Tools for Technology Transfer. 2008. No. 1(10). P. 75–9. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.85.9536>.
3. Наконечний О. В. Методика оцінювання ефективності функціонування системи логістичного забезпечення сил оборони держави. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 1(38). С. 54–60. <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.38.06>.
4. Креденцер Б.П. Модель періодичного технічного обслуговування об'єктів озброєння та військової техніки /Б.П.Креденцер, О.П.Волох // 36. наук. пр. ВІПІ НТУУ“КПІ”. – 2005. – No2. – С.53-56.
5. Тактика радіотехнічних військ : навчальний посібник / Г. В. Худов, Б. В. Бакуменко, В. І. Боровий та ін. ; за заг. ред. Г. В. Худова. – Х. : ХНУПС, 2018. – 240 с.
6. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Стандарт, 1997.
7. ДСТУ 2863-94. Програма забезпеченості надійності – К.: Видавництво стандартів, 1998.
8. ДСТУ В 3576-97. Експлуатація та ремонт військової техніки: терміни і визначення. – К.: Видавництво стандартів, 1998.
9. ДСТУ В3577-97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Види технічного обслуговування. Заміна комплектувальних виробів. Загальні положення. – К.: Видавництво стандартів, 1998.
10. Наказ Міністерства оборони України та Генерального штабу ЗС України від 01.03.2018 №88 “Про затвердження Інструкції з перевірки та оцінки стану ОВТ у ЗС України”.
11. Основи організації експлуатації і ремонту озброєння та військової техніки. навч. посіб. / К.: НУОУ, 2018. – 400 с. – Режим доступу: <https://elib.nuou.org.ua/katalog/ooer-ovt.html>.
12. Тимчасове керівництво з організації діяльності

ремонтно-відновлювальних органів радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України, затверджено наказом командувача Повітряних Сил Збройних Сил України від 12.10.2010. № 279. – К. : КПС ЗСУ, 2010. – 63 с.

13. Організація експлуатації та ремонту озброєння та військової техніки радіотехнічних військ. навч. посіб. / К.:

НУОУ, 2023. – 148 с. – Режим доступу: <https://elib.nuou.org.ua/katalog/organizacziya-eksploataczii-ta-remontu-ozbroennya-ta-vijskovoi-texniki-radiotexnichnix-vijsk.html>.

Serhii Popov (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

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

Yevhen Yufa (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6362-5986>

Oleksandr Yakobinchuk (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-8186-6978>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

PROBLEM ISSUES OF THE FUNCTIONING OF THE EXISTING SYSTEM OF MAINTENANCE OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT OF THE RADIO-TECHNICAL TROOPS

The analysis of the experience of the combat use of radio-technical troops in the Russian-Ukrainian war showed the expediency and necessity of improving the technical reliability of the radio-electronic equipment due to timely and high-quality maintenance of it. An analysis of system of the radio-electronic equipment of the radio-technical troops was conducted in the article into account the features of the combat application of operation and repair of the radio-electronic equipment of the radio-technical troops during the preparation and conduct of operations (combat operations). According to the results of the analysis, the type of factors that significantly affect the functioning of the specified system, its positive and negative sides, as well as problematic issues that arise during the performance of tasks of technical maintenance of radio-electronic equipment with possible ways of solving them have been determined. The materials of the article can be useful for specialists of operational and tactical management who deal with issues of improving the functioning of maintenance systems of weapons and military equipment of the Air Force in order to maintain its constant readiness for use as intended. In the future, in order to improve the efficiency of the maintenance system of the radio-electronic equipment of the radio-technical troops, it is advisable to justify the requirements for its operation with further evaluation of the efficiency of its operation and the justification of the relevant recommendations for increasing the efficiency of it functioning.

Keywords: radio-technical troops, radio electronic equipment, exploitation, maintenance, intended use.

References

1. Babkin YU. V., Olifrenko V. S. Analiz isnyuyuchykh zasobiv tekhnichnoho obsluhovuvannya ta propozyziyi shchodo skorochennya chasu na tekhnichne obsluhovuvannya bronetankovoho ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniky u pol'ovyykh umovakh. Informatsiyni tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiya, osvita, zdorov'ya : zb. tez. dop. KH XVII Mizhnarodnoyi nauk.-prakt. konf., 15–17 trav. 2019 r. Kharkiv : KHPI, 2019. S. 16. URL: http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/44984/1/MicroCAD_2019_Babkin_Analiz_isnyuyuchykh.pdf.
2. Gallasch Guy E., J. Lilith. Modelling Defence Logistics Networks. International Journal on Soft-ware Tools for Technology Transfer. 2008. No. 1(10). P. 75–9. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.85.9536>.
3. Nakonechnyy O. V. Metodyka otsynuvannya efektyvnosti funktsionuvannya systemy lohistrychnoho zabezpechennya syl oborony derzhavy. Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny. 2020. № 1(38). S. 54–60. <https://doi.org/10.30748/nitps.2020.38.06>.
4. Kredentser B.P. Model' periodychnoho tekhnichnoho obsluhovuvannya ob'yektiv ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniky / B.P. Kredentser, O.P. Volokh // Zb. nauk. pr. VITI NTUU "KPI". – 2005. – No 2. – S. 53–56.
5. Taktyka radiotekhnichnykh viys'k : navchal'nyy posibnyk / H. V. Khudov, B. V. Bakumenko, V. I. Borovytya in. ; za zah. red. H. V. Khudova. – KH. : KHNUPS.
6. DSTU 2860-94. Nadiynist' tekhniky. Terminy ta vyznachennya. – K.: Standart, 1997.
7. DSTU 2863-94. Prohrama zabezpechennosti nadiynosti – K.: Vydavnytstvo standartiv, 1998.
8. DSTU V 3576-97. Eksploatatsiya ta remont viys'kovoyi tekhniky: terminy i vyznachennya. – K.: Vydavnytstvo standartiv, 1998.
9. DSTU V3577-97. Eksploatatsiya ta remont viys'kovoyi tekhniky. Vidy tekhnichnoho obsluhovuvannya. Zamina komplektuval'nykh vyrobiv. Zahal'ni polozhennya. – K.: Vydavnytstvo standartiv, 1998.
10. Nakaz Ministerstva oborony Ukrayiny ta Heneral'noho shtabu ZS Ukrayiny vid 01.03.2018 №88 "Pro zatverdzhennya Instruktsiyi z perevirky ta otsinky stanu OVT u ZS Ukrayiny".
11. Osnovy orhanizatsiyi eksploatatsiyi i remontu ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniky. navch. posib. / K.: NUOU, 2018. – 400 s. – Rezhym dostupu: <https://elib.nuou.org.ua/katalog/ooer-ovt.html>.
12. Tymchasove kerivnytstvo z orhanizatsiyi diyal'nosti remontno-vidnovlyval'nykh orhaniv radiotekhnichnykh viys'k Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny, zatverdzheno nakazom komanduvacha Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny vid 12.10.2010. № 279. – K. : KPS ZSU, 2010. – 63 s.
13. Orhanizatsiya eksploatatsiyi ta remontu ozbroynnya ta viys'kovoyi tekhniky radiotekhnichnykh viys'k. navch. posib. / K.: NUOU, 2023. – 148 s. – Rezhym dostupu: <https://elib.nuou.org.ua/katalog/organizacziya-eksploataczii-ta-remontu-ozbroynnya-ta-vijskovoyi-texniki-radiotexnichnix-vijsk.html>.

БЕЗПЕКА ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РОДІВ ВІЙСЬК ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

[DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-117-123](https://doi.org/10.33099/2786-7714-2024-1-6-117-123)

[УДК 621.326](#)

Дяченко Віталій Олександрович

<https://orcid.org/0000-0002-0334-0751>

Коротін Сергій Михайлович (кандидат технічних наук, доцент)

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

Національний університет оборони України, Київ, Україна

МЕТОДИ ПРОТИДІЇ СУЧАСНИМ РАДІОЛОКАЦІЙНИМ ГОЛОВКАМ САМОНАВЕДЕННЯ КЕРОВАНИХ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ КЛАСУ “ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ” ПРОТИВНИКА

Застосування сучасних керованих авіаційних засобів ураження (КАЗУ) авіацією повітряно-космічних сил російської федерації створює низку проблем ефективного застосуванню авіації Повітряних Сил Збройних Сил (ЗС) України під час відбиття агресії російських загарбників. В даній статті проведено аналіз методів радіоелектронної протидії радіолокаційним головкам самонаведення (РГС) з моноімпульсними системами пеленгації КАЗУ противника класу “повітря-повітря”. Здійснено порівняння відомих методів протидії радіолокаційним головкам самонаведення з моноімпульсною системою пеленгації цілей. Встановлено, що РГС КАЗУ противника мають високу завадозахищеність, що ускладнює авіації ПС ЗС України ефективно їх знищувати. Визначено, що найбільшу ефективність сьогодні мають методи постановки радіозавад, що просторово рознесені, а також використання буксированих хибних цілей.

Ключові слова: буксирована хибна ціль, мерехтлива радіозавада, радіоелектронна протидія, керований авіаційний засіб ураження.

Вступ

Досвід війн та збройних конфліктів другої половини ХХ – початку ХХІ століття показує, що здатність авіації, як засобу повітряного нападу (ЗПН) завойовувати та утримувати панування у повітрі, має істотне значення, особливо на початковому етапі сучасних конфліктів. Однак, ефективність бойових завдань, які виконуються авіацією, пов’язана з надактивною протидією з боку систем протиповітряної оборони (ППО), які постійно розвиваються та вдосконалюються. Серед загроз повітряним суднам (ПС), які долають систему ППО противника, можуть бути зенітні ракетні (гарматні) комплекси, переносні зенітні ракетні комплекси, зенітні установки, протитанкові керовані ракети та керовані авіаційні засоби ураження класу “повітря-повітря” [1].

Досвід збройної боротьби під час відбиття агресії збройних сил російської федерації від початку 2022 року і дотепер, дозволив виявити слабкі місця при застосуванні авіації Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗСУ), до яких можна віднести: тривале перебування в експлуатації зразків авіаційних засобів ураження,

які фізично та морально застарілі; кількість, номенклатура та тактико-технічні характеристики (ТТХ) авіаційного озброєння авіації ПС ЗСУ поступається перед авіацією повітряно-космічних сил російської федерації (пкс рф).

Натомість авіація пкс рф має значну перевагу перед авіацією ПС ЗСУ в авіаційному озброєнні, як у кількісному та якісному відношенні, так і за номенклатурою озброєння. Однією з таких переваг на даний час є наявність у противника сучасних керованих авіаційних засобів ураження (КАЗУ), до яких відносять ракети класу “повітря-повітря” середньої та великої дальності типу Р-27, Р-77, Р-37, КС-172 тощо.

Дані типи КАЗУ оснащуються активними радіолокаційними головками самонаведення (АРГС), що впливає на ефективність роботи літака-випилювача зі знищення повітряних цілей та дозволяє авіації противника діяти більш ефективно і з безпечніших відстаней [2]. В той же час авіація ПС ЗСУ має КАЗУ класу “повітря-повітря” з напівактивною радіолокаційною головкою самонаведення (РГС).

Останнім часом проблематиці підвищення

ступеню захисту ПС від загроз, які несуть авіація та ППО противника, приділяється багато уваги у світі [3, 4, 5, 6]. Дослідження зазначених видань стосується протидії КАЗУ з моноімпульсним методом пеленгації радіолокаційних цілей.

У [3] проводиться оцінювання ефективності виконання завдань ПС, що оснащенні буксированими хибними цілями проти зенітних керованих ракет, оснащених моноімпульсними пеленгаторами. Запропонована модель оцінювання допомагає розрахувати ТТХ хибної цілі в реальному часі.

У [4] проводиться оцінювання ефективності застосування некогерентних мерехтливих радіозавод проти моноімпульсних радіолокаційних станцій на основі трьох траєкторій польоту ПС. Результати дослідження показують, що мерехтлива радіоелектронна протидія утримування з трьох ПС дозволяє збільшити ефективність постановки радіозавод та сприяє вдалому виконанню бойового завдання, що робить постановники радіозавод більш ефективними.

У [5] показано, як мерехтливі радіозаводи впливають на кутове розрізнення моноімпульсної РГС. Результати моделювання дозволяють зробити висновок, що кут розрізнення збільшується зі збільшенням потужності радіозавод.

У [6] досліджується вплив різних відстаней між ПС на моноімпульсну радіолокаційну станцію. Відповідно до результатів дослідження, доведено, що збільшення відстані між групою ПС, у кількості двох ПС, збільшується випадковість кутових похибок вимірювання.

У кожному з проаналізованих джерел підкреслюється важливість застосування радіозавод шляхом їх постановки з рознесених у просторі постановників радіозавод.

Зважаючи на темпи розвитку засобів радіоелектронної боротьби за останні п'ять років, існує нагальна потреба у систематизації методів постановки радіозавод РГС КАЗУ з моноімпульсними системами пеленгації радіолокаційних цілей, та визначення найбільш дієвих шляхів протидії даним РГС.

Отже, для вирішення питання захисту повітряного судна від КАЗУ класу “повітря-повітря” з РГС, необхідно провести аналіз сучасних методів протидії КАЗУ з моноімпульсними системами пеленгації радіолокаційних цілей.

Метою статті є проведення аналізу методів протидії РГС КАЗУ класу “повітря-повітря” противника. На підставі проведеного аналізу визначити ефективні методи протидії даним КАЗУ.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи теоретичних досліджень, а саме системного аналізу та узагальнення.

Результати

Перевага майбутнього повітряного бою залежить, у першу чергу, від дальності виявлення та застосування КАЗУ та інших факторів. Аналіз існуючого парку КАЗУ класу “повітря-повітря”

середньої та великої дальності пкс рф показує, що в даних засобах ураження застосовуються в російсько-українській війні напівактивні та активні РГС [7].

Авіація пкс рф активно застосовує КАЗУ класу “повітря-повітря” середньої та великої дальності, а саме:

середньої дальності: Р-27ЕА; Р-77-1 [8, 9];

великої дальності: Р-33; КС-172; Р-37 [10, 11, 12].

Дані типи КАЗУ оснащуються сучасними АРГС: АРГС 9Б-1103М; АРГСН 9Б-1103М-200ПС (200ПА); АРГС 9Б-1103М; АРГС 9Б-1103М-350 [13, 14, 15, 16].

У порівнянні з номенклатурою авіаційного озброєння авіації пкс рф, на озброєнні авіації ПС ЗС України знаходяться лише КАЗУ класу “повітря-повітря” типу Р-27 з напівактивною РГС 9Б-1101К та Р-73 малої дальності з інфрачервоною ГСН, що в свою чергу значно зменшує можливості авіації ПС ЗС України по ураженню ПС противника.

Моноімпульсна доплерівська АРГС 9Б 1103М забезпечує ураження повітряних цілей типу літак, вертоліт, крилаті та протирадіолокаційні ракети.

Радіолокаційна головка самонаведення працює у двох режимах: повністю автономний за попередньою цілевказівкою з носія, але без радіолокаційної підтримки у польоті; інерціального наведення з радіокорекцією та подальшим переходом на активне самонаведення.

АРГС вимірює кутові координати радіолокаційної цілі та кутові швидкості обертання лінії візування, а також швидкість зближення з радіолокаційною ціллю та забезпечує виконання наступних функцій:

прийм, захоплення та супровід радіолокаційної цілі;

приймання та декодування сигналів радіокорекції;

формування сигналів керування КАЗУ та передавання їх у систему керування за допомогою цифрової лінії зв'язку.

РГС складається з наступних компонентів: керований координатор з антеною, передавальний канал, приймальний канал, перепрограмована бортова обчислювальна система. Дальність захоплення радіолокаційної цілі з ефективною поверхнею розсіювання (ЕПР) 5 м² становить не менше 20 км. Дальність дії каналу радіокорекції – до 50 км. [13].

РГС 9Б 1103М 150 (“Колібрі”) забезпечує захоплення радіолокаційної цілі з ЕПР 5 м², що рухається зі швидкостями 0,1-5 М, на мінімальній висоті – 30 м на дальності не менше 13 км. Частотний діапазон роботи РГС Ku (10.7-12.75 ГГц, 1.67-2.5 см). АРГС практично повністю цифрова. Перехід на цифрове оброблення здійснюється на першій проміжній частоті. Це дозволяє забезпечити швидке та ефективне оброблення сигналів, що в результаті підвищує ефективність та точність роботи АРГС [14].

РГС 9Б 1103М 200ПА призначена для інформаційного забезпечення розв'язання задачі

ураження літаків, гелікоптерів, крилатих та протирадіолокаційних ракет. В даній РГС використовується комбінована антена, яка працює у двох режимах: в активному режимі вона використовує хвилеводно-щілинну антену у Ku діапазоні, а в напівактивному – решітку з 12-16 диполів, розташованих в передній частині антени, та призначена для забезпечення функціонування РГС у напівактивному режимі на нижчих частотах. РГС забезпечує дальність захоплення радіолокаційної цілі з ЕПР 3 м²: в інерційно-напівактивному режимі – 80-100 км, в активному режимі – 20 км. Частотний діапазон роботи в

активному режимі – Ku [15].

Активно-пасивна РГС 9Б 1103М 200ПС забезпечує ураження літаків, гелікоптерів, крилатих та протирадіолокаційних ракет. Пасивний режим дає змогу наводити КАЗУ на джерело радіозавод та радіовипромінювальну бортову радіолокаційну станцію радіолокаційної цілі. Дальність захоплення радіолокаційної цілі з ЕПР 3 м² в інерційно-пасивному режимі – 200 км, в активному режимі – 15 км. Частотний діапазон роботи в активному режимі – Ku [16]. Основні ТТХ АРГС наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики радіолокаційних головок самонаведення керованих авіаційних засобів ураження класу “повітря-повітря” пкс рф

ТТХ	Тип радіолокаційної головки самонаведення			
	АРГСН 9Б-1103М – 200ПА	АРГСН 9Б-1103М–200ПС	АРГС 9Б-1103М-350	АРГС 9Б-1103М
Дальність захоплення цілі з ЕПР=3м ² , км:	-	200	(при ЕПР=5м ²) >40	(при ЕПР=5м ²) не менше 20
інерційно-напівактивний	80-100	-		
активний	20	15		
Діапазон швидкостей цілі	0,1-5М	0,1-5М	0,1-5М	-
Параметри цілі: мінімальна висота польоту, м швидкість, м/с ефективна відбиваюча поверхня, м ²	30	30	-	-
	50-1200	50-1200	-	-
	від 0,05	від 0,05	-	-
Час готовності, с: без попереднього включення після попереднього включення	5-8	5-8	5-8	-
	1	1	1	не більше 1,5
Діапазон роботи активного каналу	Ku	-	X, Ku	-
Діапазон роботи напівактивного каналу	Ku	-		-
Діапазон роботи пасивного каналу	-	Kp		-
Габарити, мм: довжина (без обтікача) діаметр	380	380	310	600
	200	200	350	200
Тип авіаційного засобу ураження	P-77-1	P-77-1	КС-172	P-27ЭА
Маса, кг	25	25	13	14,5

Можливість радіоелектронної системи штатно функціонувати в умовах здійснення радіопротидії визначається її заводозахистом.

Використання в даних типах РГС моноімпульсних систем пеленгації для визначення кутових координат радіолокаційної цілі робить ці система досить захищеними від впливу радіозавод. Даний метод пеленгації широко використовується в сучасних РГС.

Принцип реалізації методу моноімпульсної пеленгації полягає у тому, що визначення кутових

координат радіолокаційної цілі заснований на одночасному прийомі відбитих від цілі сигналів незалежними прийомними каналами по кожній координатній площині пеленгації. Даний метод відрізняється від одноканального більшою заводозахищеністю. Висока заводозахищеність та точність наведення на ціль КАЗУ з моноімпульсною РГС дозволяють наводитись на постановники радіозавод, що робить їх ціллю або маяком для КАЗУ [17, 18, 19, 20].

Також основними напрямками підвищення

завадозахисту РГС існуючих та перспективних КАЗУ вважаються наступні [21, 22]:

- комбінування головок самонаведення;
- застосування фільтрів радіозавад;
- псевдовипадкова перебудова робочої частоти;
- зменшення ширини головного променя діаграми спрямованості антени;
- зменшення рівня бічних пелюсток діаграми спрямованості антени;
- компенсація радіозавад по бічним пелюсткам діаграми спрямованості антени;
- перехід на більш високі частоти роботи активних РГС;
- застосування дискримінаторів частоти повторення імпульсів;
- застосування дискримінаторів тривалості імпульсів.

Ефективна протидія КАЗУ з РГС моноімпульсного типу дозволить збільшити можливості ПС ЗС України при виконанні бойового завдання та зберегти життя особового складу.

Для ефективної протидії РГС з моноімпульсними пеленгаторами, що дозволяє збільшити промах ракети, застосовуються наступні методи: багатоточкові радіозавади та радіозавади, що формуються різними активними відстрілюваними та буксируваними хибними цілями. В радіолокаційних кутомірних координаторах КАЗУ класу “повітря-повітря” з квазінеперервним та неперервним сигналом підсвіту цілі найбільше використовується автоматичне супроводження цілі по швидкості (АСШ) та напрямку (АСН). Порушення

нормального функціонування каналів АСШ, АСН та кутомірних каналів може призвести до зриву автосупроводження або викликати похибки супроводження цілі. Найбільше значення має протидія кутомірного каналу РГС ракети [17].

Для здійснення радіоелектронної протидії моноімпульсних систем вважається за доцільне використовувати наступні радіозавади:

- радіозавади з однієї точки (двочастотна; радіозавада по дзеркальному каналу; розузгоджена по частоті; переривчаста радіозавада);
- радіозавади з винесеної точки (радіозавада прикриття із зон баражування; перенацілююча радіозавада);
- радіозавади з багатьох точок (когерентна радіозавада; неперервна радіозавада, мерехтлива радіозавада; комбінована радіозавада).

Застосування радіозавад, просторово рознесених за допомогою двох і більше постановників радіозавад або за допомогою застосування буксируваних хибних цілей, вважається перспективним напрямом при протидії моноімпульсним системам пеленгації радіолокаційних цілей, оскільки джерело випромінювання знаходиться поза ПС (у варіанті застосування хибних цілей) [23, 24, 25, 26].

У випадку застосування мерехтливих радіозавад енергетичний центр буде знаходитись між двома постановниками радіозавад, що в свою чергу дозволить збільшити промах КАЗУ.

Переваги, недоліки радіозавад та методи завадозахисту від них наведені в табл. 2. [17].

Таблиця 2

Переваги, недоліки радіозавад та методи завадозахисту

Тип радіозавади	Переваги	Недоліки	Методи завадозахисту
Когерентна двоточкова радіозавада	Завада однаково здійснює вплив, як на одноканальні так і на багатоканальні системи АСН	Необхідність: 1) розносу передавальних антен на велику відстань 2) складність забезпечення розв'язки прийомних та передавальних антен при ретрансляції радіозавади	Метод несиметричного кутового стробування
Некогерентна двоточкова радіозавада	Простота технічної реалізації	Малий кут розрізнення	Несиметричного кутового стробування
Мерехтлива радіозавада	Великий кут розрізнення, універсальність та простота реалізації	Складність реалізації синхронного режиму	Збільшення роздільної здатності; звуження діаграми направленості; зменшення бічних пелюсток діаграми направленості антени
Поляризаційна радіозавада	-	-	Поляризаційна селекція сигналів

Обговорення

Також, до одного з найбільш ефективних методів протидії РГС КАЗУ противника є застосування автономних хибних повітряних цілей із засобами створення активних радіозавод та буксирувані хибні цілі. До таких засобів можна віднести [27]:

автономні хибні повітряні цілі (ADM-160B MALD, ITALD (ADM-14/C), ADM-160C MALD-J (Jammer)) [28];

буксирувані повітряні цілі (“Ариэль”, AN/ALE-55) [29].

Основними завданнями хибних цілей типу MALD в інтересах протидії ППО противника є:

фізичне знищення цілі (використовується в якості протирадіолокаційної ракети);

хибна атака (використання деякої кількості хибних цілей для імітації атаки, відволікання систем та засобів ППО від реальних повітряних суден).

Автономна хибна ціль ADM-160C MALD-J оснащена станцією активних імітуючих радіоелектронних радіозавод DECM. Дана автономна хибна ціль генерує когерентні відбиті сигнали, які імітують амплітуду, фазу, частоту відбитого радіолокаційного сигналу [30].

Буксирувані за допомогою волоконно-оптичного кабелю радіолокаційні хибні цілі “Ариэль” є основним засобом захисту європейського винищувача EF2000 від моноімпульсних РЛС супроводження.

Схожість застосування методів постановки радіозавод з двох точок між методами постановки радіозавод за допомогою буксируваних хибних цілей чи автономних хибних повітряних цілей є те, що джерело випромінювання знаходиться на віддаленні від повітряного судна.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробленні математичної моделі здійснення процесу РЕП РГС з моноімпульсним пеленгатором шляхом постановки активних радіозавод з двох точок; розробленні математичної моделі здійснення процесу РЕП РГС з моноімпульсним пеленгатором шляхом створення радіозавод буксируемими хибнимі цілями, для визначення найбільш ефективного методу збільшення промаху КАЗУ противника.

Висновки

У даному дослідженні проведено аналіз існуючих методів протидії радіолокаційним головкам самонаведення керованих авіаційних засобів ураження класу “повітря-повітря” противника. Проведено порівняння відомих методів протидії радіолокаційним головкам самонаведення з моноімпульсною системою пеленгації цілей.

Як видно з проведеного аналізу для протидії даним типам радіолокаційних головок самонаведення ефективними засобами захисту вважається застосування радіозавод, що просторово рознесені та використання хибних цілей.

У подальших дослідженнях пропонується розробити математичну модель процесу РЕП РГС з моноімпульсним пеленгатором.

Список використаних джерел

1. С.М. Коротін, Ю.М. Коломієць, “Аналіз можливостей існуючих систем оповіщення про ракетну атаку, які встановлені на літальних апаратах”, *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, вип. 1 (34), с. 127-132, 2019.
2. Найкращі українські льотчики гинуть за штурвалами радянських МіГів і СУшок, чекаючи на F-16. *АрміяInform*. 2024. [Онлайн]. Доступно: <http://surl.li/nmguc>. Дата звернення: 03.03.2024.
3. Gao Bin, Mao Shi-yi, “Effects of towed-decoy against anti aircraft missile with monopulse seeker”, *Systems Engineering and Electronics*, vol. 32, no.11, 2010.
4. Zhaozheng Liu, Xing Wang, “The influence of three-aircraft formation blinking jamming on the performance of ground monopulse radar”, 2023.
5. Xiaoming Geng, Hongyue Yang, “The Influence of Synchronous Blinking Jamming on Monopulse Radar Seeker Angular Resolution”, *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2015)*, 2015.
6. Mingjie Liu, Chunyang Wang, “Effect of dual aircraft formations pacing on target position tracking on measurement conversion by monopulse radar”, 2021.
7. С.П. Корнійчук, О.В. Туринський, Г.В. Певцов, *Сучасне озброєння і військова техніка ЗС рф. Довідник учасника ООС*. Харків, Україна: ДІСА ПЛЮС, 2020.
8. Авиационная ракета Р-27 (К-27). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/p27>. Дата звернення: 03.03.2024.
9. Авиационная ракета средней дальности Р-77-1 (РВВ-СД изделие 170-1). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/rvv-cd>. Дата звернення: 03.03.2024.
10. Авиационная ракета большой дальности Р-33 (К-33). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/r33>. Дата звернення: 03.03.2024.
11. Авиационная ракета большой дальности КС-172 (ААМ-Л). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/kc-172>. Дата звернення: 03.03.2024.
12. Авиационная ракета большой дальности Р-37 (РВВ-БД). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/r37>. Дата звернення: 03.03.2024.
13. Тактико-технические характеристики АРГСН 9Б-1103М. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/p27/9b1103m>. Дата звернення: 03.03.2024.
14. Головка самонаведения 9Б-1103М-200ПС. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/rvv-cd/9b-1103m-200ps>. Дата звернення: 03.03.2024.
15. Головка самонаведения 9Б-1103М-200ПА. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/rvv-cd/9b-1103m-200pa>. Дата звернення: 03.03.2024.
16. Головка самонаведения 9Б-1103М-350. 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://missilery.info/missile/r37/9b-1103m-350>. Дата звернення: 03.03.2024.
17. А.В. Леньшин, *Бортовые системы и комплексы РЭП*. Воронеж, рф: Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2014.
18. А.И. Леонов, К.И. Фомичев, *Моноимпульсная радиолокация*. Москва, рф: Сов. Радио, 1970.
19. M. Moran, *Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook*. Naval Air Warfare Center Weapons

Division, Point Mugu, California, 2013.

20. Adamy David, *EW 102: a second course in electronic warfare*. London, Great Britain: Artech House radar library, 2004.

21. В.С. Верба, *Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития*. Москва, рф: Радиотехника, 2008.

22. С.В. Хохлов, *История отечественной радиолокации. Изд. 2-е исправ., доп.* Москва, рф: ООО "Издательский дом", 2015.

23. М.И. Ботов, *Основы теории радиолокационных систем и комплексов*: Красноярск, рф: Сиб. федер. ун-т, 2013.

24. Д.В. Семенихина, Ю.В. Юханов, Т.Ю. Привалова, *Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: учебное пособие*. Таганрог, рф: Изд-во ТГИ ЮФУ, 2009.

25. Ю.М. Перунов, А.И. Куприянов, *Методы и средства радиоэлектронной борьбы: монография*. Москва, рф: Вологда: Инфра-Инженерия, 2021.

26. А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко, *Довідник з протиповітряної оборони*. Київ, Україна: МО України, 2003.

27. И.Е. Афонин, С.И. Макаренко, Р.Л. Михайлов, *Быстрый глобальный удар: ретроспективный анализ концепции, вероятный сценарий нанесения. Монография*. Санкт-Петербург, рф: Научное издание, 2022.

28. Northrop Grumman (Teledyne Ryan) ADM-160A MALD Raytheon ADM-160B/C MALD. 2024. [Онлайн]. Доступно: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-160.html>. Дата звернення: 03.03.2024.

29. AN/ALE-55 Fiber-Optic Towed Decoy (FOTD). 2024. [Онлайн]. Доступно: <https://www.baesystems.com/en/product/anale55-fiber-optic-towed-decoy>. Дата звернення: 03.03.2024

30. Fang Zhao, Xiao Zhang, "Technology Research of Micro Air-launched Decoy", *Third International Seminar on Artificial Intelligence, Networking, and Information Technology*, vol.12587, 2022.

Vitaly Dyachenko

<https://orcid.org/0000-0002-0334-0751>

Serhii Korotin (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

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

The National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

METHODS OF COUNTERACTING MODERN RADAR HOMING PODS OF GUIDED AIR-TO-AIR WEAPONS OF THE ENEMY

The use of modern guided aerial weapons (GAW) by the Russian Aerospace Forces creates a number of problems for the effective use of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine (AFU) in repelling the aggression of Russian invaders. This article analyzes the methods of electronic countermeasures against radar homing heads (RHH) with monopulse direction finding systems of the enemy air-to-air class. A comparison of known methods of counteracting radar homing heads with a monopulse target guidance system is made. It is established that the enemy's ASW radar has high jamming resistance, which makes it difficult for the Armed Forces of Ukraine to effectively destroy them. It has been determined that the most effective methods today are spatially distributed radio jamming and the use of towed decoys.

Keywords: towed decoy, blink jamming, electronic countermeasures, guided aircraft weapon.

References

1. S.M. Korotin, Y.M. Kolomiets, "Analysis of the capabilities of existing missile attack warning systems installed on aircraft", *Modern Information Technologies in the Field of Security and Defense*, vol. 1 (34), pp. 127-132, 2019.

2. The best Ukrainian pilots die at the controls of Soviet MiGs and Sushki, waiting for F-16s. ArmyInform. 2024. [Online]. Available: <http://surl.li/nnruc>. Accessed on: 03.03.2024.

3. Gao Bin, Mao Shi-yi, "Effects of towed-decoy against anti aircraft missile with monopulse seeker", *Systems Engineering and Electronics*, vol. 32, no.11, 2010.

4. Zhaozheng Liu, Xing Wang, "The influence of three-aircraft formation blinking jamming on the performance of ground monopulse radar", 2023.

5. Xiaoming Geng, Hongyue Yang, "The Influence of Synchronous Blinking Jamming on Monopulse Radar Seeker Angular Resolution", *International Conference on Logistics Engineering, Management and Computer Science (LEMCS 2015)*, 2015.

6. Mingjie Liu, Chunyang Wang, "Effect of dual aircraft formations pacing on target position tracking on measurement conversion by monopulse radar", 2021.

7. C.P. Korniychuk, O.V. Turinsky, G.V. Pevtsov,

Modern weapons and military equipment of the RF Armed Forces. The JFO participant's guide. Kharkiv, Ukraine: DISA PLUS, 2020.

8. Aircraft missile R-27 (K-27). 2024. [Online]. Available: <https://missilery.info/missile/p27>. Accessed on: 03.03.2024.

9. R-77-1 medium-range aviation missile (RVV-SD item 170-1). 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/rvv-cd>. Accessed on: 03.03.2024.

10. Long-range aviation missile R-33 (K-33). 2024. [Online]. Available: <https://missilery.info/missile/r33>. Accessed on: 03.03.2024.

11. KC-172 (AAM-L) long-range aircraft missile. 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/kc-172>. Accessed on: 03.03.2024.

12. R-37 (RVV-BD) long-range aviation missile. 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/r37>. Accessed on: 03.03.2024

13. Tactical and technical characteristics of ARGSN 9B-1103M. 2024. [Online]. Available: <https://missilery.info/missile/p27/9b1103m>. Accessed on: 03.03.2024.

14. Homing head 9B-1103M-200PS. 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/rvv-cd/9b-1103m-200ps>. Accessed on: 03.03.2024.

15. Homing head 9B-1103M-200PA. 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/rvv-cd/9b-1103m-200pa>. Accessed on: 03.03.2024.
16. Homing head 9B-1103M-350. 2024. [Online]. Accessed: <https://missilery.info/missile/r37/9b-1103m-350>. Accessed on: 03.03.2024.
17. A.V. Lenshin, *Onboard systems and complexes of REP*. Voronezh, rf: Publishing and Printing Center "Scientific Book", 2014.
18. A.I. Leonov, K.I. Fomichev, *Monopulse radar*. Moscow, rf: Sov. Radio, 1970.
19. M. Moran, *Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook*. Naval Air Warfare Center Weapons Division, Point Mugu, California, 2013.
20. Adamy David, *EW 102: a second course in electronic warfare*. London, Great Britain: Artech House radar library, 2004.
21. V.S. Verba, *Aircraft Radar Sensing and Guidance Complexes. State and tendencies of development*. Moscow, rf: Radiotekhnika, 2008.
22. S.V. Khokhlov, *History of domestic radiolocation. Izd. 2-nd corrected, supplement*. Moscow, rf: LLC "Publishing House", 2015.
23. M.I. Botov, *Fundamentals of the theory of radar systems and complexes*. Krasnoyarsk, rf: Sib. fed. un. university, 2013.
24. D.V. Semenikhina, Y.V. Yukhanov, T.Yu. Privalova, *Theoretical bases of radio electronic warfare: textbook*. Taganrog, rf: Izd-vo TGI YFU, 2009.
25. Y.M. Perunov, A.I. Kupriyanov, *Methods and means of radio-electronic warfare: monograph*. Moscow, rf: Vologda: Infra-Engineering, 2021.
26. A.Y. Toropchin, I.O. Romanenko, Y.G. Danik, R.E. Pashchenko, *Handbook of air defense*. Kyiv, Ukraine: Ministry of Defense of Ukraine, 2003.
27. I.E. Afonin, S.I. Makarenko, R.L. Mikhailov, *Rapid Global Strike: Retrospective Analysis of the Concept, Probable Scenario, Composition of Forces and Means, Consequences and Priority Countermeasures. Monograph*. St. Petersburg, Russian Federation: Science-intensive Technologies, 2022.
28. Northrop Grumman (Teledyne Ryan) ADM-160A MALD Raytheon ADM-160B/C MALD. 2024. [Online]. Accessed: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-160.html>. Accessed on: 03.03.2024
29. AN/ALE-55 Fiber-Optic Towed Decoy (FOTD). 2024. [Online]. Accessed: <https://www.baesystems.com/en/product/anale55-fiber-optic-towed-decoy>. Accessed on: 03.03.2024.
30. Fang Zhao, Xiao Zhang, "Technology Research of Micro Air-launched Decoy", *Third International Seminar on Artificial Intelligence, Networking, and Information Technology*, vol.12587, 2022.

ПИТАННЯ ЗАПОБІГАННЯ НАДЗВИЧАЙНИМ СИТУАЦІЯМ ТЕРОРИСТИЧНОГО ТА ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРУ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ З ДІЯЛЬНІСТЮ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН (ПІДРОЗДІЛІВ) ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-124-130

УДК 623.454.36:550.8.053

¹Бас Олег Володимирович (кандидат технічних наук)

<https://orcid.org/0000-0002-2401-9457>

¹Землянський Олег Миколайович (доктор технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

¹Мирошник Олег Миколайович (доктор технічних наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0001-8951-9498>

²Авраменко Олександр Васильович (доктор технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Черкаси, Україна

²Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКУВАННЯ НАЗЕМНИХ МІН БЕЗПІЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

Метою статті є представлення експериментального методу, який дозволяє виявляти та розпізнавати міни, що знаходяться на землі, за допомогою безпілотних літальних апаратів (БпЛА), які мають на борту спеціалізовані металошукачі. Пропонується використати вказаний спосіб, для підвищення ефективності сканування місцевості на наявність металевих об'єктів, які можуть бути наземними мінами, а також накопичувати отримані результати для створення масивів даних, про певний тип мін та їх ідентифікації. Описаний алгоритм використовується для обробки та аналізу даних отриманих від спеціалізованих металошукачів, щоб відрізнити міни від інших металевих предметів та визначити їх тип та місце розмінування. Запропонований метод є перспективним для розв'язання проблеми гуманітарного розмінування, оскільки він повинен підвищити його ефективність під час застосування безпілотних систем пошуку наземних мін, а також дозволить підвищити рівень безпеки оператора під час виявлення мін.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, наземні міни, гуманітарне розмінування, металодетектор, ефективність, нейромережа.

Вступ

Розмінування території є передумовою безпечного та нормального життя для мільйонів українців, які постраждали від наслідків війни. Це складне завдання охоплює не лише виявлення та ліквідацію наземних мін, а й відновлення інфраструктури, сільського господарства.

Наземні міни – це вид зброї, який часто залишається на територіях після завершення військових конфліктів. Вони представляють значну небезпеку для людей та навколишнього середовища, оскільки їх дії можуть призвести до травм, смерті або забруднення територій. Внаслідок ведення військових дій на території України, де активно використовуються міни, багато земель стали непридатними для життя або господарювання. Тому виникає актуальна

проблема в створенні засобів автоматизованого пошуку та проведення робіт по розмінуванні. Кожен такий засіб має ґрунтуватися на відповідному методі пошуку та інструменті, який забезпечує реалізацію роботи [1-4].

Розроблення роботизованих засобів, які на сьогоднішній день використовуються для гуманітарного розмінування, не лише є перспективним напрямком, але й необхідність для очищення великих територій України від наземних мін. Тому створення спеціалізованого металошукача для БпЛА, за допомогою якого можливе виконання завдання по гуманітарному розмінування дистанційно, дозволить підвищити ефективність безпечного виявлення наземних мін.

Для гуманітарного розмінування за допомогою безпілотних літальних апаратів зі

спеціалізованими металошукачами необхідно розробити та науково обґрунтувати метод пошуку та ліквідації наземних мін. У цій роботі ми пропонуємо експериментальний метод, який базується на аналізі сигналів металошукачів та використанні алгоритмів на основі отриманих масивів даних, про певний тип мін для ідентифікації та класифікації мін.

Аналізуючи найновіші дослідження та публікації, було виявлено застосування безпілотних систем із металошукачами для виявлення та ідентифікації наземних мін, що використовуються під час гуманітарного розмінування. Цими питаннями активно займаються як вчені з України, так і за кордоном: Кириленко В. А., Нероба В. Р., Смольков О. Ю., Коцюрuba В. І., Мосов С. П., Гунбін К. Ю., Станкевич С. А., Ворочич Б. О., Гусяков О. М., Gerda M. I.

У статті, авторства Мосова С.П. та Нероби В.Р., під назвою “Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід”, здійснено огляд сучасних практик країн світу у використанні БпЛА для ведення розвідки мінних полів, їх ідентифікації та безпечного усунення. Одним з напрямів вказано підхід, що базується на використанні міношукачів, які встановлюються як корисне навантаження на безпілотною. Інший підхід базується на застосуванні багатоспектральної апаратури, що встановлюється на безпілотною, для ведення розвідки мінної обстановки й виявлення мін. Ще одним з підходів є застосування інфрачервоної апаратури, що встановлюється на безпілотною і реагує на різницю температур між міною та поверхнею місцевості [5].

Автори розглядають різні технічні підходи, такі як використання міношукачів, багатоспектральної та інфрачервоної апаратури для виявлення мін. Проте важливо не лише розвивати технічні засоби, але й створювати методики їх застосування, адаптовані до умов сьогодення, з метою ефективного вирішення завдання щодо розмінування забруднених територій.

У своїй статті “Методологія розробки вимог до системи робототехніки для розмінування” Гусяков О.М., на основі дослідження процесів розмінування та встановлених підходів до формулювання вимог для військового озброєння та техніки, пропонує методику, яка включає в себе розробку тактико-технічних характеристик та технічного опису для систем робототехніки у сфері розмінування. Також пропонується ідеальне поєднання спеціалізованого обладнання для виявлення та нейтралізації вибухових пристроїв, а також оптимальні характеристики для пристроїв, що дозволяють дистанційно виявляти та знешкодувати вибухонебезпечні елементи. Описано ключові етапи методології, яка дозволяє всебічно обґрунтувати вимоги до робототехнічних систем розмінування [6].

Аналізуючи процеси розмінування та існуючі методики, автор пропонує новий підхід до формулювання вимог для робототехнічних систем,

що включає розробку специфікацій та технічних описів. Важливим є знаходження оптимального співвідношення між спеціалізованим обладнанням для виявлення і нейтралізації вибухових пристроїв та характеристиками пристроїв для дистанційного розмінування. Методологія передбачає детальне обґрунтування кожного аспекту вимог, що є ключовим для створення ефективних робототехнічних систем розмінування.

В [7] описано загальний підхід до виявлення наземних мін за допомогою БпЛА, оснащених декількома датчиками оптичної візуалізації. Висота аерофотозйомки БпЛА обирається таким чином, щоб у межах місця встановлення міни було зафіксовано достатню кількість пікселів. Ця обставина забезпечує статистичну репрезентативність виявлення кожним окремим датчиком. Далі виконується зіставлення даних на рівні прийняття рішень для різних датчиків. Наведено попередні оцінки ймовірності виявлення наземних мін різними статистичними методами на мультиспектральних та інфрачервоних зображеннях.

У науковій статті [8] автор аналізує переваги використання військових БпЛА для розмінування територій, зокрема для виявлення мін та саморобних вибухових пристроїв. Основні переваги БпЛА включають зниження ризику для людей, підвищення швидкості та точності пошуку, а також зменшення витрат по розмінуванню. Важливість дослідження підкреслюється суттєвою замінованістю територій України через війну та значну присутність БпЛА у військових операціях, де вони використовуються для розвідки.

У статті [9], на основі аналізу тематичних джерел, визначено ключове питання систематизації умов і чинників, що впливають на роботу безпілотною літального апарату коптерного типу з оптичними датчиками діапазону довжин хвиль. Обрано методику вирішення цього питання. Досліджено умови та чинники, що впливають на датчики, встановлені на БпЛА, і визначено параметри аерознімання для виявлення наземних мін. Використано набір прикладних математичних моделей для встановлення цих параметрів. Визначення основних параметрів дозволило уточнити і систематизувати умови та чинники, що впливають на роботу датчиків. До них відносяться: екологічні умови, сезон, час дня, кваліфікація пілота, метеорологічні умови, турбулентність, місцевість, вітрові пориви, засоби придушення радіосигналу, вібрації носія, маскування мін тощо.

Застосування БпЛА з багаточисельними датчиками оптичної візуалізації може значно підвищити точність та ефективність процесу виявлення наземних мін. Регулювання висоти польоту для оптимального зображення та використання статистичних методів для аналізу даних можуть сприяти більш точному виявленню та ідентифікації мін, що є важливим для безпеки та успішного розмінування територій [10-13].

Незважаючи на кількість досліджень [14-20], які охоплюють використання БпЛА для

розпізнавання наземних об'єктів та мін, методологія точного виявлення та ідентифікації мін за допомогою БПЛА все ще потребує додаткового вивчення та розвитку. Це особливо актуально для сучасної України, де наслідки російсько-української війни призводять до значного мінного забруднення територій. А тому розробка більш досконалих технічних рішень та алгоритмів, які б дозволили БПЛА не тільки виявляти міни, але й точно ідентифікувати їх типи та стан. Це включає в себе вдосконалення сенсорних технологій, обробки зображень та штучного інтелекту. Крім того, важливо розробити комплексні навчальні програми для операторів БПЛА, з метою ефективного використання цих технологій в умовах реального бойового середовища. Такий підхід не тільки підвищить безпеку військових та цивільних осіб, але й сприятиме швидкому та ефективному розмінуванню територій.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу, метод порівняння та аналогій, статистичні методи, розрахунки ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій та прогнозна оцінка можливих наслідків.

Результати

При обиранні металодетектора, що інтегрується з БПЛА, необхідно враховувати специфіку місцевості, яка може бути замінована. БПЛА, оснащений металодетектором, має літати на висоті, достатній для уникнення контакту з рослинністю, щоб запобігти пошкодженню обладнання та самого апарату. Використання такого обладнання у місцевостях з густою рослинністю, на кшталт садів чи лісів, може бути обмеженим або неможливим через ризик пошкодження.

Використання металодетекторів у відкритих районах може бути ускладнене через висоту рослинного покриву, зокрема трави, яка може перешкоджати належному розташуванню пошукової котушки над землею. Це означає, що металодетектори, які мають обмежену чутливість,

у такому випадку можуть виявитися малоефективними.

Деякі міни та вибухові пристрої не включають у себе металеві частини, які б могли бути легко ідентифіковані за допомогою металодетекторів. Це унеможливує ефективне застосування БПЛА з металошукачами для виявлення таких типів мін. Особливо, коли мова йде про вибухові пристрої невеликих розмірів.

Під час розмінування відкритих територій, застосування БПЛА із вбудованими міношукачами вимагає інтегрованого використання всіх доступних ресурсів. З огляду на обмеження використання БПЛА з міношукачами, важливо здійснювати обстеження великих ділянок з метою виявлення мін різного типу та боєприпасів, що не вибухнули. Під час виявлення потенційно небезпечних об'єктів слід проводити їх фотографування та відеозапис, визначати їх розташування та проводити ідентифікацію. Однак, через різні фактори, включаючи маскування та природні зміни, точна ідентифікація металевих об'єктів може бути ускладнена, що збільшує ризик помилок на основі фото та відеоматеріалів. Тому пропонується підхід до виявлення та ідентифікації мін за допомогою БПЛА, який буде детально описаний у подальшому.

На першому кроці методу, для виявлення не ідентифікованого об'єкту металодетектором здійснюють рух БПЛА заданим маршрутом на висоті від поверхні h_{II} . На деякому проміжку траєкторії БПЛА від точки $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ до $A_K(x_K, y_K)$ вимір рівня сигналу металошукача S показує перевищення заданого значення вхідного сигналу - S_D , що свідчить про наявність металевого предмету. За отриманими координатами (рис. 1) можна провести визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж основної траєкторії руху БПЛА - l_x .

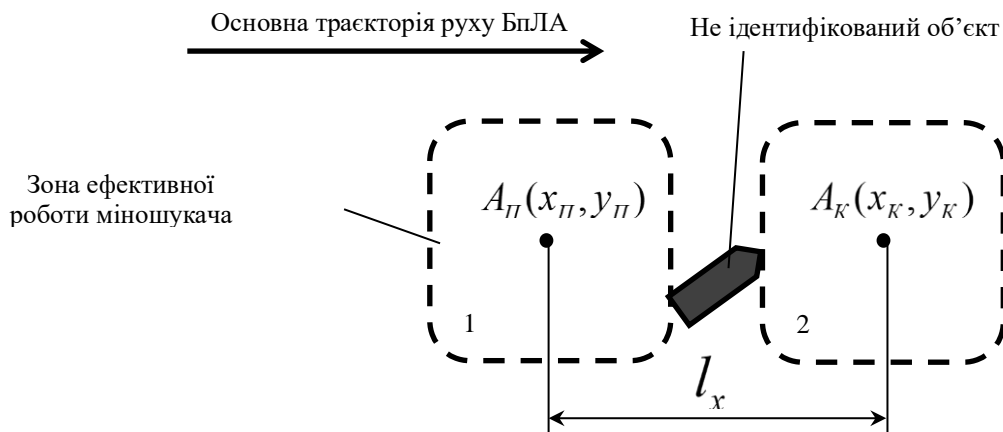


Рисунок 1. Визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж основної траєкторії руху БПЛА

Величину цього проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу можна визначити з рівняння:

$$l_x = \sqrt{(x_{II} - x_K)^2 + (y_{II} - y_K)^2}, \quad (1)$$

На другому кроці визначають значення координати x_{II} , через яку проходить умовна вертикальна вісь розміщення об'єкту ідентифікації. Для цього використовують наступне рівняння:

$$x_{II} = \frac{x_{II} + x_K}{2}, \quad (2)$$

Далі необхідно здійснити кілька повторних вимірів змінюючи висоту та напрям руху БПЛА. Спочатку БПЛА повертають у точку перетину основного напрямку траєкторії та умовної вертикальної вісі. Далі змінюють напрям руху на 90° та віддаляють БПЛА від об'єкту ідентифікації доки не знизиться рівень сигналу нижче S_D та змінюють напрям руху на 180° (рис. 2).

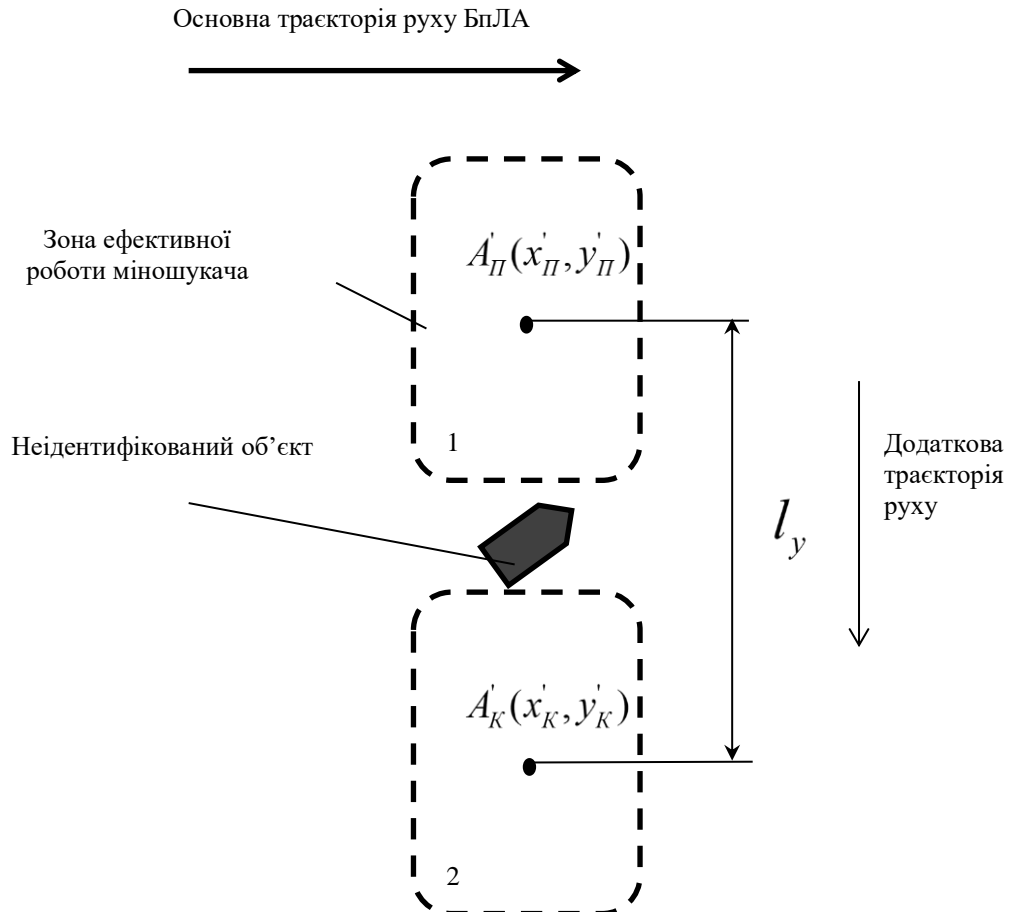


Рисунок 2. Визначення проміжку перевищення заданого рівня вхідного сигналу вздовж додаткової траєкторії руху БПЛА

Під час прольоту над об'єктом ідентифікації визначають координати початку перевищення рівня сигналу $A'_{II}(x'_{II}, y'_{II})$ та закінчення $A'_K(x'_K, y'_K)$.

На третьому кроці визначають координати точки $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ - умовного центру розміщення об'єкту ідентифікації. Для цього використовують значення x_{II} отримане з (2) та обчислюють значення y_{II} за наступним рівнянням:

$$y_{II} = \frac{y'_{II} + y'_K}{2} \quad (3)$$

Далі розміщують БПЛА над точкою $A_{II}(x_{II}, y_{II})$ та здійснюють рух вгору та визначають висоту h_K на якій спостерігають зниження вимірюваного сигналу нижче S_D .

Для спрощення подальшого опрацювання визначають розміри зони в якій відбувалося перевищення рівня сигналу у вигляді прямокутника із сторонами довжиною l_x та l_y , яку визначають за наступним рівняннями 4, 5:

$$l_y = \sqrt{(x'_П - x'_К)^2 + (y'_П - y'_К)^2} \quad (4)$$

В результаті отримують чисельні значення параметрів l_x, l_y та h_K . Для подальшого практичного використання запропонованого методу необхідно провести створення бази значень параметрів l_x, l_y та h_K для відомих вибухонебезпечних предметів (ВНП) у вигляді сукупності нечітких правил такого виду:

якщо

$$l_x \in Lx_i \& l_y \in Ly_i \& h_K \in Hk_i, \text{ то } p \in P_i, i = \overline{1, n} \quad (5)$$

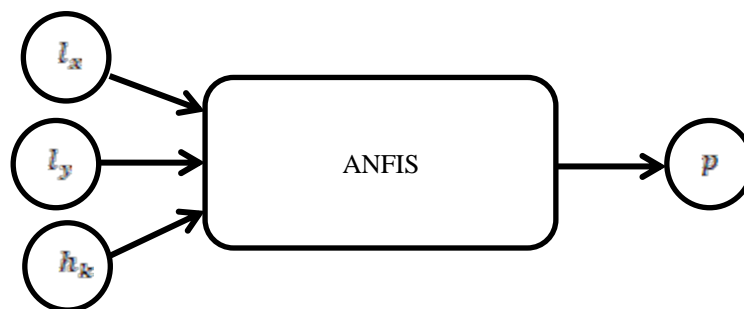


Рисунок 3. Модель ідентифікації ВНП за допомогою БПЛА на основі мережі ANFIS

Обговорення

На даній стадії критично важливо зібрати дані про вихідні характеристики усіх типів, доступних для аналізу. Хоча конструкція деяких ВНП може відрізнятися лише незначно, їх вага та розміри, як правило, не відхиляються настільки, щоб це перевищувало межі помилок вимірювань. Тому слід класифікувати ВНП за групами, а стратегії піротехнічних бригад мають бути розроблені з урахуванням найбільш ризикованих умов для кожної групи ВНП.

Висновки

Розвиток методик використання БПЛА з міношукачами відкриває нові перспективи для розмінування. Експериментальний підхід, що включає точне визначення місцезнаходження металевих об'єктів за допомогою БПЛА, може значно підвищити ефективність ідентифікації мін. Використання нейро-нечіткої мережі ANFIS для аналізу даних дозволить покращити точність виявлення. Подальший розвиток полягатиме у створенні більш точних алгоритмів для обробки даних та розширенні бази даних для навчання мережі, що дозволить адаптувати систему до різноманітних умов розмінування та забезпечити її високу надійність у різних середовищах.

Список використаних джерел

1. Миронова Н. Fundacja POSTUP і “Львівська політехніка” автоматизують розмінування України: як це працюватиме. The Page. URL: <https://thepage.ua/ua/news/rozminuvannya-ukrayini-navisho-poyednuvati-bpla-skanuvannya-ta-nazemni-platformi> (дата звернення: 20.02.2024).

Виходячи з вищевказаних зауважень і міркувань, як модель (5) запропоновано використовувати нечітку нейромережу як технологію, що інтегрує в собі переваги нейромережі та її навчання, можливості представлення експертних висновків та їх інтерпретації.

Для створення навчальної вибірки під час наступних досліджень необхідно створити масив даних l_x, l_y та h_K на основі рівняння (4), в якості моделі для ідентифікації ВНП може бути використана нейро-нечітка мережа ANFIS, структура якої зображена на рисунку 3. Вибір цієї мережі зумовлений специфікою та особливостями завдання, що вирішується.

2. Ukrinform TV. БПЛА для проведення гуманітарного розмінування, 2023. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=J-UpMPDgQgY> (дата звернення: 20.02.2024).

3. В Україні створять центр гуманітарного розмінування. АрміяInform – Інформаційне агентство АрміяInform. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/02/13/v-ukrayini-stvoryat-czentr-gumanitarnogo-rozminuvannya/> (дата звернення: 20.02.2024).

4. Задорожний В., Файфура М., Цегельник В. Виклики і потреби України під час розмінування території, що постраждали від війни у 2022 році. Молодий вчений. 2023. № 1 (113). С. 10–13. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-1-113-3>.

5. Мосов С., Нероба В. Напрями застосування безпілотної авіації для виконання завдань розмінування: світовий досвід / Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. Home Page. URL: <https://doi.org/10.32453/3.v79i1.105>.

6. Гусяков О. М. Методика комплексного обґрунтування вимог до робототехнічного комплексу розмінування. Системи озброєння і військова техніка. 2018. № 2(54). С. 77–82. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.10>.

7. Попов М. О., Станкевич С. А., Мосов С. П., Титаренко О. В., Топольницький М. В., Дугін С. С. "Виявлення мін за допомогою оптичного злиття даних на основі БПЛА", IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies, Львів, Україна, 2021, pp. 175-178, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535553.

8. Стратонов В. Перспективи застосування військових бпла українського виробництва для робіт з розмінування території. Наука і техніка сьогодні. 2023. № 5(19). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5\(19\)-107-121](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5(19)-107-121).

9. Станкевич С., Мосов С., Ворович Б. Систематизація умов і факторів, які впливають на застосування безпілотної літального апарата коптерного типу під час

виявлення наземних мін. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. 2022. С. 82–89. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2021-3-73/82-89>.

10. Aftanaziv I. S., Strogan O. I., Shevchuk A. O. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін. Scientific Bulletin of UNFU. 2023. Т. 33, № 3. С. 83–89. URL: <https://doi.org/10.36930/40330312> (дата звернення: 10.04.2024).

11. Вдосконалення розмінювального мінно-пошукового комплексу / I. S. Aftanaziv та ін. Transportdevelopment. 2023. № 2(17). С. 90–104. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08> (дата звернення: 10.04.2024).

12. Пошук безпілотними літальними апаратами плаваючих мін методами кінематичного проектування / I. S. Aftanaziv та ін. Transportdevelopment. 2022. № 3(14). С. 143–165. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.11> (дата звернення: 10.04.2024).

13. Попов, М. О. (2022). Технологія дистанційного виявлення мін на основі аналізу матеріалів зйомки з безпілотних літальних апаратів: стан та перспективи: Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 6 квітня 2022 року. Вісник НАН України, (5), 56–62. <https://doi.org/10.15407/vsn2022.05.056>.

14. Микійчук М. М. Аналіз методів керування безпілотними літальними апаратами [Електронний ресурс] / М. М. Микійчук, Н. С. Зіганшин // – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jan/20507/005.pdf>.

15. Стасенко Д. В., Яковина В. С. Аналіз наявних методів і засобів удосконалення навігації БПЛА з використанням штучного інтелекту. Scientific Bulletin of

UNFU. 2023. Т. 33, № 4. С. 78–83. URL: <https://doi.org/10.36930/40330411> (дата звернення: 10.04.2024).

16. Шевчук В. В., Кривошеєв В. В., Швець М. М. Вимоги до системи боротьби з безпілотними літальними апаратами. Інтерактивні моделі розвитку науково-освітнього простору у сфері безпеки та оборони. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони 2023. № 2(47). С. 133–138. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/285170>.

17. Мельниченко В. С., Левченко М. А., Паталаха В. Г. Проблемні питання боротьби з безпілотними літальними апаратами противника зенітними засобами та можливі шляхи їх вирішення. Повітряна міць України. 2021. № 1 (1). С. 114–117. <http://sap.nuou.org.ua/article/view/241545>.

18. Аргюшин Л., Кононов О., Невзгляденко Ю. Аналіз перспектив реалізації групового застосування безпілотних літальних апаратів військового призначення. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. 2024. № 19(26). С. 42–48. URL: <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-5>.

19. Лаврівський М. З. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / М. З. Лаврівський, А. П. Гавриш // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Вип. 27(1). – С. 151–153. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlту_2017_27.

20. Krivtsun, V., Zbrutskyi, O., & Kovalchuk, V. (2023). Дослідження процесів виявлення вибухонебезпечних предметів індукційним та радіохвильовим методами на основі результатів однофакторних експериментів. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 26, 73–80. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.09>.

¹Oleh Bas (Candidate of Technical Sciences)

<https://orcid.org/0000-0002-2401-9457>

¹Oleh Zemlianskyi (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

¹Oleh Myroshnyk (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-8951-9498>

²Oleksandr Avramenko (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-1358-1185>

¹*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine*

²*National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

INCREASING THE EFFICIENCY OF PROTECTION STORAGE FACILITIES OF AMMUNITION (AVIATION MEANS OF ATTACK) FROM EMERGENCY SITUATIONS BY IMPROVING STORAGE CONDITIONS

The purpose of the article is to present an experimental method that allows you to detect and recognize landmines with the help of unmanned aerial vehicles (UAVs), which have specialized metal detectors on board. It is proposed to use the indicated method to increase the efficiency of scanning the area for the presence of metal objects that may be land mines, as well as to accumulate the obtained results to create data arrays about a certain type of mines and their identification. The described algorithm is used to process and analyze data from specialized metal detectors to distinguish mines from other metal objects and to determine their type and location. The proposed method is promising for solving the problem of humanitarian demining, as it should increase its effectiveness when using unmanned landmine search systems, as well as allow increasing the operator's safety level during mine detection.

Keywords: *unmanned aerial vehicles, land mines, humanitarian demining, metal detector, efficiency, neural network.*

References

1. Myronova N. Fundacja POSTUP i "Lvivska politechnika" avtomatyzuiut rozminuvannia Ukrainy: yak tse pratsiuvatyme. The Page. URL: <https://thepage.ua/ua/news/rozminuvannya-ukrayini-navisho-poyednuvati-bpla-skanuvannya-ta-nazemni-platformi> (data zvernennia: 20.02.2024).
2. Ukrinform TV. BPLA dlia provedennia humanitarnoho rozminuvannia, 2023. YouTube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=J-UpMPDgQgY> (data zvernennia: 20.02.2024).
3. V Ukraini stvoriat tsentr humanitarnoho rozminuvannia. ArmiiaInform – Informatsiine ahentstvo ArmiiaInform. URL: <https://armyinform.com.ua/2023/02/13/v-ukrayini-stvoriat-czentr-gumanitarnogo-rozminuvannya/> (data zvernennia: 20.02.2024).
4. Zadorozhnyi V., Faifura M., Tsehelnik V. Vyklyky i potreby ukrainy pid chas rozminuvannia terytorii, shcho postrazhdaly vid viiny u 2022 rotsi. Molodyi vchenyi. 2023. № 1 (113). S. 10–13. URL: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2023-1-113-3>.
5. Mosov S., Neroba V. Napriamy zastosuvannia bezpilотноi aviatsii dlia vykonannia zavdan rozminuvannia: svitovyi dosvid / Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Serii: viiskovi ta tekhnichni nauky. Home Page. URL: <https://doi.org/10.32453/3.v79i1.105>.
6. Husliakov O. M. Metodyka kompleksnogo obruntuuvannia vymoh do robototekhnichnogo kompleksu rozminuvannia. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2018. № 2(54). S. 77–82. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.10>.
7. Popov M. O., Stankevych S. A., Mosov S. P., Tytarenko O. V., Topolnytskyi M. V., Duhin S. S. "Vyavlennia min za dopomohoiu optychnoho zlyttia danykh na osnovi BPLA", IEEE EUROCON 2021 - 19th International Conference on Smart Technologies, Lviv, Ukraina, 2021, pp. 175-178, doi: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535553.
8. Stratonov V. Perspektyvy zastosuvannia viiskovykh bpla ukrainskoho vyrobnytstva dlia robot z rozminuvannia terytorii. Nauka i tekhnika sohodni. 2023. № 5(19). URL: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5\(19\)-107-121](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-5(19)-107-121).
9. Stankevych S., Mosov S., Vorovych B. Systematyzatsiia umov i faktoriv, yaki vplyvaiut na zastosuvannia bezpilотноho litalnogo aparata kopternoho typu pid chas vyavlennia nazemnykh min. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen NUOU imeni Ivana Cherniakhovskoho. 2022. S. 82–89. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2021-3-73/82-89>.
10. Aftanaziv I. S., Strogan O. I., Shevchuk A. O. Poshuk bezpilотноmy litalnymy aparatamy plavuchykh min. ScientificBulletinof UNFU. 2023. T. 33, № 3. S. 83–89. URL: <https://doi.org/10.36930/40330312> (data zvernennia: 10.04.2024).
11. Vdoskonalennia rozminovuvalnogo minno-poshukovoho kompleksu / I. S. Aftanaziv ta in. Transportdevelopment. 2023. № 2(17). S. 90–104. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2023.2-17.08> (data zvernennia: 10.04.2024).
12. Poshuk bezpilотноmy litalnymy aparatamy plavaiuchykh min metodamy kinematychnoho proektuvannia / I. S. Aftanaziv ta in. Transportdevelopment. 2022. № 3(14). S. 143–165. URL: <https://doi.org/10.33082/td.2022.3-14.11> (data zvernennia: 10.04.2024).
13. Popov, M. O. (2022). Tekhnolohiia dystantsiinoho vyavlennia min na osnovi analizu materialiv zionky z bezpilотноykh litalnykh aparatyv: stan ta perspektyvy: Stenohrama dopovidi na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy 6 kvitnia 2022 roku. Visnyk NAN Ukrainy, (5), 56–62. <https://doi.org/10.15407/visn2022.05.056>.
14. Mykyichuk M. M. Analiz metodiv keruvannia bezpilотноmy litalnymy aparatamy [Elektronnyi resurs] / M. M. Mykyichuk, N. S. Zihanshyn// – 2019. – Rezhym dostupu do resursu: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jan/20507/005.pdf>.
15. Stasenko D. V., Yakovyna V. S. Analiz naiavnykh metodiv i zasobiv udoskonalennia navihatsii BPLA z vykorystanniam shtuchnogo intelektu. ScientificBulletinof UNFU. 2023. T. 33, № 4. S. 78–83. URL: <https://doi.org/10.36930/40330411> (data zvernennia: 10.04.2024).
16. Shevchuk V. V., Kryvosheiev V. V., Shvets M. M. Vymohy do systemy borotby z bezpilотноmy litalnymy aparatamy. Interaktyvni modeli rozvytku naukovo-osvitnogo prostoru u sferi bezpeky ta oborony. Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony2023. № 2(47). S. 133–138. <https://sit.nuou.org.ua/article/view/285170>.
17. Melnychenko V. S., Levchenko M. A., Patalakha V. H. Problemni pytannia borotby z bezpilationallymy litalnymy aparatamy protyvnyka zenitnymy zasobamy ta mozhylyvi shliakhy yikh vyrishennia. Povitriana mits Ukrainy. 2021. № 1 (1). S. 114–117. <http://sap.nuou.org.ua/article/view/241545>.
18. Artiushyn L., Kononov O., Nevzghliadenko Yu. Analiz perspektyv realizatsii hrupovoho zastosuvannia bezpilationallymy litalnykh aparatyv viiskovoho pryznachennia. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnogo naukovo-doslidnogo instytutu aviatsii. 2024. № 19(26). S. 42–48. URL: <https://doi.org/10.54858/dndia.2023-19-5>.
19. Lavrivskiy M. Z. Rozvytok bezpilationallymy litalnykh aparatyv v Ukraini ta sviti dlia vykonannia zavdan tsyvilnoho zakhystu / M. Z. Lavrivskiy, A. P. Havrys // Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. - 2017. - Vyp. 27(1). - S. 151-153. - Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2017_27.
20. Krivtsun, V., Zbrutskiy, O., &Kovalchuk, V. (2023). Doslidzhennia protsesiv vyavlennia vybukhonebezpechnykh predmetiv induktsiinym ta radiokhvylovym metodamy na osnovi rezultativ odnofaktornykh eksperymentiv. Visnyk Lvivskoho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttiediialnosti, 26, 73-80. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.26.2022.09>.

ІННОВАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ГАЛУЗЯХ АВІАЦІЇ, АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ, РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ, РАДІОТЕХНІКИ, ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ ТА АСУ, А ТАКОЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-131-136

УДК 004.056

¹Опенько Павло Вікторович (кандидат технічних наук, старший дослідник)

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

²Довженко Надія Михайлівна (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-4164-0066>

¹Оріховський Павло Володимирович

<https://orcid.org/0000-0003-4309-154X>

¹Ікаєв Дмитро Русланович (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-3501-0642>

¹Національний університет оборони України, Київ, Україна

²Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА БЕЗПЕКИ У СУЧАСНИХ БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТРИКИ RSSI

За останні десятиліття безпроводові сенсорні мережі (БСМ) зазнали значних трансформацій. Зокрема це стало можливим завдяки прогресу в технологіях, мініатюризації компонентів та зростанню потужності обчислень. Сенсорні мережі, як правило, складаються з великої кількості малопотужних багатофункціональних пристроїв, які розгортаються в певній географічній зоні. Хоч більшість з елементів такої мережі мають обмежені фізичні ресурси, об'єднані разом, вони швидко конфігуруються до виконання цілого ряду функціональних завдань у сфері науки, техніки, захисту критичної інфраструктури, захисту та моніторингу навколишнього середовища тощо.

Однак з розвитком та трансформацією БСМ все активніше досліджується й питання інформаційної безпеки, оскільки ризики несанкціонованого доступу або втручання можуть серйозно підірвати ефективність і надійність цих технологій. Доцільно зауважити, що саме через відкрите середовище передачі сигналів та інформації, необхідно покращувати, розвивати і впроваджувати оновлені й передові методи шифрування та автентифікації для забезпечення конфіденційності та цілісності даних. Крім того, критичного значення набуває розробка механізмів виявлення та реагування на атаки у сенсорних мережах. Все це потрібно для підтримки стабільності та безпеки як окремих сенсорних датчиків та вузлів, так і всієї мережі в цілому.

Ключові слова: сенсорні мережі, безпроводові сенсорні мережі, інформаційна безпека, дані, безпілотний літальний апарат, надійність, вузли, датчики.

Вступ

Переважно перспективність розвитку безпроводових сенсорних мереж (БСМ) базується на їх здатності адаптуватися до змін та вимог реального часу. Тому вони добродійно впливають на розвиток в таких напрямках, як національна безпека, оборонні технології, автоматизація промисловості (Industrial Internet of Things, IIoT), безпілотні апарати (БПЛА), смарт-агрокультури, охорона здоров'я, "розумні" будинки та "розумні" міста.

Доцільно зауважити, що поступові кроки в інтеграції сенсорних мереж із БПЛА виражаються в їх здатності підсилювати наземні системи спостереження та моніторингу. Це поєднання надає

нові можливості та підходи при виконанні складних, стратегічних завдань, покращує оперативність та ефективність реагування на кризові ситуації, шляхом збору, первинної обробки та передачі актуальних даних.

Наразі технології сенсорних мереж стають основою для глобальних інновацій, які змінюють спосіб ведення бойових (спеціальних) дій, бізнесу, управління екосистемами та підходи до особистісної безпеки.

Однак, використання потенційних переваг безпроводових сенсорних мереж вимагає високого рівня самоорганізації і координації між сенсорними датчиками для виконання завдань, необхідних для

підтримки основного призначення, а саме необхідність створення безпроводових сенсорних вузлів для самоорганізації в багатофункціональну мережу.

Створення інфраструктури сенсорної мережі для передачі даних вимагає встановлення безпечних зв'язків між довіреними сусідніми вузлами сенсорів [1], що набувають особливого значення під час застосування БСМ в зоні ведення бойових дій. Сам тому удосконалення підходів до забезпечення безпеки БСМ та інформації, що циркулює в таких мережах є важливим науковим завданням.

Аналіз літератури. Проведений аналіз існуючих наукових публікацій свідчить про наявність відповідних напрацювань у військовій сфері. Так, авторами [2] наведені тактико-технічні характеристики сенсорних систем спеціального (військового) призначення, особливості їх функціонування, узагальнено призначення мобільних БСМ оперативного рівня, а також розроблено рекомендації щодо впровадження таких систем у вітчизняній військовій сфері та їхнього подальшого інноваційного розвитку. В роботі [3] запропонована функціональна модель системи управління сенсорною мережею, обґрунтовано принципи побудови таких систем, їх структура та функції, розглянуті перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж, наведена їх класифікація і вимоги, які висуваються до них. Авторами [4, 5] проведено аналіз безпеки мобільних радіомереж (англ. Mobile Ad-Hoc Networks (MANET)), визначені їхні основні вразливості, проведено класифікацію існуючих атак та оцінювання загроз, а також проаналізовано механізми забезпечення безпеки цих мереж. У роботі [6] запропоновано класифікацію атак у БСМ за чотирма ознаками, проте авторами не враховуються специфіка застосування БСМ у тактичній ланці управління військами. В [7] створено варіант програмно-апаратного комплексу, призначеного для просторово-часової інтеграції даних від засобів автоматичного наведення всіх підрозділів і пунктів управління частинами в рамках цифрової карти району бойових дій під управлінням частини під час бойових дій.

Таким чином, отримані результати в наведених роботах свідчать, що питанням забезпечення безпеки БСМ у воєнній сфері приділяється недостатня увага, а саме розгляд вразливості та атак стосовно БСМ виконуються в обмеженому обсязі, особливості їх функціонування та питання безпеки не враховуються під час оцінки.

Мета статті. Удосконалення підходів до забезпечення безпеки безпроводових сенсорних мереж шляхом запровадження комплексного підходу, реалізація якого дозволяє запобігти зростаючим викликам і загрозам у цій області.

Матеріали та методи

У даному дослідженні застосовуються наукові методи системного аналізу та синтезу.

Результати

Для досягнення мети розглянемо покроково запропонований комплексний підхід.

Крок 1. Визначення загроз безпеці даних в

сенсорних мережах

Оскільки БСМ часто розгортаються в неконтрольованих або незахищених фізичних умовах, важливо окремо приділити увагу впливу атак і загроз на вузли та сенсори. Виток інформації через фізичний доступ до вузлів може знищити цілісність і конфіденційність даних, що обробляються. Це ставить під загрозу не тільки окремі компоненти мережі, але й загальну безпеку системи в цілому.

У сенсорних мережах атаки можуть проводитися за різними сценаріями та на різних рівнях, зокрема у вигляді атак “jamming”, спрямованих на внесення додаткових шумів та завад на фізичний канал передачі безпроводових сигналів. Також розглядається й фізичне втручання в роботу вузлів мережі, зокрема атака підміни сенсора, атака вилучення даних при прямому доступі зловмисника до складового елемента БСМ.

Коли розглядається вплив на каналний рівень, то частіше мова йде про атаки на створення колізій, якщо використовуються одні й ті ж частотні канали, та атаки виснаження ресурсів вузлів мережі, в тому числі через примусову ретрансляцію пошкоджених пакетів вузлу-одержувачу.

На мережевому рівні зловмисники здійснюють шкідливий вплив на протоколи маршрутизації, включаючи підміну даних маршрутизації. Прикладом такої атаки є Black Hole атака. Ще одним прикладом атаки на мережевому рівні є атака типу Selective Forwarding. Передбачається здійснення вибіркового пересилання даних та пакетів компрометованим вузлом з ігноруванням решти запитів.

Крім DoS-атак, сенсорні мережі також вразливі до атак перехоплення та аналізу трафіку, що дозволяє зловмисникам отримати доступ до даних, здійснювати модифікацію та підміну їх подальших атак на мережу й інші вузли. Тому необхідно використовувати відповідні методи шифрування та автентифікації для забезпечення конфіденційності і цілісності даних [8].

Крок 2. Стратегії протидії кібератакам на безпроводові сенсорні мережі

Управління ключами в БСМ є достатньо складним для реалізації завданням через значну кількість вузлів й, звісно, обмежені ресурси кожного з них. Розробка ефективних механізмів розподілу та оновлення ключів, які можуть адаптуватися до змін у топології та управління вузлами, є ключовим для підтримання безпеки в динамічних умовах.

Збільшення кількості сенсорів у мережі також створює проблеми з отриманням, первинною обробкою, зберіганням і передачею даних, оскільки традиційні методи можуть не справлятися з об'ємами даних, що постійно генеруються.

Використання технологій стиснення даних та розробка алгоритмів для вибіркової передачі

інформації може частково допомогти зменшити навантаження на мережу та оптимізувати її продуктивність. Однак в цьому випадку заходи щодо протидії атакам на безпроводові сенсорні мережі, вимагають більш жорстких кроків щодо комплексності зазначеного підходу.

Важливо не лише запровадити заходи захисту на кожному із рівнів, де виникає негативний вплив атак та загроз, але й забезпечити взаємодію захисних механізмів між собою. Наприклад, запровадження більш ефективного управління енергією та ресурсами на каналному рівні може своєю чергою допомогти мінімізувати вплив атак, які спрямовані саме на виснаження ресурсів.

Також корисним може бути впровадження розширених протоколів автентифікації та шифрування, що здатні зменшити ризики, пов'язані з атаками на фізичному та мережевому рівнях [9].

Використання нових підходів в методах шифрування, а також покращенні наявних алгоритмів безпеки на мережевому рівні може допомогти уникнути підміни даних маршрутизації та забезпечити додаткову цілісність і конфіденційність даних, тим самим успішно протидіяти атакам типу Black Hole і Selective Forwarding.

На транспортному рівні до атак на вузли сенсорних мереж належать Flooding-атаки, які спрямовані на виснаження ресурсів або пам'яті пристроїв, а також атаки, що здатні ввести перешкоди та порушення синхронізації, шляхом того, що зломисники вносять помилки для перешкоджання коректній передачі даних легітимними вузлами.

Окрім базових цілей інформаційної безпеки, виражених у вигляді властивостей конфіденційності, цілісності, доступності та їхніх похідних, явно формулюються і вторинні цілі, які повинні враховуватися в процесі аналізу функціонування БСМ та її складових.

Зазначені цілі, зазвичай, формулюються для конкретної області застосування БСМ з урахуванням таких характеристик: актуальність даних, можливість самоорганізації мережі, синхронізація за часом, та безпека, що передбачає можливість відстеження вузлів та локалізації інцидентів інформаційної безпеки з визначенням конкретних елементів, які в них залучені.

Окрім цього, можуть враховуватися доступність вузлів мережі та даних, отриманих від них.

Таким чином, забезпечення безпеки БСМ реалізується шляхом застосування комплексного підходу, який включає захист від різноманітних типів атак, ефективне управління ресурсами і постійне оновлення безпекових механізмів, щоб відповідати зростаючим викликам і загрозам у цій області [10].

Крок 3. Визначення довірених вузлів у сенсорних мережах

Створення списків довірених, легальних вузлів у безпроводових сенсорних мережах, які можуть брати участь при передачі даних (логічній

маршрутизації) є необхідним етапом для забезпечення надійності та безпеки мережі.

Для ініціалізації вузлів у безпроводових сенсорних мережах та визначення сусідніх вузлів, які знаходяться на відстані одного переходу (хопу) і при цьому являються довіреними, необхідно провести ряд розрахунків, а саме:

визначення досяжності сусідніх вузлів, що дасть інформацію про те, які вузли можуть безпосередньо комунікувати з даним вузлом без необхідності ретрансляції через інші;

проведення розрахунків показника сили сигналу RSSI (Received Signal Strength Indicator), який використовується для проведення оцінки відстані між вузлами. Відповідно, чим вищі значення RSSI, тим ближче знаходиться вузол, і тим ймовірніше він може бути використаний для хопу (передачі);

виявлення кількості довірених вузлів. Для підтвердження того, що сусідні вузли можуть бути довіреними, доцільно скористатися процедурою взаємної автентифікації за допомогою попередньо розділених ключів або цифрових сертифікатів;

визначення кількості доступних каналів, що сприятиме зменшенню колізій. Своєю чергою, це призведе до покращення розподілу трафіку в БСМ між вузлами;

визначення оптимальних параметрів для ретрансляції пакетів, які включають значення мінімальної енергії та оцінку навантаження на вузол.

Виявлення всіх сусідніх вузлів, які мають безпосереднє з'єднання з конкретним вузлом, можна здійснити через обмін пакетами по типу "hello", які включають інформацію про ідентифікацію та статус вузла [10].

Розрахунок значень RSSI для визначення відстані до сусідніх вузлів може бути реалізований наступним чином:

$$d = 10 \frac{P_t - RSSI - L}{10n}, \quad (1)$$

де d – відстань між вузлами, P_t – вихідна потужність сигналу передавача, $RSSI$ – індикатор сили прийнятого сигналу, L – константа зсуву (залежить від конкретних умов середовища), n – коефіцієнт затухання сигналу.

Значення n зазвичай коливається між 2 і 4, а значення константи зсуву залежить від конкретних умов середовища, де розгортається сегмент БСМ.

При проведенні розрахунків можна визначити, по-перше, на якій відстані знаходиться кожен сусідній вузол від конкретного елемента сенсорної мережі; по-друге, можна визначити, чи доцільно вузлам призначити статус "сусідній вузол на один хоп".

Оскільки RSSI і відстань мають неоднозначну залежність і можуть змінюватися залежно від конкретного середовища впровадження, тому для спрощення припускається, що вузли можуть передавати інформацію та "спілкуватися", якщо вони знаходяться на відстані меншій за заданий радіус зв'язку.

Рис. 1. демонструє базову топологію мережі, де вузли з'єднані між собою залежно від їхнього сигнального радіусу.

Маємо модель сенсорної мережі, яка створена з 10 вузлами, розташованими випадковим чином. Кожен вузол має зв'язок з іншими вузлами у межах певного радіуса. Після цього, визначено які з вузлів можна вважати довіреними.

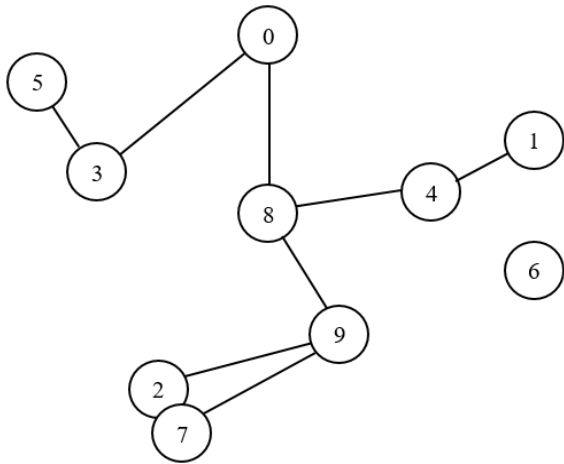


Рисунок 1. Приклад зв'язності у безпроводовій сенсорній мережі

Після проведення розрахунків довірених вузлів, можна припустити, що вузли перевіряються на довіреність на підставі їхніх ресурсів, таких як обчислювальна потужність та енергетичні запаси, які визначено випадково.

Довірені вузли позначені іншим кольором (рис. 2).

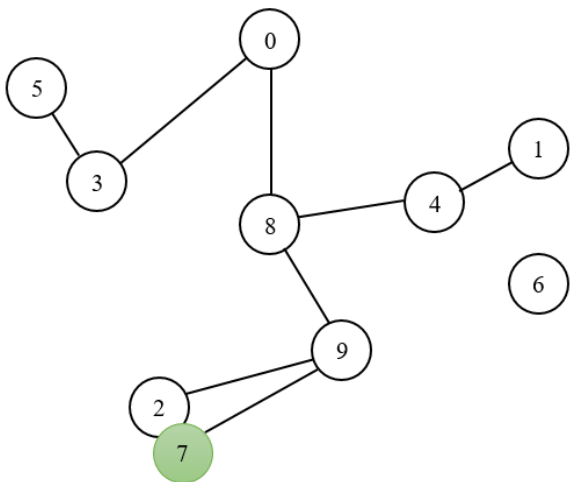


Рисунок 2. Приклад зв'язності у безпроводовій сенсорній мережі після розрахунку довірених вузлів

Вузол, зображений іншим кольором, визначений як довірений на основі їхньої обчислювальної потужності та енергетичних запасів, які перевищують встановлені порогові значення. Цей вузол може бути використаний для маршрутизації даних в мережі, забезпечуючи надійність і безпеку передачі даних[11].

Крок 4. Використання RSSI для визначення

довірених вузлів у безпроводових сенсорних мережах

При проведенні розрахунків відстаней між вузлами для мереж з різною кількістю вузлів, використовується формула відстані на основі сили сигналу (RSSI).

Для кожної мережі можна зробити припущення, що вихідна потужність сигналу передавача (P_t) і константа зсуву (L) мають певні стандартні значення, і що RSSI вимірюється для кожного вузла.

Після цього, можна відобразити отримані відстані на графіку. Доцільно припустити, що P_t і L мають постійні значення, а значення RSSI випадкові, що відображає різні відстані між вузлами [12]. Для коефіцієнта затухання сигналу n , можна обрати середнє значення, що дорівнює 3.

На рис. 3. відображено розрахункові відстані між вузлами на основі модельних значень RSSI. Кожна точка на графіку відповідає певному вузлу з його значенням RSSI та розрахованою відстанню до інших вузлів.

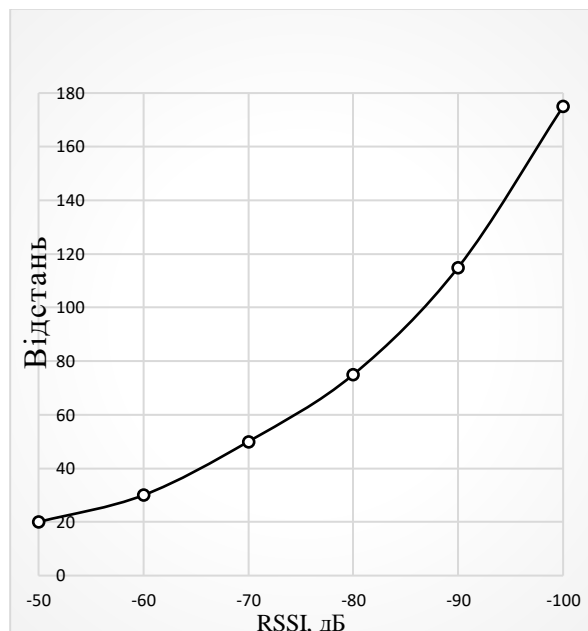


Рисунок 3. Графік відстані між вузлами на основі модельних значень RSSI

З рис. 3 можна зробити висновок, що при вищому значенні RSSI (менша відстань до передавача), фіксується менша відстань до вузла, а при нижчому RSSI (більша відстань від передавача) – більшу відстань до вузла.

Точки розподілені вздовж кривої, яка відображає зворотну залежність між RSSI та відстанню. Збільшення кількості вузлів може призводити до збільшення густини точок на графіку, що відображає більшу кількість можливих відстаней між вузлами у мережі з більшою кількістю вузлів.

Значення відстаней виражені у відповідних одиницях, а RSSI – в децибелах (дБ/dBm). З рис. 3. робимо висновок, що відстані збільшуються зі зменшенням значень RSSI, що відповідає очікуваному спаду сигналу зі збільшенням відстані.

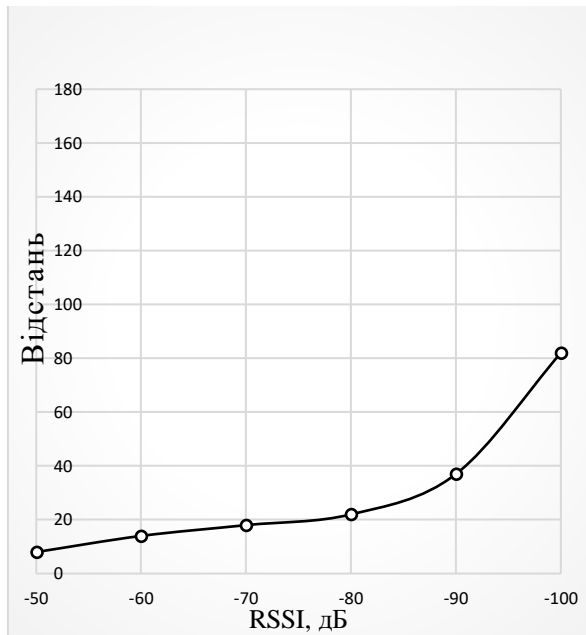


Рисунок 4. Графік відстані між вузлами на основі модельних значень RSSI при створенні списку довірених вузлів

Рис. 4. допомагає візуалізувати, як RSSI може бути використано для визначення відстані в безпроводових сенсорних мережах, що є ключовим для виявлення всіх сусідніх вузлів при створенні списку довірених вузлів.

Обговорення

Порівнюючи рис. 3 та рис. 4., а саме розрахункові відстані між вузлами з двох різних мереж: одна з вузлами, до яких застосовано алгоритм, і “звичайна” мережа без алгоритму. Можна зробити висновок, що для “звичайної” мережі точки мають більші значення RSSI і відповідно менші відстані, що може бути результатом використання вузлів із слабшими сигналами або більшими відстанями.

Це демонструє, як підхід щодо створення списку довірених вузлів може допомогти у відсіванні вузлів із слабкими сигналами, тим самим підвищуючи надійність комунікації в мережі, оскільки вузли з більшими відстанями можуть потребувати більше енергії для передачі даних або можуть мати більшу ймовірність втрати даних.

Висновки

Таким чином, в сучасних умовах постійного збільшення щільності та проникнення безпроводових сенсорних технологій та їх складових елементів у різні сфери життєдіяльності, безперервно зростає й важливість інформаційної безпеки, особливо у військовій сфері. Пов'язано це з підвищенням ризиків неавторизованого доступу та інших варіантів втручання, які можуть підривати приватність та цілісність даних у БСМ.

Своєю чергою, впровадження метрики сили сигналу RSSI для визначення відстаней між вузлами сприяє формуванню списків довірених вузлів, що підвищує ефективність комунікації в мережі. Зазначений процес дозволяє ідентифікувати та відокремлювати вузли з недостатньо сигнальною потужністю, оптимізуючи енергетичне споживання та

мінімізуючи ризики втрати даних. Тому адекватне управління довіреними вузлами і ключами, а також ефективне розпорядження ресурсами є вирішальними для забезпечення стабільності та безпеки мережових операцій у БСМ.

Напрямами подальших досліджень є побудова функціональної моделі підсистеми управління безпекою з урахуванням запропонованого комплексного підходу, реалізація якого дозволить запобігти зростаючим викликам і загрозам.

Список використаних джерел

1. Dovzhenko N., Barabash O., Ausheva A., Ivanichenko Y., Obushnyi S.. Comprehensive Analysis of Efficiency and Security Challenges in Sensor Network Routing. CEUR Workshop Proceedings, Volume 3550, Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS-II 2023. Pp. 275-280.
2. Машгалір В.В., Жук О.В., Мінченко Л.М., Артюх С.Г. Концептуальні підходи застосування бездротових сенсорних мереж арміями передових країн світу. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2023. Т. 47, No2. С. 96–112.
3. Міночкін А.І., Романюк В.А., Жук О.В. Перспективи розвитку тактичних сенсорних мереж. Збірник наукових праць ВПІ НТУУ “КПІ”. 2007. No2. С. 112–119.
4. Міночкін А.І., Романюк В.А. Безпека мобільних радіомереж. Збірник наукових праць ВПІ НТУУ “КПІ”. 2004. No 5. С. 116–26.
5. Міночкін А.І., Романюк В.А., Шаціло П.В. Виявлення атак в мобільних радіомереж. Збірник наукових праць ВПІ НТУУ “КПІ”. 2005. No 1. С. 102–111.
6. Amine Kardi. Rachi Zagrouba. Attacks classification and security mechanisms in Wireless Sensor Networks. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. 2019. Vol. 4. No 6. P. 229–243.
7. Kobzev, V., Vasilyev, V., Doska, O. and Fomenko, D. 2019. Problematic issues and perspective ways for ensuring documentation of battle work on combat means of surface-to-air missile systems (complexes). Journal of Scientific Papers “Social development and Security”. 9, 1 (Mar. 2019), 17-25.
8. Бондарчук А.П., Бржезьська З.М., Макаренко А.О., Собчук В.В. Дослідження проблематики функціонування алгоритму передачі інформації при наявності прихованих вузлів в безпроводових сенсорних мережах/ А.П. Бондарчук, З.М. Бржезьська, Н.М. Довженко, А.О. Макаренко, В.В. Собчук // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – 2019. №4(4). – С. 54-61.
9. Haidur H., Brzhevska Z., Ivanichenko Y., Nesterova O. Method of Sensor Network Functioning under the Redistribution Condition of Requests between Nodes. CEUR Workshop Proceedings. Volume 3421, Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS 2023. P. 278–283.
10. Hu Z., Mukhin V., Kornaga Y., Barabash O., Herasymenko O. Analytical Assessment of Security Level of Distributed and Scalable Computer Systems. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 2016. Vol. 8. No. 12. Hong Kong: MECS Publisher, 2016. P. 57 – 64.
11. Довженко Н. М., Саланда І. П., Барабаш А. О., Коваль М. О. Дослідження методики передачі інформації в безпроводових сенсорних мережах між інтелектуальними сенсорними датчиками. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VII(23), Issue: 193, 2019 Feb. Budapest. p.39-42.
12. Barabash O., Ausheva N., Obidin D., Musienko A., Fedchuk T. Development of a hybrid network traffic load management mechanism using smart components. 2023 IEEE 7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). October 24 – 27, 2023, Kyiv, National Aviation University, Ukraine. P. 38 – 41.

¹**Pavlo Openko** (PhD, Senior Researcher)

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

²**Nadiia Dovzhenko** (PhD, Associated Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-4164-0066>

¹**Pavlo Orikhovskiy**

<https://orcid.org/0000-0003-4309-154X>

¹**Dmytro Ikaiev** (PhD)

<https://orcid.org/0000-0002-3501-0642>

¹*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

²*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

ENSURING RELIABILITY AND SECURITY IN MODERN WIRELESS SENSOR NETWORKS BASED ON THE IMPLEMENTATION OF THE RSSI METRIC

In recent decades, wireless sensor networks (WSNs) have undergone significant transformations. In particular, this became possible thanks to the progress in technology, the miniaturization of components and the growth of computing power. Sensor networks usually consist of a large number of low-power multifunctional devices that are deployed in a certain geographical area. Although most of the elements of such a network have limited physical resources, combined together, they are quickly configured to perform a number of functional tasks in the field of science, technology, protection of critical infrastructure, protection and monitoring of the environment, etc.

However, with the development and transformation of BSM, the issue of information security is increasingly being investigated, as the risks of unauthorized access or interference can seriously undermine the effectiveness and reliability of these technologies. It is appropriate to note that precisely because of the open environment of transmission of signals and information, it is necessary to improve, develop and implement updated and advanced methods of encryption and authentication to ensure confidentiality and integrity of data. In addition, the development of mechanisms for detecting and responding to attacks in sensor networks is becoming critical. All this is required to maintain the stability and security of both individual sensor sensors and nodes, as well as the entire network as a whole.

Keywords: *sensor networks, wireless sensor networks, information security, data, unmanned aerial vehicle, reliability, nodes, sensors.*

References

1. Dovzhenko N., Barabash O., Ausheva A., Ivanichenko Y., Obushnyi S.. Comprehensive Analysis of Efficiency and Security Challenges in Sensor Network Routing. CEUR Workshop Proceedings, Volume 3550, Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS-II 2023. Pp. 275-280.
2. Mashtalir V.V., Zhuk O.V., Minenko L.M., Artjukh S.Gh. Konceptualjni pidkholdy zastosuvannya bezdrotovykh sensorykh merezh armijamy peredovykh krajin svitu. Suchasni informacijni tekhnologiji u sferi bezpeky ta oborony. 2023. T. 47, No2. S. 96–112.
3. Minochkin A.I., Romanjuk V.A., Zhuk O.V. Perspektyvy rozvytku taktychnykh sensorykh merezh. Zbirnyk naukovykh pracj VITI NTUU “KPP”. 2007. No2. S. 112–119
4. Minochkin A.I., Romanjuk V.A. Bezpeka mobiljnykh radiomerezh. Zbirnyk naukovykh pracj VITI NTUU “KPP”. 2004. No 5. S. 116–26.
5. Minochkin A.I., Romanjuk V.A., Shacilo P.V. Vyjavlennja atak v mobiljnykh radiomerezh. Zbirnyk naukovykh pracj. VITI NTUU “KPP”. 2005. No 1. S. 102–111
6. Amine Kardi, Rachi Zagrouba. Attacks classification and security mechanisms in Wireless Sensor Networks. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. 2019. Vol. 4. No 6. P. 229–243.
7. Kobzev, V., Vasilyev, V., Doska, O. and Fomenko, D. 2019. Problematic issues and perspective ways for ensuring documentation of battle work on combat means of surface-to-air missile systems (complexes). Journal of Scientific Papers “Social development and Security”. 9, 1 (Mar. 2019), 17-25.
8. Bondarchuk A.P., Brzhevsjka Z.M., Makarenko A.O., Sobchuk V.V. Doslidzhennja problematyky funkcionuvannja alghorytmu peredachi informaciji pry najavnosti prykhovanykh vuzliv v bezprovodovykh sensorykh merezhakh/ A.P. Bondarchuk, Z.M. Brzhevsjka, N.M. Dovzhenko, A.O. Makarenko, V.V. Sobchuk // Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika. – 2019. - #4(4). – S. 54-61.
9. Haidur H., Brzhevsjka Z., Ivanichenko Y., Nesterova O. Method of Sensor Network Functioning under the Redistribution Condition of Requests between Nodes. CEUR Workshop Proceedings. Volume 3421, Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS 2023. P. 278–283.
10. Hu Z., Mukhin V., Kornaga Y., Barabash O., Herasymenko O. Analytical Assessment of Security Level of Distributed and Scalable Computer Systems. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 2016. Vol. 8. No. 12. Hong Kong: MECS Publisher, 2016. P. 57 – 64.
11. Dovzhenko N. M., Salanda I. P., Barabash A. O., Kovalj M. O. Doslidzhennja metodyky peredachi informaciji v bezprovodovykh sensorykh merezhakh mizh intelektualjnymy sensornymy datchykamy. Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VII(23), Issue: 193, 2019 Feb. Budapest. p.39-42.
12. Barabash O., Ausheva N., Obidin D., Musienko A., Fedchuk T. Development of a hybrid network traffic load management mechanism using smart components. 2023 IEEE 7th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). October 24 – 27, 2023, Kyiv, National Aviation University, Ukraine. P. 38 – 41.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-137-140

УДК 355/51

Тюрін Віталій Вікторович (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0003-0476-7471>

Барабаш Олег Володимирович (доктор технічних наук, професор)

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

Горобець Юрій Олексійович (кандидат військових наук, доцент)

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

Білявський Богдан Анатолійович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0009-0006-9036-7229>

Національний університет оборони України, Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІНОМІВ БЕРШТЕЙНА ПРИ НАБЛИЖЕННІ РОЗВ'ЯЗКІВ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ В МОДЕЛЯХ ДИНАМІКИ ПАРАМЕТРІВ ТРАЄКТОРІЙ ЛІТАКІВ ПІД ВПЛИВОМ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Математичними моделями багатьох реальних динамічних задач фізики, механіки, інженерії, авіації зручно представити за допомогою диференціальних рівнянь та їх системи. В силу цього зростає й актуальність досліджень щодо їх розв'язання. Однією з головних проблем при розв'язанні диференціальних рівнянь та їх систем є складність отримання точного розв'язку. Часто маємо ситуацію, коли неможливо отримати аналітичні розв'язки, та більше, немає методів їх конструктивної побудови. В результаті цього виникає необхідність в розробці підходів, які б дозволяли отримати, принаймні, наближення для розв'язків.

Задача побудови наближення розв'язків задачі Коші для диференціальних рівнянь є досить важливою сферою досліджень, до якої існує постійний інтерес. Зокрема, останнім часом активно використовуються методи скінченних різниць та триангуляції. Перший полягає в заміні похідних на скінченні різниці відповідних порядків та подальшого зведення досліджуваного диференціального рівняння до системи рівнянь відносно значень функції-розв'язку при певних значеннях аргументів. Подібний принцип покладений, наприклад, і в методах типу методу Ейлера. Метод триангуляції є більш складним, але більш якісним методом наближення. Однак, ці методи не дозволяють знайти наближений розв'язок поставленої задачі у вигляді явно заданої функції. Це може виявитись неабиякою проблемою через неможливість якісно оцінити особливості функціональної залежності, яка визначена математичною формалізацією реального фізичного процесу, описаної диференціальним рівнянням. Водночас, результат використання вище згаданих методів дозволяє отримати певне наближення у вигляді функції, що в подальшому можна досліджувати засобами теорії наближень, інтерполяції, регресійних моделей, нейронних мереж, тощо.

Ключові слова: *крайові задачі, диференціальні рівняння, наближені розв'язки, тригонометричні поліноми, поліноми Бернштейна.*

Вступ

Лінійні неоднорідні диференціальні рівняння є зручними моделями для опису зміни в часі таких параметрів, як швидкість, висота, кут нахилу, курс польоту авіаційного судна тощо [1, 2]. Задача Коші для лінійних неоднорідних диференціальних рівняння дає можливість знайти єдине рішення з заданими початковими умовами, що відповідає реальному сценарію польоту. Знаючи динаміку польоту, можна передбачити, як літак буде рухатися в майбутньому. Це важливо для планування маршрутів, маневрів, а також для забезпечення безпеки польоту. Задачі Коші для відповідної системи диференціальних [3, 4] дозволяє дослідити вплив різних параметрів (приміром, тяги, підйомної сили, ваги) на динаміку польоту, дає можливість знайти оптимальні

режими роботи двигунів, траєкторії польоту тощо, що може призвести до економії палива, зниження викидів та підвищення безпеки.

Попри бурхливий розвиток теорії диференціальних рівнянь часто постає проблема складності розв'язання диференціального рівняння з накладеними на нього обмеженнями [4]. У зв'язку з цим були розроблені методи наближеного пошуку диференціальних рівнянь з накладеними умовами [5], які б дозволяли наближено обчислити значення шуканої функції. Однак, часто при вирішенні такої задачі виникає необхідність знайти досить точне наближення шуканої функції [4], а не її певного роду оцінку [6]. Тому постає необхідність в розробці нових підходів до вирішення даної задачі.

Одним із найпоширеніших способів

наближення розв'язків диференціальних рівнянь є використання степеневих рядів [4]. Однак, даний підхід є досить трудомістким і вимагає багато складних математичних перетворень. Тому більш доцільним в цьому плані є використання чисельних методів [7], як от метод скінченних різниць, які дозволяють обчислити значення шуканого розв'язку при певних заданих значеннях аргументу чи аргументів. Але такий підхід не дозволяє побудувати наближення цього розв'язку у вигляді певної функції.

Дану проблему можна вирішити за допомогою, наприклад, інтерполяції [8-10]. На даний момент розроблені методи інтерполювання, які дозволяють отримувати досить непогане наближення необхідних функціональних залежностей. Однак, можна показати, що багато з цих методів буде вимагати велику кількість обчислень. Тому більш доцільним буде використання інших методів наближення функції при заданому наборі її значень як от лінійні фільтри [11], інтерполяційні аналоги різних операторів [12, 13] чи поліноми типу поліномів Бернштейна. Однак, якщо застосування тих же лінійних фільтрів чи інтерполяційних аналогів різних операторів типу оператора Пуассона добре вивчені або активно досліджуються в наш час, то використанню поліномів Бернштейна присвячено дуже мало робіт. Тому в даній роботі розглядається їх застосування для наближення розв'язків крайових задач для лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку.

Метою статті є дослідження можливості застосування поліномів Бернштейна для наближення розв'язків крайових задач для лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь другого порядку:

$$y'' + p_1(x)y' + p_2(x)y = f(x), y(0) = \bar{y}, y(1) = \bar{y} \quad (1)$$

Також досліджуються особливості даного підходу.

Матеріали та методи

Методи дослідження в статті розглядається застосування поліномів Бернштейна до наближення розв'язків лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь з використанням методу скінченних різниць. Продемонстровано та пояснено збіжність такого наближення до реального розв'язку вихідної задачі. Отримані результати підтверджуються візуалізацією результатів.

Результати

Для початку означимо поліноми Бернштейна. Під поліномами Бернштейна [5] розуміють поліноми виду

$$B_n(f; x) = B_n(x) = \sum_{k=1}^n f\left(\frac{k}{n}\right) \binom{n}{k} x^k (1-x)^{n-k}, x \in [0, 1], \quad (2)$$

або, в нашому випадку,

$$B_n(f; x) = B_n(x) = \sum_{k=0}^n y_k \binom{n}{k} x^k (1-x)^{n-k}, x \in [0, 1]. \quad (3)$$

На даному етапі логічним постає питання про те, як знайти значення розв'язку $y\left(\frac{k}{n}\right) = y_k$.

Це досить легко можна зробити за допомогою так званого методу скінченних різниць. Підставивши отримані значення в (3), ми отримаємо степеневий поліном, який буде наближати розв'язок поставленої крайової задачі (1).

Продемонструємо даний принцип наближення на конкретному прикладі. Нехай необхідно наблизити розв'язок диференціального рівняння

$$y'' - \frac{1}{x^2 + 1} y' + \frac{\sin x}{x^4 + 1} y = e^x, y(0) = 0, y(1) = 2. \quad (4)$$

Знайшовши відповідно до методу скінченних різниць y_k при різних значеннях n та підставивши їх в (3), наближений розв'язок крайової задачі (4) матиме вигляд (рис. 1).

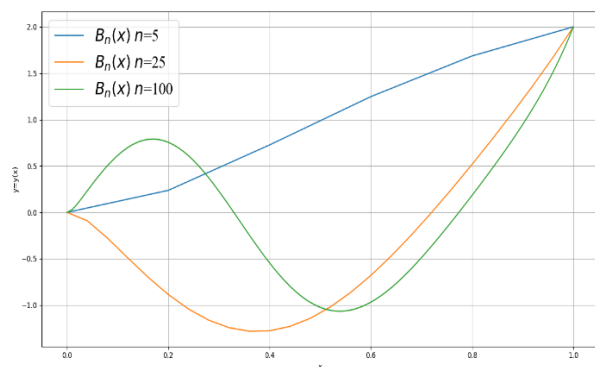


Рисунок 1. Наближення розв'язку задачі (4) поліномами Бернштейна при різних значеннях параметра n

Як бачимо результат наближення досить відрізняється. Однак, в силу рівномірності поліномів Бернштейна [5] є сенс взяти розглянути випадок, коли даний параметр є досить великим. Тоді ми отримаємо наступний результат (рис. 2)

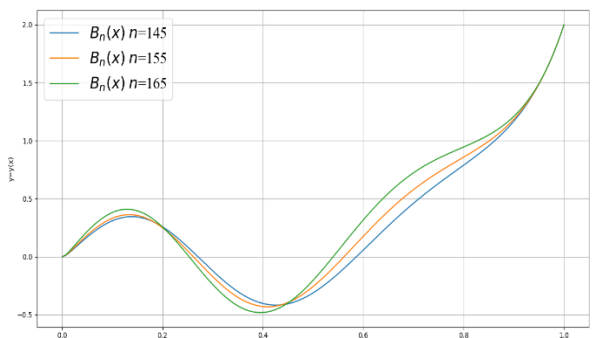


Рисунок 2. Наближення розв'язку задачі (4) за допомогою поліномів Бернштейна при великих значеннях n

Як бачимо, при великих значеннях n можна цілком адекватно оцінювати поведінку розв'язку задачі (4).

Для наочності продемонструємо наближення розв'язку наступної задачі

$$y'' + 3xy = \sin x, y(0) = 0, y(1) = 1. \quad (5)$$

Неважно показати, що аналітичним розв'язком буде функція

$$y = \frac{\left(\frac{3}{2} + \sin 1\right)x - \sin x}{0.5x^3 + 1}.$$

Однак, цікавим є наближення даного розв'язку, яке дасть застосування поліномів Бернштейна (рис. 3).

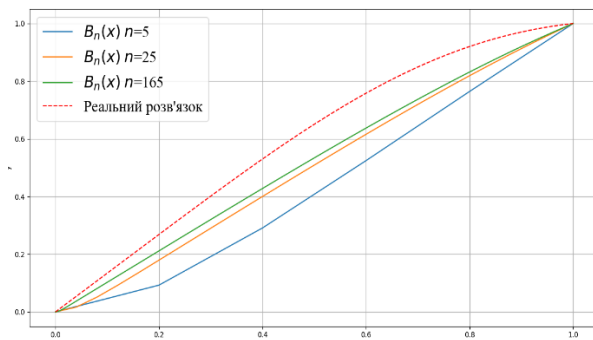


Рисунок 3. Порівняння реального розв'язку задачі (5) з наближенням, отриманим за допомогою поліномів Бернштейна

Обговорення

Результати проведеного дослідження вказують, що застосування поліномів Бернштейна, описане вище, дійсно непогано наближає розв'язки задачі (5), що говорить про можливість застосування описаного методу для наближення крайових задач (1).

Висновки

В даній роботі розглянуто метод наближення розв'язків задачі типу (1) за допомогою поєднання методу скінченних різниць та поліномів Бернштейна. Представлено специфіку наближення за допомогою такого підходу та на конкретному прикладі продемонстровано його адекватність. Показана якість наближення пов'язана з однієї сторони підвищенням точності значень u_k при збільшенні значення параметра n та рівномірній збіжності поліномів Бернштейна з другої [5]. Даний аспект робить застосування поліномів

Бернштейна чудовим методом наближення розв'язків задачі (1). Результати отримані в роботі будуть корисними для дослідників та інженерів-практиків, які мають справу із задачами для яких важливо виконання умови єдиності розв'язків лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь.

Список використаних джерел

1. Собчук В.В., Барабаш О. В., Мусієнко А.П. Основи забезпечення функціональної стійкості інформаційних систем підприємств в умовах впливу дестабілізуючих факторів: монографія. Київ: Міленіум, 2022. 272 с.
2. Миронюк М.Ю., Майстров О.О., Мусієнко А.П., Макаруч А.В. Аналіз побудови інтелектуальної інформаційної системи на основі поняття функціональної стійкості. Зв'язок, 2024, N 1. С. 3 -8.
3. Капустян О.В., Пічкур В.В., Собчук В.В. Теорія динамічних систем. Навч. посібн. Луцьк: Вежа-Друк, 2020. 348 с.
4. Перестюк М.О., Маринець В.В. Теорія рівнянь математичної фізики. Либідь, 2006. 424 с.
5. Гончаров В. Л. Теорія інтерполювання та наближення функцій. 2-ге вид. Держ. вид-во техн.-теорет. літ., 1954. 327 с.
6. Коллатс Л., Крабс В. Теорія наближень. Чебишевські наближення та їх застосування. Наука, 1978. 272 с.
7. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. 2nd ed. Dover Publications, Inc., 1986. 731 p.
8. Привалов А. А. Теорія інтерполювання функцій. Вид-во Саратов. ун-ту, 1990. Т. 2. 193 с.
9. Schafer R. W., Rabiner L. R. A digital signal processing approach to interpolation. Proceedings of the IEEE. 1973. Vol. 61, no. 6. P. 692-702.
10. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Kharkevych G. Application of Trigonometric Interpolation Polynomials to Signal Processing (2022) 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2022 - Proceedings, pp. 156 - 159.
11. Vaseghi S. V. Advanced digital signal processing and noise reduction. 3rd ed. Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 2006. 479 p.
12. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Salnikova S. Biharmonic equations integrals application features at signals restoration by means of interpolation polynomials (2021) 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2021 - Proceedings, pp. 84 - 87.
13. Oleg Barabash, Hennadii Mylnikov, Mykola Myroniuk, Vasyl Yasynetskyi, Andriy Makarchuk, Serhii Bazilo. Properties of Low-Frequency Filters of One-Dimensional Signals with Limited Energy Spectrum. 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA 2023), June 8-10, 2023, Istanbul, Turkiye. Pp. 614 - 618.

Vitalii Tiurin (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0003-0476-7471>

Oleh Barabash (Doctor of Technical Sciences, Professor)

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

Yurii Horobets (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

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

Bohdan Bilyavsky (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0009-0006-9036-7229>

The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

APPLICATION OF BERSTEIN POLYNOMIALS IN THE APPROXIMATION OF SOLUTIONS OF BOUNDARY-BORDER PROBLEMS IN MODELS OF THE DYNAMICS OF AIRCRAFT TRAJECTORY PARAMETERS UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL FACTORS

The problem of constructing approximations of solutions of the Cauchy problem for differential equations is a rather important area of research in which there is constant interest. In particular, finite difference and triangulation methods have been actively used recently. The first consists in replacing the derivatives with finite differences of the corresponding orders and further reducing the studied differential equation to a system of equations with respect to the values of the function-solution for certain values of the arguments. A similar principle is laid down, for example, in methods such as Euler's method. The triangulation method is a more complicated, but better approximation method. However, these methods do not allow finding an approximate solution to the given problem in the form of an explicitly given function. This may turn out to be quite a problem due to the impossibility of qualitatively assessing the features of functional dependence, which is determined by the mathematical formalization of a real physical process described by a differential equation. At the same time, the result of using the above-mentioned methods allows you to get a certain approximation in the form of a function, which can be further investigated by means of the theory of approximations, interpolation, regression models, neural networks, etc.

Keywords: *boundary value problems, differential equations, approximate solutions, trigonometric polynomials, Bernstein polynomials.*

References

1. Sobchuk V.V., Barabash O.V., Musienko A.P. Basics of ensuring the functional stability of information systems of enterprises under the influence of destabilizing factors: monograph. Kyiv: Millennium, 2022. 272 p.
2. Myronyuk M.Yu., Maistrov O.O., Musienko A.P., Makarchuk A.V. Analysis of the construction of an intelligent information system based on the concept of functional stability. Communication, 2024, N 1. P. 3-8.
3. Kapustyan O.V., Pichkur V.V., Sobchuk V.V. Theory of dynamic systems. Education manual Lutsk: Vezha-Druk, 2020. 348 p.
4. Perestyuk M.O., Marynets V.V. Theory of mathematical physics equations. Lybid, 2006. 424 p.
5. Goncharov V. L. Theory of interpolation and approximation of functions. 2nd edition Govt. type of technical theory lit., 1954. 327 p.
6. Kollats L., Krabs V. Theory of approximations. Chebyshev approximations and their application. Nauka, 1978. 272 p.
7. Hamming R. W. Numerical methods for scientists and engineers. 2nd ed. Dover Publications, Inc., 1986. 731 p.
8. A. A. Privalov, Theory of interpolation of functions. View of Sarat. University, 1990. T. 2. 193 p.
9. Schafer R. W., Rabiner L. R. A digital signal processing approach to interpolation. Proceedings of the IEEE. 1973. Vol. 61, no. 6. P. 692–702.
10. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Kharkevych G. Application of Trigonometric Interpolation Polynomials to Signal Processing (2022) 2022 IEEE 4th International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2022 - Proceedings, pp. 156 – 159.
11. Vaseghi S. V. Advanced digital signal processing and noise reduction. 3rd ed. Chichester : John Wiley & Sons Ltd., 2006. 479 p.
12. Makarchuk A., Kal'chuk I., Kharkevych Y., Salmikova S. Biharmonic equations integrals application features at signals restoration by means of interpolation polynomials (2021) 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory, ATIT 2021 - Proceedings, pp. 84 – 87.
13. Oleg Barabash, Hennadii Mylnikov, Mykola Myroniuk, Vasyl Yasynetskyi, Andriy Makarchuk, Serhii Bazilo. Properties of Low-Frequency Filters of One-Dimensional Signals with Limited Energy Spectrum. 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA 2023), June 8-10, 2023, Istanbul, Turkiye. Pp. 614 – 618.

DOI 10.33099/2786-7714-2024-1-6-141-152

УДК 004.896+623.746:004.275+004.032.26

¹Гусак Юрій Аркадійович (доктор військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-3423-2112>

²Василенко Ольга Анатоліївна

<https://orcid.org/0000-0003-2633-0131>

¹Національний університет оборони України, Київ, Україна

²Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ УДАРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У роботі показано, що для розв'язання задач кластеризації та класифікації ударних безпілотних літальних апаратів можуть бути застосовані методи штучного інтелекту, а саме нейронні мережі. Результати аналізу залежності точності кластеризації від кількості нейронів у прихованому шарі показали, що нейронна мережа кластеризації ударних безпілотних літальних апаратів NN SOM FPV UAVs має найкращу точність при 18 нейронах у прихованому шарі. Кластеризація ударних безпілотних літальних апаратів продемонструвала, що їх можна поділити на 4 кластери. При цьому за кількістю БпЛА у кожному кластері їх можна згрупувати у 3 класи.

Навчання CNN FPV UAVs здійснювалось за допомогою алгоритму Левенберга-Марквардта. За результатами навчання нейронну мережу класифікації ударних безпілотних літальних апаратів було навчено з точністю 99,2%, перевірено і протестовано з точностями – 98,1%, а загальна точність нейронної мережі класифікації ударних безпілотних літальних апаратів становила 98,9%. Результати аналізу гістограми похибок між цільовими значеннями та прогнозованими значеннями після навчання нейронної мережі класифікації безпілотних літальних апаратів свідчать про те, що значення похибки становить 0,03868. Оскільки похибки близькі до нуля, то навчена нейронна мережа здійснює класифікацію ударних безпілотних літальних апаратів добре. Перевірка роботи CNN FPV UAVs на довільному наборі ударних безпілотних літальних апаратів показала 100% збіг класів фактичних ударних безпілотних літальних апаратів та даних, які отримано з використанням CNN FPV UAVs.

Напрямом подальшого дослідження може бути створення нейронних мереж для кластеризації та класифікації об'єктів групових цілей, а також для розв'язання задачі розподілу неоднорідного рою ударних безпілотних літальних апаратів по об'єктах нестационарної неоднорідної групової цілі.

Ключові слова: ударні безпілотні літальні апарати, рій, нейронна мережа, кластеризація БпЛА, класифікація БпЛА, російсько-українська війна.

Вступ

Досвід ведення бойових дій Збройними Силами України, особливо у 2022–2024 роках, є унікальним. Під час російсько-української війни відбуваються зміни стратегії, форм та способів застосування військ. Однією з причин цього є розвиток озброєння та військової техніки, а особливо безпілотних систем, застосування яких стало масовим та дозволяє виконувати завдання широкого спектра, що постійно зростає.

На цей час застосування безпілотних систем є дієвим засобом ураження, який сприятиме переходу від позиційної оборони до маневрених дій. Крім того, на тактичному рівні актуальним є ураження нестационарних групових цілей противника як на передньому краї, так і в глибині, завдання противнику масованих раптових ударів по об'єктах його критичної інфраструктури, важливих комунікаціях без застосування дорогих в експлуатації та виробництві безпілотних літальних апаратів (БпЛА).

Збільшення спроможностей безпілотних систем завдяки застосуванню роїв ударних БпЛА суттєво вплине на перебіг бойових дій.

Можуть застосовуватися як однорідні за типами ударних БпЛА рої, так і неоднорідні.

Оскільки групова ціль майже завжди складається з неоднорідних об'єктів, то для знищення такої цілі має бути застосовано неоднорідний рій ударних БпЛА. Переваги застосування неоднорідного рою ударних БпЛА: можливість встановлення на окремі БпЛА бойового навантаження різного типу; охоплення більшої площі ураження цілей; спроможність виконувати завдання у разі виходу з ладу декількох БпЛА з рою; можливість здійснення координованих атак одночасно з різних напрямків; можливість ведення розподіленої розвідки або атаки, та навпаки – завдання сфокусованих точкових ударів, аналогічних ударам із високоточної зброї; застосування роїв для ведення радіоелектронної боротьби в широкому діапазоні частот тощо.

Для ураження нестационарної неоднорідної групової цілі неоднорідним роєм ударних БпЛА з максимальною ефективністю необхідно розв'язати оптимізаційну задачу розподілу неоднорідних ударних БпЛА по об'єктах нестационарної

неоднорідної групової цілі.

Для розв'язання зазначеної оптимізаційної задачі необхідно здійснити кластеризацію і класифікацію як ударних БПЛА, так і об'єктів групових цілей, а потім призначити кожному об'єкту того чи іншого класу групової цілі ударний БПЛА або декілька ударних БПЛА відповідного класу.

Одним із перспективних напрямів розв'язання задач кластеризації та класифікації є застосування методів та алгоритмів штучного інтелекту, а саме нейронних мереж [5].

Матеріали та методи

Зважаючи на перспективність технологій штучного інтелекту [1–8], розвиток безпілотної авіації [9–16] та напрями розвитку Повітряних Сил Збройних Сил України [17], розроблення нейронних мереж для кластеризації та класифікації БПЛА з метою формування неоднорідних роїв ударних БПЛА в умовах ведення російсько-української війни є необхідністю. У роботі [18] розглядається задача кластеризації БПЛА як задача розрізу графа. У [19] запропоновано алгоритм кластеризації на основі залишкової енергії для зв'язку датчика з БПЛА та БПЛА в бездротовій сенсорній мережі (UWSN). Розмір кластера та кількість сенсорних вузлів у кластері визначаються на основі залишкової енергії сенсорних вузлів. Ефективність запропонованого алгоритму оцінюється за допомогою симулятора Matlab. У [20] висвітлено підхід, який є основою для застосування технологій великих даних і штучного інтелекту для підвищення обізнаності про ситуацію або комерційної цінності знань, отриманих із потоку даних від груп БПЛА. Запропоновано моделі оцінювання якості відеоданих з БПЛА, підходи до оснащення різномірних груп БПЛА та показники оцінювання їхніх тактико-технічних характеристик у групі за допомогою програмного середовища Matlab. У [21] використано нейронну мережу до розроблення системи, що здатна навчатися розпізнаванню типу БПЛА за результатами аналізу трафіка, який передається ним на наземну станцію керування. Автором зауважено, що здатність нейронної мережі (НМ) до узагальнення, за достатнього обсягу навчальної вибірки, дозволяє НМ екстраполювати свої знання про відомі види мережевих дій на невідомі види. При цьому вирішальну роль відіграє вибір адекватної архітектури НМ поставленим завданням.

Приклади застосування нейронних мереж в задачах розпізнавання образів наведено у праці [22].

У [23–30] розглянуто застосування різних типів нейронних мереж для розпізнавання та класифікації об'єктів.

Питанням кластеризації та класифікації БПЛА на основі нейронних мереж приділено недостатньо уваги.

Метою статті є розроблення нейронних мереж кластеризації та класифікації ударних БПЛА на

основі алгоритмів штучного інтелекту.

Результати

Завдання кластеризації та класифікації може бути вирішено із застосуванням методів та алгоритмів штучного інтелекту, а саме нейронних мереж.

Розглянемо процес створення, навчання та використання нейронних мереж для розв'язання задач кластеризації та класифікації ударних БПЛА.

1. Формування бази даних ударних БПЛА.

Результати аналізу різних джерел інформації показали, що нині є велика кількість ударних БПЛА, які відрізняються один від одного, наприклад, за такими тактико-технічними характеристиками, як тактичний радіус, маса бойової частини тощо.

У табл. 1 наведено тактико-технічні характеристики 89 ударних БПЛА, що надають країни-партнери, а також ударні БПЛА, які виробляють в Україні.

Ударні БПЛА, які представлено у табл. 1, можуть бути згруповані по класах.

Для визначення класів побудуємо діаграму розподілу ударних БПЛА по тактичному радіусу та масі бойової частини (рис. 1).

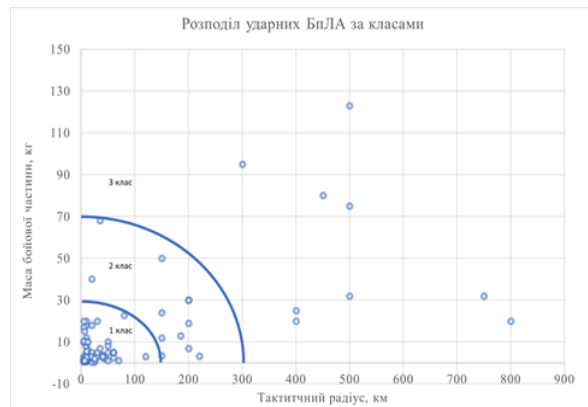


Рисунок 1. Розподіл ударних БПЛА за класами

Результати аналізу досвіду застосування ударних БПЛА починаючи з 2014 року та під час широкомасштабного вторгнення РФ в Україну свідчать про те, що за тактичним радіусом та масою бойової частини БПЛА орієнтовно можна поділити на три класи:

до 1-го класу належать ударні БПЛА, які мають тактичний радіус < 140 км, а масу бойової частини < 30 кг;

до 2-го класу – ті, що мають тактичний радіус в інтервалі від 140 до 300 км та масу бойової частини в інтервалі від 30 до 70 кг;

до 3-го класу – БПЛА, тактичний радіус яких – понад 300 км та маса бойової частини понад 70 кг.

Результати розподілу БПЛА внесено до табл. 1.

За результатами аналізу табл. 1 виявлено, що до 1-го класу належать 74 ударних БПЛА, до 2-го класу – 12 ударних БПЛА і до 3-го класу – 3 ударних БПЛА.

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики ударних БПЛА,
що надаються країнами-партнерами та власного виробництва

Назва БПЛА	Avenger 7	Bayraktar TB 2	Bayraktar mini	Mugin-5 PRO	PrimocoUA V One 150	Punisher	Switchblad e 300	Switchblad e 600	Phoenix Ghost	ALTUS-600	PHOLOS II	PPDS	Капа	Falcon Avenger	Luna NG	Warmate
№ п/п	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
Тактичний радіус, км	3,8	300	20	400	200	45	10	80	40	220	20	60	10	10	150	10
Маса бойової частини, кг	0,5	95	5	25	30	2	5	22,7	3,6	3,17	1	5	2,7	0,79	24	0,8
Клас	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
Назва БПЛА	Autel EVO II Dual Rugged Bundle V2	Скажений кабан	DefendTex D40	Banshee Jet 80	DJI Mavic 3 Enterprise	ST-35 Грім	RAM II UAS	Мисливець	Пілум	ТУ-141 Стриж	UJ-22 Airborne	Кобра	SkyNetUa	Revenge	Лютий	AQV-150 Scalpel Heavy
№ п/п	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.	32.
Тактичний радіус, км	25	10	20	200	6	40	30	30	50	500	800	150	150	7	500	10
Маса бойової частини, кг	0,5	1	0,3	7	0,7	3,5	3	5	5	123	20	12	3,5	0,72	32	2,5
Клас	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	1	1	1	3	1
Назва БПЛА	Перас	Хрущ	Мольфар	KH-S7	FPV-60	FPV-500	Sticker	Чаклун-К	Спис	Відсіч	Стен-2	Гекса	R-18	Лазар	Кажан Е620	Кажан Е630
№ п/п	33.	34.	35.	36.	37.	38.	39.	40.	41.	42.	43.	44.	45.	46.	47.	48.
Тактичний радіус, км	10	20	10	7	60	500	40	10	60	40	5	10	5	10	10	30
Маса бойової частини, кг	1	2,7	1	1	2,5	75	2,5	1,2	5	3	10	18	17	5	12	20
Клас	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Назва БПЛА	Великий Бандерик	Surpriser	Гетьман Сірко	NEMESIS ВМН	DORA	SkyKnight 2	ВЕРБА	Оса	Shrike	Lucky Strike	VIV	Джміль-4.5.0	PEREMOHA	Колібри	Saker Scout	Thor
№ п/п	49.	50.	51.	52.	53.	54.	55.	56.	57.	58.	59.	60.	61.	62.	63.	64.
Тактичний радіус, км	8	10	5	7	12	8	5	8	7	4	18	5	8	6	10	35
Маса бойової частини, кг	8	20	20	10	10	2,5	3	3,3	10	1,6	3	1	1,5	1	3	7
Клас	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Назва БПЛА	Backfire	AQ 400 Scythe	DJI Matrix 300 RTK	PD-2	АН-БК-1 Горлиця	Revolver 860	Jump 20	Malloy Aeronautics T150	Bivoj	Primoco UAV One 150	Гегнадальф-К	Vampire	Magura UA	Black Widow	HEAVY SHOT	D-80 Discovery
№ п/п	65.	66.	67.	68.	69.	70.	71.	72.	73.	74.	75.	76.	77.	78.	79.	80.
Тактичний радіус, км	10	750	50	200	150	20	185	35	60	200	25	6	11	12	20	450
Маса бойової частини, кг	5,5	32	1	19	50	18	13	68	5	30	3	15	6,8	10	40	80
Клас	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Назва БПЛА	Suraq Corvo PPDS	E-300 Enterprise	Hawk	UJ-26 Бобер	NEM-600 (Nemesis)	Довбуш Т-20	Котигорошко	Інквізітор	Ельф	-	-	-	-	-	-	-
№ п/п	81.	82.	83.	84.	85.	86.	87.	88.	89.	90.	91.	92.	93.	94.	95.	96.
Тактичний радіус, км	120	450	25	400	50	25	6	50	70	-	-	-	-	-	-	-
Маса бойової частини, кг	3	300	1	20	10	2	1	8	1	-	-	-	-	-	-	-
Клас	1	2	1	2	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-

2. Вибір архітектури нейронної мережі кластеризації ударних БпЛА.

Для того, щоб здійснити розподіл БпЛА за класами, застосуємо процедуру кластеризації.

У цій задачі кластеризації нейронна мережа буде групувати дані за подібністю – масою бойової частини та тактичним радіусом ударних БпЛА.

Для кластеризації ударних БпЛА за допомогою нейронної мережі необхідно створити і навчити мережу, а також оцінити її ефективність за допомогою різноманітних інструментів візуалізації (додаток Clustering у пакеті прикладних програм MATLAB).

Для кластеризації ударних БпЛА виберемо нейронну мережу типу SELFORGMAP (самоорганізуючі карти), яка складається з шару нейронів, що може класифікувати набір даних векторів з будь-якою розмірністю на стільки класів, скільки нейронів має шар.

Нейрони розташовані у двовимірній топології, що дозволяє шару формувати представлення розподілу та двовимірну апроксимацію топології набору даних.

Навчання мережі проведемо за допомогою пакетного алгоритму self-organizing map, SOM (trainbu, learnsomb).

Самоорганізуючі карти навчаються кластеризувати дані на основі подібності, топології, з перевагою призначення однакової кількості екземплярів кожному класу.

Вхідними даними є матриця 2x89 зі статичними даними.

Обрана кількість нейронів у самоорганізованій двошаровій карті – 4.

Кожен шар має вагову матрицю \vec{W} , вектор зміщення \vec{b} і вихідний вектор \vec{y} .

Отже, нейронна мережа з двома входами та 4 виходами здійснює поділ на класи.

Кількість ітерацій – 200.

Архітектуру нейронної мережі наведено на рис. 2.

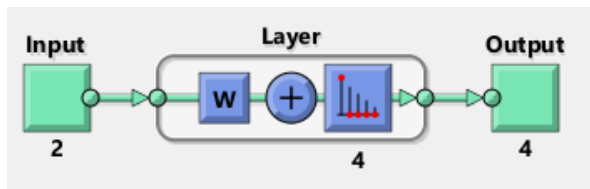


Рисунок 2. Архітектура нейронної мережі кластеризації ударних БпЛА (NN SOM FPV UAVs)

3. Кластеризація ударних БпЛА.

Результати аналізу даних щодо ударних БпЛА (табл. 1) за допомогою нейронної мережі SELFORGMAP ударних БпЛА (NN SOM FPV UAVs) продемонстровано на рис. 3 та рис. 4.

На рис. 3 зображено розподіл ударних БпЛА за масою бойової частини та тактичним радіусом.

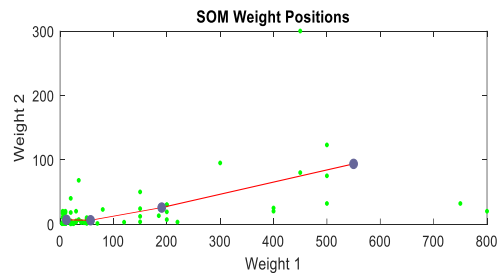


Рисунок 3. Графік розподілу ударних БпЛА за масою бойової частини та тактичним радіусом

На рис. 4 показано, як на самоорганізованій карті організуються зв'язки між сусідніми нейронами. За допомогою функції plotsomnc(net) будемо шар самоорганізованої карти (SOM), де блакитним кольором показані нейрони та зв'язки між ними (червоні лінії). NN SOM FPV UAVs підтримує топологію hextop, яка створює набір нейронів у вигляді гексагонального шаблону (тобто нейрони розташовуються у гексагональному порядку).

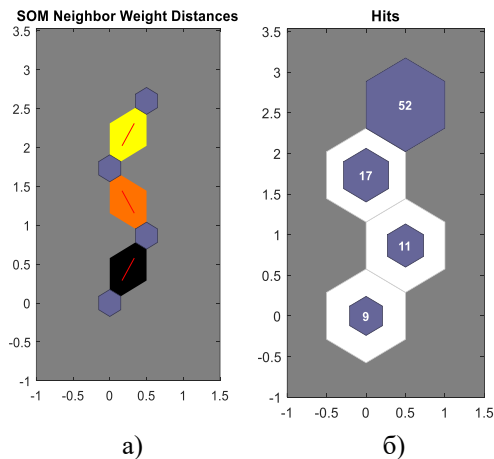


Рисунок 4. Діаграми розподілу ударних БпЛА: а) за кластерами та б) за кількістю БпЛА

На рис. 4 видно, що ударні БпЛА більше групуються у кластері жовтого кольору, що відповідає 1-му класу, менше згруповані у кластері помаранчевого кольору, що відповідає 2-му класу, а інші згруповані у кластері чорного кольору, що відповідає 3-му класу.

Таким чином, до 1-го класу належать 69 БпЛА, до 2-го – 11 БпЛА та 3-го – 9 БпЛА.

У подальшому це дозволить використовувати створену нейронну мережу кластеризації ударних БпЛА (NN SOM FPV UAVs) для їхнього розподілу на класи.

4. Вибір архітектури нейронної мережі для класифікації ударних БпЛА.

У пакеті прикладних програм MATLAB було розроблено нейронну мережу класифікації ударних БпЛА за їхніми тактико-технічними характеристиками.

Підготовка даних. Дані для задачі класифікації ударних БпЛА налаштовуються для нейронної

мережі завдяки організації даних у дві матриці: вхідну матрицю $X(p)$ і цільову матрицю $T(y)$.

Для проведення дослідження було використано табл. 1, яка містить тактико-технічні характеристики, а саме: тактичний радіус та масу бойової частини, 89 ударних БпЛА та дані щодо їхнього розподілу за класами.

Для більшої навченості нейронної мережі класифікації ударних БпЛА було створено вибірку із 353 ударних БпЛА шляхом масштабування табл. 1.

Оскільки в табл. 1 наведено дві характеристики ударних БпЛА, то будуватимемо нейронну мережу з двома входами:

- 1-ий вхід – тактичний радіус ударного БпЛА;
- 2-ий вхід – маса бойової частини ударного БпЛА.

Крім того, оскільки ударні БпЛА будемо групувати по трьох класах, то нейронна мережа матиме 3 виходи.

Як відомо, двошарові нейронні мережі прямого зв'язку, які мають один прихований шар нейронів, можуть розв'язувати задачу класифікації за наявності достатньої кількості нейронів у прихованому шарі.

Тому класифікацію БпЛА за масою бойової частини та тактичним радіусом будемо здійснювати на основі двошарової мережі прямого зв'язку із сигмовидною функцією активації нейронів у прихованому шарі та лінійними зв'язками між нейронами у вихідному шарі.

Для вибору кількості нейронів у прихованому шарі було вивчено залежність навченості нейронної мережі від кількості нейронів (рис. 5).

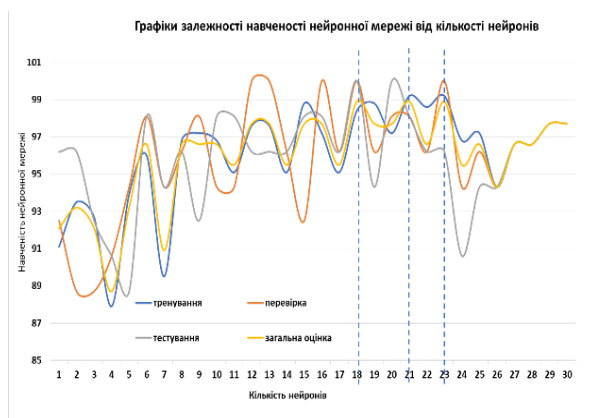


Рисунок 5. Графіки залежності навченості нейронної мережі класифікації ударних БпЛА від кількості нейронів

У результаті аналізу графіків з'ясувалось, що найбільшою загальною навченістю нейронної мережі (жовта лінія) є тоді, коли прихований шар має 18, 21 та 23 нейрони. Тому з метою зменшення складності обчислень для прихованого шару виберемо 18 нейронів.

Зв'язок між нейронами (у нашому випадку їх 18) у прихованому шарі здійснюється за допомогою функції tansig , у вихідному шарі – з використанням функції lin . Сигмоподібні вихідні

нейрони використовуються для вирішення проблем розпізнавання образів, а лінійні вихідні нейрони – для налаштування функцій [31].

Така мережа прямого зв'язку має один або декілька прихованих шарів (у конкретному випадку – два шари) сигмоподібних нейронів, за якими йде вихідний шар лінійних нейронів.

Як відомо, рівняння нейрона зі зміщенням має вигляд:

$$\vec{y} = f(W\vec{p} + \vec{b}), \quad (1)$$

де W – матриця вагових коефіцієнтів нейронної мережі;

$\vec{b} = (b_i)$ – вектор зміщення, що містить налаштовувані параметри нейронів, які не є входом, $i = \overline{1, 10}$;

$\vec{p} = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix}$ – вхідний вектор-стовпець, який

містить тактико-технічні характеристики ударних БпЛА;

p_1 – тактичний радіус ударного БпЛА;

p_2 – маса бойової частини ударного БпЛА.

$\vec{y} = (y_1, y_2, y_3)$ – вектор виходу нейронної мережі;

y_i – i -ий клас ударного БпЛА.

У загальному випадку, елемент вхідного вектора \vec{p} з'єднаний з кожним входом нейрона через вагову матрицю W .

Нейронна мережа для класифікації ударних БпЛА має два шари нейронів: прихований та вихідний (рис. 6).

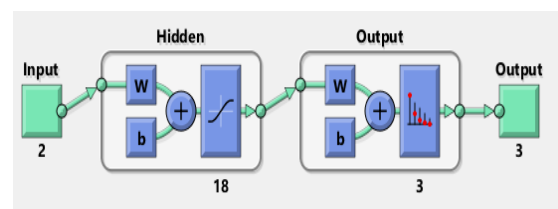


Рисунок 6. Архітектура нейронної мережі класифікації ударних БпЛА

Для першого, прихованого, шару нейронів можна записати таке рівняння:

$$\vec{y}^{(1)} = f_1(W^{(1)}\vec{p} + \vec{b}^{(1)}), \quad (2)$$

де $W^{(1)}$ – матриця вагових коефіцієнтів прихованого шару нейронної мережі;

$\vec{b}^{(1)}$ – вектор зміщення, який містить налаштовувані параметри нейронів прихованого шару;

\vec{p} – вхідний вектор, який містить тактико-технічні характеристики ударних БпЛА;

$\vec{y}^{(1)}$ – вектор виходу прихованого шару нейронної мережі.

Для другого вихідного шару нейронів можна записати таке рівняння:

$$\vec{y} = f_2(W^{(2)}\vec{y}^{(1)} + \vec{b}^{(2)}), \quad (3)$$

де $W^{(2)}$ – матриця вагових коефіцієнтів прихованого шару нейронної мережі;

$\vec{b}^{(2)}$ – вектор зміщення, який містить налаштовувані параметри нейронів прихованого шару;

\vec{y} – вектор виходу нейронної мережі.

Якщо підставити (2) у рівняння (3), то отримаємо:

$$\vec{y} = f_2[W^{(2)}f_1(W^{(1)}\vec{p} + \vec{b}^{(1)}) + \vec{b}^{(2)}]. \quad (4)$$

Оскільки функцією активації для прихованого шару є функція $f_1 = \text{tansig}$, а для вихідного шару – $f_2 = \text{lin}$, то можна переписати рівняння (4) таким чином:

$$\vec{y} = \text{lin}[W^{(2)} \tan \text{sig}(W^{(1)}\vec{p} + \vec{b}^{(1)}) + \vec{b}^{(2)}]. \quad (5)$$

Розподілимо базу даних ударних БпЛА на набори для навчання, перевірки та тестування.

Навчальний набір використовується для навчання нейронної мережі. Навчання триває до того часу, поки мережа продовжує покращувати набір перевірки.

Навчання нейронної мережі можна розглядати як розв'язання оптимізаційної задачі. Її метою є мінімізація функції похибок на цій вибірці шляхом вибору значень ваг W . Через нелінійність функції активації отримана поверхня в загальному випадку буде дуже складною, з мінімумами та сідловими точками тощо.

Тестовий набір забезпечує абсолютно незалежне оцінювання точності класифікації нейронною мережею ударних БпЛА.

Отже, формуємо дані, створюємо та навчаємо нейронну мережу, а також оцінюємо її продуктивність за допомогою середньоквадратичної похибки та регресійного аналізу.

Із 353 зразків БпЛА, 247 (70%) – навчання; 53 (15%) – перевірка; 53 (15%) – тестування (рис. 7).

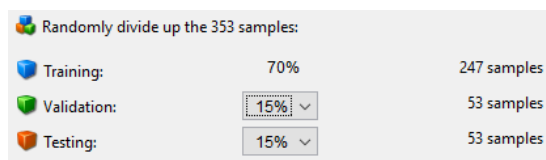


Рисунок 7. Розподіл бази даних ударних БпЛА

Навчання нейронної мережі здійснювалось за допомогою алгоритму Левенберга-Марквардта [31].

Основне застосування алгоритму Левенберга-Марквардта полягає в задачі допасовування кривої методом найменших квадратів: для заданого набору m емпіричних пар (x_i, y_i) незалежних і залежних змінних знайти параметри β модельної кривої $f(x, \beta)$ так, щоб сума квадратів відхилень було зведено до мінімуму:

$$\hat{\beta} \in \arg \min_{\beta} S(\beta) \equiv \arg \min_{\beta} \sum_{i=1}^m [y_i - f(x_i, \beta)]^2. \quad (6)$$

Алгоритм Левенберга-Марквардта є ітераційною процедурою. Щоб почати мінімізацію, необхідно надати початкове припущення для вектора параметрів β .

Алгоритм Левенберга-Марквардта призначений для оптимізації параметрів нелінійних регресійних моделей.

Критерієм оптимізації є середньоквадратична похибка моделі на навчальній вибірці.

Алгоритм полягає в послідовному наближенні заданих початкових значень параметрів до шуканого локального оптимуму.

Алгоритм відрізняється від методу спряжених градієнтів тим, що використовує матрицю Якобі моделі, а не градієнт вектора параметрів.

Від алгоритму Гаусса-Ньютона цей алгоритм відрізняється тим, що використовує параметр регуляризації.

Постановка задачі. Задано регресійну множину пар $D = \{(x_n, y_n)\}_{n=1}^N$ вільної змінної

$x \in R^N$ та залежної змінної $y \in R^N$. Задано регресійну модель – функцію $f(\omega, x_n)$, яка безперервно диференціюється в області $W \times X$.

Потрібно знайти таке значення вектора параметрів ω , яке б доставляло локальний мінімум функції похибки:

$$E_D = \sum_{n=1}^N (y_n - f(\omega, x_n))^2. \quad (7)$$

Опис алгоритму. Перед початком роботи алгоритму задається початковий вектор параметрів $\vec{\omega}$. На кожному кроці ітерації цей вектор замінюється на вектор $\vec{\omega} + \Delta \vec{\omega}$. Для оцінювання приросту $\Delta \vec{\omega}$ використовується лінійне наближення функції:

$$f(\vec{\omega} + \Delta \vec{\omega}, x) - f(\vec{\omega}, x) \approx J \Delta \vec{\omega},$$

де J – якобіан функції $f(\omega, x_n)$ у точці ω .

$(N \times R)$ – матрицю J можна представити у вигляді:

мережі класифікації ударних БПЛА становить 98,9%.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x(\omega, x_1)}{\partial \omega} & \dots & \frac{\partial x(\omega, x_1)}{\partial \omega_R} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial x(\omega, x_N)}{\partial \omega_1} & \dots & \frac{\partial x(\omega, x_N)}{\partial \omega_R} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Тут вектор параметрів $\omega = [\omega_1, \dots, \omega_R]^T$.

Приріст $\Delta\omega$ у точці ω , що доставляє мінімум E_D , дорівнює нулю. Для знаходження наступного значення приросту $\Delta\omega$ прирівняємо до нуля $\partial E_D / \partial \omega$ (вектор часткових похідних E_D по ω). Для цього (7) представимо у вигляді:

$$E_D = |y - f(\omega + \Delta\omega)|^2, \quad (9)$$

де $y = [y_1, \dots, y_R]^T$;

$$f(\omega + \Delta\omega) = [f(\omega + \Delta\omega, x_1), \dots, f(\omega + \Delta\omega, x_N)]^T.$$

Перетворюючи вираз (2)

$$\begin{aligned} |y - f(\omega + \Delta\omega)|^2 &= (y - f(\omega + \Delta\omega))^T (y - f(\omega + \Delta\omega)) = \\ &= f^T(\omega + \Delta\omega) f(\omega + \Delta\omega) - 2y^T f(\omega + \Delta\omega) + y^T y \end{aligned}$$

і диференціюючи його, отримаємо:

$$\frac{\partial E_D}{\partial \omega} = (J^T J) \Delta\omega - J^T (y - f(\omega)) = 0. \quad (10)$$

Таким чином, щоб знайти значення $\Delta\omega$ потрібно розв'язати систему лінійних рівнянь:

$$\Delta\omega = (J^T J)^{-1} J^T (y - f(\omega)). \quad (11)$$

Марквардт увів параметр регуляризації $\lambda \geq 0$,

$$\Delta\omega = (J^T J + \lambda I)^{-1} J^T (y - f(\omega)), \quad (12)$$

де I – одинична матриця.

Цей параметр призначається на кожній ітерації алгоритму.

Якщо значення похибки E_D зменшується швидко, мале значення λ зводить цей алгоритм до алгоритму Гаусса-Ньютона.

Алгоритм зупиняється в тому випадку, якщо приріст $\Delta\omega$ у подальшій ітерації менший за задане значення, або якщо параметри ω становлять похибку E_D , що є меншою за задану величину.

Значення вектора $\bar{\omega}$ на останній ітерації вважається шуканим.

На рис. 8 видно, що нейронна мережа класифікації ударних БПЛА була навчена з точністю 99,2%, перевірена і протестована з точностями – 98,1%, а загальна точність нейронної



Рисунок 8. Матриці похибок під час навчання, перевірки і тестування нейронної мережі класифікації ударних БПЛА

Результати навчання мережі наведено на рис. 9-10.

На рис. 9 представлено матрицю похибок.

Матриця похибок показує відсоток правильних і неправильних класифікацій. Правильною класифікацією є зелені квадрати на діагоналі матриць. Неправильні класифікації утворюють червоні квадрати. Якщо нейронна мережа навчилася правильно класифікувати, відсотки в червоних квадратах мають бути дуже малими, що вказує на незначну кількість неправильних класифікацій [31].

Якщо це не так, то доцільним буде подальше навчання або навчання мережі з більшою кількістю нейронів у прихованому шарі нейронів.

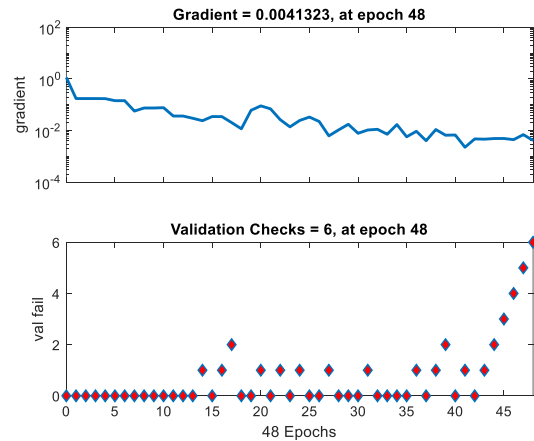


Рисунок 9. Перевірка дійсності градієнтів або якобіанів

Під час розв'язання задачі оптимізації виконують обчислення перших похідних цільових і нелінійних функцій обмежень, а за допомогою функції `checkGradients` здійснюється перевірка запрограмованих похідних. Крім того, здійснюється перевірка, чи правильно обчислюється градієнт поблизу випадкової початкової точки [31]–[33].

На рис. 9 показано результати оцінювання градієнта цільової функції та якобіанів.

На рис. 10 наведено гістограму похибок між цільовими значеннями та прогнозованими значеннями після навчання нейронної мережі класифікації БПЛА.

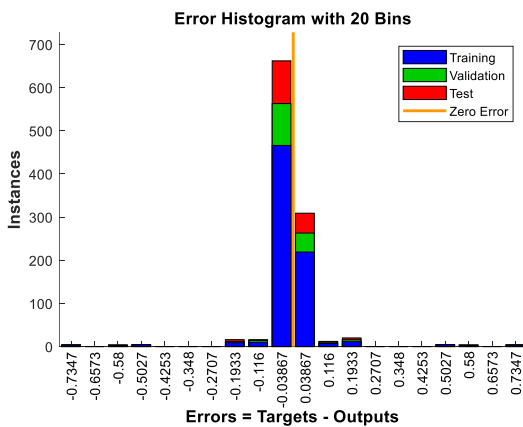


Рисунок 10. Гістограма похибок

Значення похибки 0,03868 вказує на найкращу продуктивність мережі. Оскільки похибки близькі до нуля, то нейронна мережа класифікації ударних БПЛА моделює добре.

На рис. 11 чотири графіки представляють дані навчання, перевірки та тестування нейронної мережі класифікації ударних БПЛА.

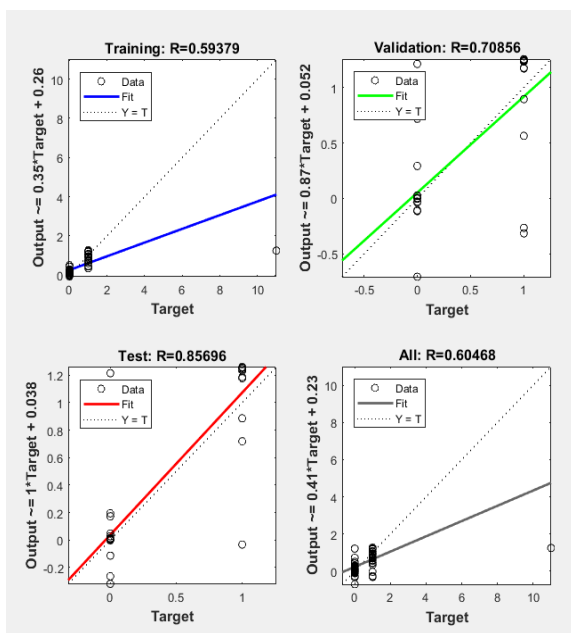


Рисунок 11. Дані навчання, перевірки та тестування нейронної мережі класифікації БПЛА

Пунктирна лінія на кожній діаграмі представляє оптимальний результат.

Суцільна лінія – лінія лінійної регресії, яка найкраще підходить між результатами та цільовими показниками.

Значення R є показником зв'язку між результатами та цілями. Якщо $R = 1$, це означає, що є точний лінійний зв'язок між результатами та цільовими показниками. Якщо R близьке до нуля, тоді немає лінійної залежності між виходами та цільовими показниками.

Проаналізувавши графіки на рис. 11, з'ясуємо, що вони мають значення, ближчі до $R=1$.

Графік зміни значення цільової функції за епохами – циклами навчання наведено на рис. 12.

Серед параметрів навчання задано:

`goal` – максимально припустиме значення цільової функції;

`epochs` – максимальна припустима кількість циклів навчання мережі;

`show` – крок виведення на екран інформації про навчання мережі, задається у циклах навчання.

Графік вказує ітерацію, на якій ефективність перевірки досягла мінімуму [32]– [33].

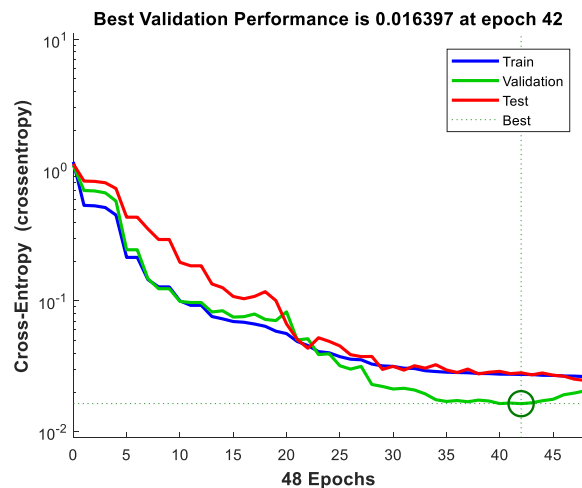


Рисунок 12. Графік зміни значення цільової функції у процесі навчання

На рис. 12 видно, що на 42-ій ітерації досягнуто локального мінімуму цільової функції.

Таким чином, згортовка нейронна мережа класифікації ударних БПЛА (CNN FPV UAVs) може бути застосована для класифікації ударних БПЛА з різними значеннями параметрів тактичного радіуса та маси бойової частини.

Для перевірки роботи CNN FPV UAVs було взято довільний набір ударних БПЛА з характеристиками, які наведено у табл. 2.

Результати роботи CNN FPV UAVs представлено в четвертому рядку табл. 2.

За результатами аналізу фактичних даних та даних, які отримано з використанням CNN FPV UAVs, показують 100% збіг класів ударних БПЛА.

Тактико-технічні характеристики довільного набору ударних БПЛА

№ п/п	Назва БПЛА	FPV-1	FPV-2	FPV-3	FPV-4	FPV-5	FPV-6	FPV-7	FPV-8	FPV-9	FPV-10
1	Тактичний радіус, км	3,8	300	20	200	45	150	400	500	500	500
2	Маса бойової частини, кг	0.5	95	5	30	2	24	25	123	32	75
3	Клас (фактичний)	1	2	1	2	1	2	2	3	3	3
4	Клас (нейронна мережа)	1	2	1	2	1	2	2	3	3	3
5	Збіг	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Обговорення

У роботі показано, що для розв'язання задач кластеризації та класифікації ударних БПЛА може бути застосовано нейронні мережі.

Процес створення та навчання нейронної мережі складається з таких етапів:

1. Формування бази даних.
2. Вибір архітектури нейронної мережі.
3. Навчання нейронної мережі.
4. Оцінювання результатів навчання.
5. Використання нейронної мережі.

Для розв'язання задачі кластеризації ударних БПЛА може бути обрано нейронну мережу типу SELFORGMAP (самоорганізуючі карти), яка складається з шару нейронів і може класифікувати набір даних векторів з будь-якою розмірністю на стільки класів, скільки нейронів має шар.

NN SOM FPV UAVs підтримує топологію hexтор, яка створює набір нейронів у вигляді гексагонального шаблону (тобто нейрони розташовуються у гексагональному порядку). При цьому у загальному випадку ми можемо застосувати різні топології для початкового розташування нейронів за допомогою функцій gridtor, hexтор та randtor.

Спираючись на результати аналізу залежності точності кластеризації від кількості нейронів у прихованому шарі, можна стверджувати, що NN SOM FPV UAVs має найкращу точність при 18 нейронах у прихованому шарі.

Кластеризація ударних БПЛА, які наведено у табл. 1, показала, що ці ударні БПЛА може бути поділено на 4 кластери. При цьому, за кількістю БПЛА у кожному кластері та з урахуванням діаграми на рис. 1, можна дійти висновку про те, що:

1-ий та 2-ий кластери може бути об'єднано в 1-ий клас ударних БПЛА;

3-ій кластер – у 2-ий клас ударних БПЛА;

4-ий клас – у 3-ій клас ударних БПЛА.

Отже, за довільним набором тактико-технічних характеристик ударних БПЛА, за допомогою NN SOM FPV UAVs можна їх класифікувати (віднести до 1-го, 2-го та 3-го класів).

Результати аналізу досвіду застосування ударних БПЛА починаючи з 2014 року та під час широкомасштабного вторгнення рф в Україну свідчать про те, що за тактичним радіусом та масою бойової частини БПЛА орієнтовно можна поділити на три класи:

до 1-го класу належать ударні БПЛА, які мають тактичний радіус < 140 км, а масу бойової частини < 30 кг;

до 2-го класу – ті, що мають тактичний радіус в інтервалі від 140 до 300 км та масу бойової частини в інтервалі від 30 до 70 кг;

до 3-го класу – БПЛА, тактичний радіус яких – понад 300 км та маса бойової частини понад 70 кг.

Для розв'язання задачі класифікації ударних БПЛА обрано CNN FPV UAVs.

Навчання CNN FPV UAVs здійснювалось за допомогою алгоритму Левенберга-Марквардта на наборі даних, який наведено у табл. 1. Критерієм оптимізації є середньоквадратична похибка моделі на навчальній вибірці. Алгоритм полягає в послідовному наближенні заданих початкових значень параметрів до шуканого локального оптимуму.

За результатами навчання нейронна мережа класифікації ударних БПЛА була навчена з точністю 99,2%, перевірена і протестована з точностями – 98,1%, а загальна точність нейронної мережі класифікації ударних БПЛА становила 98,9%.

При цьому результати аналізу гістограми похибок між цільовими значеннями та прогнозованими значеннями після навчання нейронної мережі класифікації ударних БПЛА свідчать про те, що значення похибки становить 0,03868. Оскільки похибки близькі до нуля, то навчена нейронна мережа здійснює класифікацію ударних БПЛА добре.

Перевірка роботи CNN FPV UAVs на довільному наборі ударних БПЛА (табл. 2) показала 100% збіг класів фактичних ударних БПЛА та даних, які отримані з використанням CNN FPV UAVs.

Висновки

Таким чином, для кластеризації та класифікації ударних БПЛА може бути застосовано NN SOM FPV UAVs та CNN FPV UAVs.

Напрямом подальшого дослідження може бути створення нейронних мереж для кластеризації та класифікації об'єктів групових цілей, а також для розв'язання задачі розподілу неоднорідного рою ударних БПЛА по об'єктах нестационарної неоднорідної групової цілі.

Ознайомлення з матеріалами, що подані у статті, може бути корисним для наукових та науково-педагогічних працівників у галузі

математичного моделювання складних систем воєнного призначення, а також для здобувачів вищої освіти (курсантів, студентів, слухачів та ад'юнктів), які вивчають зазначені питання.

Список використаних джерел

1. Погудіна О. К. та ін. Методологія формування інтелектуальної складової агентної системи рою безпілотних літальних апаратів. Моногр. Харків. НАУ ім. М. С. Жуковського "ХАГ". 2021. 219 с.
2. Аврунін О. Г., Владов С. І., Петченко М. В., Семенець В. В., Татарінов В. В., Тельнова Г. В., Філатов В. О., Шмельов Ю. М., Шушляпіна Н. О. Інтелектуальні системи автоматизації. Моногр. Кременчук. Вид-во "НОВАБУК". 2021. 322 с.
3. Методи та системи штучного інтелекту. Навч. посіб. для студентів напряму підготовки 6.050101 "Комп'ютерні науки". Уклад. А. С. Савченко, О. О. Синельников. Київ. НАУ. 2017. 190 с.
4. Порохова О. Є. Сутність і проблематика штучного інтелекту. Одеса. 2019. 30 с.
5. Нікітіна Л. О., Нікітін С. О. Моделі та методи штучного інтелекту у комп'ютерних іграх. Харків. "Друкарня Мадрид". 2018. 102 с.
6. Методи та системи штучного інтелекту. Навч. пос. Укл. Д. В. Лубко, С. В. Шаров. Мелітополь. ФОП Однорог Т. В. 2019. 264 с.
7. Шевченко А. І., Агарков А. В., Азаренко Д. С., Герасимов І. Г., Дорохіна Г. В., Іванова С. Б., Ніценко А. В., Шелепов В. Ю. Проблеми штучного інтелекту. Аналіз та синтез комунікаційної інформації. Моногр. ІПШІ МОН України і НАН України. Донецьк. ІПШІ "Наука і освіта". 2014. 212 с.
8. Методи та системи штучного інтелекту. Навч. пос. для студентів спеціальності 122 "Комп'ютерні науки". Уклад. І. М. Удовик, Г. М. Коротенко, Л. М. Коротенко, В. О. Трусов, А. Т. Харь. Дніпро. Державний ВНЗ "Національний гірничий університет". 2017. 105 с.
9. Залужний В. Ф., Шаптала С. О., Коваль В. В., Назаров В. М. Роботизовані системи військового призначення наземного, повітряного та морського базування. Довідн. За заг. ред. проф. Р. В. Грищука. Київ. ЦНДІ ЗС України. 2023. 96 с.
10. Zhikai Yang. The development and application of UAV intelligent machine learning system based on artificial intelligence. DOI: 10.56028/aehtsr.6.1.140.2023.
11. Pyles Mrad, Lutfi Samara, Alaa Awad Abdellatif. Federated Learning for UAV Swarms Under Class Imbalance and Power Consumption Constraints. URL: file:///C:/Users/User/Downloads/Federated_Learning_for_UAV_Swarms_Under_Class_Imba%20(1).pdf.
12. Лупандін В. А., Мегельбей Г. В., Мацько О. Й. Основні тенденції створення та застосування груп безпілотних літальних апаратів. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2019. № 2 (35). С. 88–96.
13. Харченко О., Артюшин Л., Кононов О. Перспективи реалізації спільного застосування безпілотних літальних апаратів. DOI: <https://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-1>.
14. Артюшин Л. М., Кононов О. А., Герасименко В. В., Наусенко Б. Ю. Метод вибору варіанта реалізації групового застосування безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ. НУОУ. 2022. № 1 (43). С. 48–59.
15. Шовкошитний І. І., Василенко О. А. Проблемні питання ройового застосування ударних безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Наук. журн. Нац. ун-т оборони України. Київ. 2023. Т. 48. № 3. С. 27–34.
16. Компанієць О. М., Клошніков І. М., Дмитрієв А. Г. Комплексний аналіз впливу факторів на ефективність управління роями безпілотних літальних апаратів. Системи озброєння і військова техніка. 2023. № 3 (75). С. 66–70. <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.75.08>.
17. Стратегія Повітряних Сил 2035. Вінниця. КПС ЗС України. 2020. 40 с.
18. Gepeng Zhu, Haipeng Yao, Tianle Mai, Song Guo. Fission Spectral Clustering Strategy For UAV Swarm Networks. 2024. URL: <http://surl.li/rzclif>.
19. Sabitri Poudel, Sangman Moh, Jian Shen. Residual energy-based clustering in UAV-aided wireless sensor networks for surveillance and monitoring applications. 2022. DOI: 10.20517/jsss.2020.23. URL: <http://surl.li/rzdat>.
20. Vyacheslav Korolyov, Maksim Ogurtsov, Alexander Khodzinsky. Statement of the problem of complete set of UAV group on the basis of models of granular calculations and fuzzy logic. Cybernetics and Computer Technologies. 2021. P. 25–38. URL: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.2.3>
21. Андрій Іващенко. Інформаційне та програмне забезпечення системи ідентифікації безпілотних літальних апаратів. Кваліф. робота бакалавра. Суми. Сумський держ. ун-т. 2022. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/88897/1/Ivashchenko_bac_rob.pdf
22. Оганезов А. Л. Применение нейронных сетей в задачах распознавания образов. Автореферат дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. Тбилиси. 2006. 20 с.
23. Перепелицин С. О. Система захисту від загроз удару БпЛА із використанням блоків нейромережевого аналізу. Наукоємні технології. 2020. № 1 (45). DOI: 10.18372/2310-5461.45.14579.
24. Дзелендзяк У. Ю., Пазинюк М. Ю. Система виявлення літальних апаратів на основі аналізу звукових сигналів. COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS. Vol. 5. No. 1. 2023. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2023.01.029>.
25. Ясенко Л. С., Соболев В. В., Солодчук М. О., Алексєєв С. В. Особливості створення бази даних для перевірки нейронних мереж обробки зображень, що були отримані з безпілотних авіаційних комплексів. II науково-технічна конференція Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації ОВТ. 28.09.2023. С. 351–352.
26. Приставка П., Чолишкіна О., Козачук О., Яременко Д. Нейромережева автоматизація наповнення набору даних аерофотозйомки. Інформаційні технології та суспільство. 2022. 2 (4), 88–99. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.12>
27. Guoxiang Li, Xuejun Wang, Yun Li, Zhitian Li. Adaptive Clustering Object Detection Method for UAV Images Under Long-tailed Distributions. Information Technology and Control Vol. 52. №. 4. 2023. Pp. 1025–1044. DOI 10.5755/j01.itc.52.4.33460.
28. Голенко М. Ю., Іванов Д. І., Єфіменко А. А., Вороніков В. В. Аналіз методів розпізнавання об'єктів та компресії зображень під час аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів. Держ. ун-т "Житомирська політехніка". DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-146-155](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-146-155).
29. Огляд методів розпізнавання об'єктів на аерофотознімках. Y.Chen, Z.Lin, X.Zhao and other. Frontiers of Computer Science. 2017. № 11. С. 1021–1034.
30. Москаленко Ю. В. Методи розпізнавання за діагностичним сигналом на основі гібридних нейронних мереж. Дис. ... доктора філософії : 122. Київ. 2020. 175 с.
31. Howard Demuth, Mark Beale Neural network toolbox for use with MATLAB. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://cda.psych.uuc.edu/matlab_pdf/nnet.pdf.
32. Навчання машин та штучний інтелект. Метод.

вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технології програмування” для студентів напряму 163 “Біомедична інженерія” для всіх форм навчання. Уклад. М. В. Верескун. Маріуполь. ПДТУ. 2019. 61 с.

33. Довідник з MATLAB. Електронний навч. пос. з курсового і дипломного проектування. Київ. НТУУ “КПІ”. 2013. 132 с.

¹**Yurii Husak** (Doctor of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3423-2112>

²**Olha Vasylenko**

<https://orcid.org/0000-0003-2633-0131>

¹*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

²*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

THE CLUSTERING AND CLASSIFICATION OF STRIKE UNMANNED AERIAL VEHICLES BASED ON NEURAL NETWORKS

The article shows that artificial intelligence methods, namely neural networks, can be used to solve the problems of clustering and classification of strike UAVs. The process of creating and training a neural network consists of 5 stages: 1) database formation; 2) selection of the neural network architecture; 3) training of the neural network; 4) evaluation of the training results; 5) use of the neural network. To solve the problem of clustering strike UAVs, a neural network of the SELFORGMAP type (self-organizing maps) can be chosen, which consists of a layer of neurons and can classify a data set of vectors with any number of dimensions. The results of the analysis of the dependence of clustering accuracy on the number of neurons in the hidden layer showed that the neural network for clustering UAVs NN SOM FPV UAVs has the best accuracy with 18 neurons in the hidden layer. The clustering of strike UAVs showed that they can be divided into 4 clusters. At the same time, according to the number of UAVs in each cluster, they can be grouped into 3 classes.

Based on the results of the analysis of the experience of using strike UAVs since 2014 and during the large-scale invasion of Ukraine by the Russian Federation, it was found that UAVs can be roughly divided into three classes according to the tactical range and weight of the warhead: class 1 includes strike UAVs with a tactical range of < 140 km and a warhead weight of < 30 kg; class 2 includes those with a tactical range of 140 to 300 km and a warhead weight of 30 to 70 kg; class 3 includes UAVs with a tactical range of over 300 km and a warhead weight of over 70 kg. To solve the problem of classifying strike UAVs, a convolutional neural network FPV UAVs was chosen.

The training of the FPV UAVs CNN was carried out using the Levenberg-Marquardt algorithm. According to the training results, the neural network for classifying strike UAVs was trained with an accuracy of 99.2%, verified and tested with an accuracy of 98.1%, and the overall accuracy of the neural network for classifying strike UAVs was 98.9%. The results of analyzing the error histogram between the target values and the predicted values after training the UAV classification neural network show that the error value is 0.03868. Since the errors are close to zero, the trained neural network performs well in classifying strike UAVs. Testing the FPV UAVs CNN on an arbitrary set of strike UAVs showed a 100% match between the classes of actual strike UAVs and the data obtained using the FPV UAVs CNN.

The direction of further research could be the creation of neural networks for clustering and classifying group target objects, as well as for solving the problem of distributing a heterogeneous swarm of strike UAVs over the objects of a non-stationary heterogeneous group target.

Keywords: *strike unmanned aerial vehicles, swarm, neural network, UAV clustering, UAV classification, Russian-Ukrainian war.*

References

1. Pohudina O. K. та ін. Metodolohiia formuvannia intelektualnoi skladovoi ahentnoi systemy roiu bezpilotnykh litalnykh aparativ. Monohr. Kharkiv. NAU im. M. Ye. Zhukovskoho “KhAF”. 2021. 219 s.
2. Avrunin O. H., Vladov S. I., Petchenko M. V., Semenets V. V., Tatarinov V. V., Telnova H. V., Filatov V. O., Shmelov Yu. M., Shushliapina N. O. Intelektualni systemy avtomatyzatsii. Monohr. Kremenchuk. Vyd-vo “NOVABUK”. 2021. 322 s.
3. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu. Navch. posib. dlia studentiv napriamu pidgotovky 6.050101 “Kompiuterni nauky”. Uklad. A. S. Savchenko, O. O. Synelnikov. Kyiv. NAU. 2017. 190 s.
4. Porokhova O. Ye. Sutnist i problematyka shtuchnoho intelektu. Odesa. 2019. 30 s.
5. Nikitina L. O., Nikitin S. O. Modeli ta metody

shtuchnoho intelektu u kompiuternykh ihrakh. Xarkiv. “Drukarnia Madryd”. 2018. 102 s.

6. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu. Navch. pos. Ukl. D. V. Lubko, S. V. Sharov. Melitopol. FOP Odnoroh T. V. 2019. 264 s.

7. Shevchenko A. I., Aharkov A. V., Azarenko D. S., Herasimov I. H., Dorokhina H. V., Ivanova S. B., Nitsenko A. V., Shelepov V. Yu. Problemy shtuchnoho intelektu. Analiz ta syntezy komunikatsiinoi informatsii. Monohr. IPSHI MON Ukrainy i NAN Ukrainy. Donetsk. IPSHI “Nauka i osvita”. 2014. 212 s.

8. Metody ta systemy shtuchnoho intelektu. Navch. pos. dlia studentiv spetsialnosti 122 “Kompiuterni nauky”. Uklad. I. M. Udovyk, H. M. Korotenko, L. M. Korotenko, V. O. Trusov, A. T. Khar. Dnipro. Derzhavnyi VNZ “Natsionalnyi hirnychiy universytet”. 2017. 105 s.

9. Zaluzhnyi V. F., Shaptala S. O., Koval V. V.,

- Nazarov V. M. Robotyzovani systemy viiskovoho pryznachennia nazemnoho, povitrianoho ta morskoho bazuvannia. Dovidn. Za zah. red. prof. R. V. Hryshchuka. Kyiv. TsNDI ZS Ukrainy. 2023. 96 s.
10. Zhikai Yang. The development and application of UAV intelligent machine learning system based on artificial intelligence. DOI: 10.56028/aehtss.6.1.140.2023.
11. Ilyes Mrad, Lutfi Samara, Alaa Awad Abdellatif. Federated Learning for UAV Swarms Under Class Imbalance and Power Consumption Constraints. URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/Federated_Learning_for_UAV_Swarms_Under_Class_Imba%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Federated_Learning_for_UAV_Swarms_Under_Class_Imba%20(1).pdf).
12. Lupandin V. A., Mehelbei H. V., Matsko O. Y. Osnovni tendentsii stvorennia ta zastosuvannia hrup bezpilotnykh litalnykh aparativ. Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy. 2019. № 2 (35). S. 88–96.
13. Kharchenko O., Artiushyn L., Kononov O. Perspektyvy realizatsii spilnoho zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ. DOI: <https://doi.org/10.54858/ndia.2022-18-1>.
14. Artiushyn L. M., Kononov O. A., Herasymenko V. V., Nausenko B. Yu. Metod vyboru varianta realizatsii hrupovoho zastosuvannia bezpilotnykh litalnykh aparativ. Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony. Kyiv. NUOU. 2022. № 1 (43). S. 48–59.
15. Shovkoshytnyi I. I., Vasylenko O. A. Problemni pytannia roiovoho zastosuvannia udarnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ. Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony. Nauk. zhurn. Nats. un-t oborony Ukrainy. Kyiv. 2023. T. 48. № 3. S. 27–34.
16. Kompaniets O. M., Kliushnikov I. M., Dmytriiev A. H. Kompleksnyi analiz vplyvu faktoriv na efektyvnist upravlinnia roiamy bezpilotnykh litalnykh aparativ. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. 2023. № 3 (75). C. 66–70. <https://doi.org/10.30748/soivt.2023.75.08>.
17. Stratehiia Povitrianykh Syl 2035. Vinnytsia. KPS ZS Ukrainy. 2020. 40 s.
18. Gepeng Zhu, Haipeng YaoTianle Mai, Song Guo. Fission Spectral Clustering Strategy For UAV Swarm Networks. 2024. URL: <http://surl.li/rzclf>.
19. Sabitri Poudel, Sangman Moh, Jian Shen. Residual energy-based clustering in UAV-aided wireless sensor networks for surveillance and monitoring applications. 2022. DOI: 10.20517/jsss.2020.23. URL: <http://surl.li/rzdat>.
20. Vyacheslav Korolyov, Maksim Ogurtsov, Alexander Khodzinsky. Statement of the problem of complete set of UAV group on the basis of models of granular calculations and fuzzy logic. Cybernetics and Computer Technologies. 2021. P. 25–38. URL: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.2.3>
21. Andrii Ivashchenko. Informatsiine ta prohramne zabezpechennia systemy identyfikatsii bezpilotnykh litalnykh aparativ. Kvalif. robota bakalavra. Sumy. Sumskyi derzh. un-t. 2022. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/88897/1/Ivashchenko_bac_rob.pdf
22. Ohanezov A. L. Prymenenye neironnykh setei v zadachakh raspoznavaniya obrazov. Avtoreferat dyss. ... kand. fiz.-mat. nauk: 05.13.11. Tbylysy. 2006. 20 s.
23. Perepelitsyn S. O. Systema zakhystu vid zahroz udaru BpLA iz vykorystanniam blokiv neiromerezhevoho analizu. Naukoiemni tekhnologii. 2020. № 1 (45). DOI: 10.18372/2310-5461.45.14579.
24. Dzelendziak U. Yu., Pazyniuk M. Yu. Systema vyavlennia litalnykh aparativ na osnovi analizu zvukovykh syhnaliv. COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS. Vol. 5. No. 1. 2023. DOI: <https://doi.org/10.23939/csn2023.01.029>.
25. Iasenko L. S., Soboliev V. V., Solodchuk M. O., Aleksieiev S. V. Osoblyvosti stvorennia bazy danykh dlia perevirky neironnykh merezh obrobky zobrazen, shcho byly otrymani z bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv. II naukovo-tekhnichna konferentsiia Derzhavnogo naukovodoslidnogo instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii OVT. 28.09.2023. S. 351–352.
26. Prystavka P., Cholyskhina O., Kozachuk O., Yaremenko D. Neiromerezheva avtomatyzatsiia napovnennia naboru danykh aerofotoziomky. Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo. 2022. 2 (4), 88–99. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.12>
27. Guoxiang Li, Xuejun Wang, Yun Li, Zhitian Li. Adaptive Clustering Object Detection Method for UAV Images Under Long-tailed Distributions. Information Technology and Control Vol. 52. № 4. 2023. Rp. 1025–1044. DOI 10.5755/j01.itc.52.4.33460.
28. Holenko M. Yu., Ivanov D. I., Yefimenko A. A., Vorotnikov V. V. Analiz metodiv rozpoznavannia ob'ektiv ta kompresii zobrazen pid chas aerofotoziomky z bezpilotnykh litalnykh aparativ. Derzh. un-t “Zhytomyrska politekhnika”. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-146-155](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-146-155).
29. Ohliad metodiv rozpoznavannia ob'ektiv na aerofotoznmkakh. Y.Chen, Z.Lin, X.Zhao and other. Frontiers of Computer Science. 2017. № 11. S. 1021–1034.
30. Moskalenko Yu. V. Metody rozpoznavannia za diahnostychnym syhnalom na osnovi hibrydnykh neironnykh merezh. Dys...doktora filosofii : 122. Kyiv. 2020. 175 s.
31. Howard Demuth, Mark Beale Neural. network toolbox for use with MATLAB. URL: chrome-extension://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/nnet.pdf.
32. Navchannia mashyn ta shtuchnyi intelekt. Metod. vkazivky do vykonannia laboratornykh rob it z dystsypliny “Tekhnologii prohramuvannia” dlia studentiv napriamu 163 “Biomedychna inzheneriia” dlia vsikh form navchannia. Uklad. M. V. Vereskun. Mariupol. PDTU. 2019. 61 s.
33. Dovidnyk z MATLAB. Elektronnyi navch. pos. z kursovoho i dyplomnoho proektuvannia. Kyiv. NTUU “KPI”. 2013. 132 c.

Шановні колеги!

Запрошуємо до участі у науково-практичному журналі
“Повітряна міць України”,

Видавець: Національний університет оборони України,
відкрите видання.

На сторінках журналу розглядаються такі питання:

1. Питання розвитку, застосування та забезпечення Повітряних Сил Збройних Сил України, удосконалення їх системи управління.
2. Питання бойового застосування військових частин та підрозділів державної авіації України, зенітних ракетних військ, радіотехнічних та спеціальних військ, радіотехнічного забезпечення та зв'язку.
3. Моделювання процесів застосування родів військ та спеціальних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
4. Питання розвитку перспективних засобів повітряного нападу.
5. Дослідження процесів управління та застосування пілотованої та безпілотної авіації.
6. Теоретичні основи взаємодії під час застосування військових частин та підрозділів Повітряних Сил, Сухопутних військ, Військово-Морських Сил, Десантно-штурмових військ Збройних Сил України та інших військових формувань.
7. Питання розвитку логістичного забезпечення родів військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
8. Безпека застосування та забезпечення живучості сил та засобів родів військ та спеціальних військ Повітряних Сил Збройних Сил України.
9. Питання запобігання надзвичайним ситуаціям терористичного та техногенного характеру, що пов'язані з діяльністю військових частин (підрозділів) Повітряних Сил Збройних Сил України.
10. Досвід щодо проведення операцій (антитерористичних, миротворчих, Сил оборони).
11. Інноваційні процеси у галузях авіації, автомобілебудування, радіоелектроніки, радіотехніки, засобів зв'язку та АСУ, а також інформаційних технологій.

Подання матеріалів

Обсяг рукопису – від 4 до 10 аркушів українською або англійською мовами.

Для публікації необхідно надіслати статтю у електронній формі (**docx** та **pdf** – копія оригіналу з відомостями щодо відсутності інформації з обмеженим доступом та підписаними всіма авторами статті кожного аркуша).

Рукопис супроводжується **експертним висновком, рецензією кандидата наук (доктора філософії, доцента), витягом з протоколу засідання кафедри (відділу)**.

Подані матеріали автору не повертаються.

Матеріали просимо подавати через сайт журналу або до інституту авіації та протиповітряної оборони Національного університету оборони України за адресою: 03049, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 28, тел.: (044) 271-5-88, Коротіну Сергію Михайловичу, каб. 1/162/1, тел.: (050)981-49-83, e-mail: iappo.ndl@gmail.com.

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 (*Times New Roman, кегль – 11 пт.*)

← 1 пустий рядок – 6 пт.

УДК (*Times New Roman, кегль – 11 пт.*)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

¹**Полуботок Павло Леонтійович** (д-р техн. наук, професор) ← (*кегль – 11 та 8 пт.*)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X> ← (*кегль – 10 пт.*)

²**Острозький Костянтин Іванович** (канд. техн. наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

← 1 пустий рядок – 6 пт.

¹**Університет..., Київ, Україна**

← (*кегль – 11 пт.*)

²**Інститут..., Київ, Україна**

← 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) 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.*)

Структура рукопису

Роботу структурувати згідно з IMRAD – стандарт оформлення наукової статті.

наукової спільноти, висвітлено виконану роботу та вказано про подальшу необхідність даного дослідження, сформульовано основні тези та висвітлено матеріали попередніх досліджень з даної області, визначено головні завдання та

Introduction – вступ

Висвітлено цінність дослідження для

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, захищає отримані дані, проводить паралелі з результатами інших науковців і вказує чи є взаємозв'язок між ними, опираючись на сильні сторони роботи автор вказує слабкі сторони, які потрібно доопрацювати і розкриває практичне і теоретичне застосування результатів, робить висновки і описує подальші можливості цього дослідження;

Conclusions – висновки

Яке значення мають отримані знання для наукового світу і як їх можна застосувати на практиці, рекомендації вченим, що досліджують в цій області. Бібліографію оформлюють у вигляді списку, в якому є всі джерела, що згадуються протягом роботи. Їх потрібно написати в алфавітному порядку або таким чином, як вони були оформлені у тексті.

Список використаних джерел

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.

Приклади оформлення списку використаних джерел згідно з IEEE style:

Книга

[1] Б. Г. Паначевний та Ю. Ф. Свергун, Загальна електротехніка: Теорія і практикум. Київ, Україна: Каравела, 2003.

Частина книги (розділ тощо)

[2] Л. В. Строкова, “Мармурова ступка V–VI ст. з Керчі”, у Український музей, М. І. Гладких, Ред. Київ, Україна: Т-во археології та антропології, 2003, с. 114–116.

Стаття (публікація) в періодичному виданні

Стаття в журналі

[3] О. А. Жученко та М. Г. Волощук, “Дослідження температурних полів процесу графітування вуглецевих виробів”, Автоматизація технологічних і бізнес-процесів, т. 10, № 3, с. 25–35, листоп. 2018, doi:

10.15673/atbp.v10i3.1087. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: <https://journals.onaft.edu.ua/index.php/atbp/article/view/1087/1183>.

Стаття в газеті

[4] В. Андрущенко, “У Карпатах зводять сучасний навчально-виробничий комплекс столичного університету імені Драгоманова”, Голос України, № 87, с. 11, 11 трав. 2019.

Сайт

[5] Б. Мірошніченко та Д. Денков. “Чи відмовиться Україна нарешті від небезпечного азбесту?” Економічна правда. <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/12/6/680401/> (дата звернення 7 груд. 2021).

Відео (онлайн)

[6] ППЧ. Екскурсія на металургійне виробництво Побузького феронікелевого комбінату. (5 груд. 2020). Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн-відео]. Доступно: <https://www.youtube.com/watch?v=mHxVjGKG7k>

Допис у соціальній мережі

[7] E. Musk [@elonmusk], SpaceX is starting a program to take CO2 out of atmosphere & turn it into rocket fuel. Please join if, Twitter, Dec. 13, 2021. Accessed: Dec. 15, 2021. [Online]. Available: <https://twitter.com/elonmusk/status/1470519292651352070>.

Дисертація

[8] А. М. Любека, “Гранулювання багатокомпонентних рідких систем в псевдозрідженому шарі”, дис. канд. техн. наук, НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, Київ, Україна, 2021. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/39465>

Автореферат дисертації

[9] Д. К. Гломозда, “Координація в асинхронних обчислювальних мережах”, автореф. дис. канд. техн. наук, КНУ ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна, 2011. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: <http://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/10866>

Матеріали конференцій

Тези доповіді

[10] А. Ясентюк, “Статистичний аналіз фінансування вищої освіти в Україні”, у Обліково-аналітичні й статистичні методи та моделі в оподаткуванні, бізнесі, економіці, Ірпінь, Україна, 26 листоп.–3 груд. 2018. Ірпінь, Україна: Університет державної фіскальної служби України, 2019, с. 227–229. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: http://ir.nusta.edu.ua/jspui/bitstream/doc/3296/1/3516_IR.pdf

Закон, нормативний акт

[11] Україна, Кабінет Міністрів України. (2015, 27 трав.). Постанова Кабінету Міністрів України № 330, Про визначення наукових метрологічних центрів. Дата звернення: 7 груд.

2021. [Онлайн]. Доступно: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/330-2015-p#Text>.

Звіт організації

[12] Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, “Основні показники розвитку паливно-енергетичного комплексу”, Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, Київ, Україна, серп. 2019. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/docum ent?id=245416376>.

Препринт

[13] M. S. Bashir and M.-S. Alouini, Energy optimization of a laser-powered hovering-uavrelay in optical wireless backhaul. To be published. Accessed: Dec. 7, 2021. [Online]. Available: https://www.techrxiv.org/articles/preprint/Energy_Optimization_of_a_Laser-Powered_Hovering-UAV_Relay_in_Optical_Wireless_Backhaul/17087309

Патент

[14] Двоважільна підвіска легких броньованих машин, винахідники Б. О. Мельник та В. О. Дачковський. (11 листоп. 2013). Патент України UA84874U. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: <https://uapatents.com/4-84874-dvovazhilna-pidviska-legkikh-bronovanikhmashin.html>

Стандарт

[15] Інформація та документація. Видання. Основні види. Терміни та визначення понять, ДСТУ 3017:2015, Державна наукова установа

«Книжкова палата України імені Івана Федорова», Київ, Україна, 2016.

Архівні матеріали

[16] М. П. Василенко, Лист до Дорошенка Д. І. про можливість надіслати листи до Берліну відомого мандрівника по Азії і Тибету, завідувача охороною відомого в Європі зоопарку в маєтку д. Фальц-Файна в Таврії “Асканія-Нова” генерала П. К. Козлова, 18 жовт. 1918, Центральний державний архів вищих органів влади та управління України, Київ, Україна, Ф. 2201, Оп. 1, Спр. 1, Арк. 21. Дата звернення: 7 груд. 2021. [Онлайн]. Доступно: https://tsdavo.gov.ua/vystavky/viddaty-vsi-sylysluzhbovym-spravam-osvity-dlya-zabezpechennya-protsvitannya-molodoyiukrayinskoyi-derzhavy-z-nagody-150-richchya-vid-dnya-narodzhenniamykoly-prokopovycha-vasylenka-1866-1935/#GmediaGallery_101-3810.

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 (співавтор), 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).

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 нарядковий 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 підписаними підписами (кегель – 10).

Не допускаються кольорові та фонові рисунки.

Допускається розташування великих рисунків, формул та таблиць в одну колонку (до 16 см.).

Структура рукопису

Роботу структурувати згідно з IMRAD – стандарт оформлення наукової статті.

Introduction – вступ (висвітлено цінність дослідження для наукової спільноти, висвітлено виконану роботу та вказано про подальшу необхідність даного дослідження, сформульовано основні тези та висвітлено матеріали попередніх досліджень з даної області, визначено головні завдання та гіпотези);

Materials and methods – матеріали та методи (висвітлено матеріали та методи за допомогою яких проводилося дослідження);

Results – результати (висвітлено основні положення і результати наукового дослідження, особисті ідеї, думки, отримані наукові факти, виявлені закономірності, зв’язки, тенденції, 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, захищає отримані дані, проводить

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 колонотули. Між значенням величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (Ctrl + Shift + пропуск).

УВАГА! Остання сторінка статті заповнюється не менше 3/4, рекомендована парна кількість аркушів.

Кількість авторів – не більше трьох.

Набір формул: за допомогою стандартного редактора рівнянь Microsoft Word: *Вставка* → *Символи* → *Рівняння*.

Формули та опис до них рекомендовано вставляти у таблиці (границі таблиць виставляти невидимими, формулу вирівнювати по центру, номер формули в круглих дужках, вирівнювання по правому краю, вирівнювання в ячейках по центру). Наприклад:

← 1 пустий рядок – 6 пт.

$A = \pi r^2$	(1)
---------------	-----

← 1 пустий рядок – 6 пт.

паралелі з результатами інших науковців і вказує чи є взаємозв'язок між ними, опираючись на сильні сторони роботи автор вказує слабкі сторони, які потрібно доопрацювати і розкриває практичне і теоретичне застосування результатів, робить висновки і описує подальші можливості цього дослідження);

Conclusions – висновки (яке значення мають отримані знання для наукового світу і як їх можна застосувати на практиці, рекомендації вченим, що досліджують в цій області). Бібліографію оформлюють у вигляді списку, в якому є всі джерела, що згадуються протягом роботи. Їх потрібно написати в алфавітному порядку або таким чином, як вони були оформлені у тексті.

Список літератури виділяється підзаголовком **Список використаних джерел** та оформлюється згідно з IEEE style (кегель – 9 пт). Рекомендовано вписувати не менше 20 посилань, і декілька з них на роботи, які були опубліковані в останні роки.

Текст статті розбивається на відповідні розділи з підзаголовками, які виділені напівжирним шрифтом.

На останньому аркуші статті після списку літератури наводяться: назва статті, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання автора (співавторів), назва організації, у якій працює автор (співавтори), анотація та ключові слова українською, англійською мовами (крім основної мови статті) за нижченаведеним зразком (11 кегль (8 для наукового ступеня, звання, посади), міжрядковий інтервал – 1,0, вирівнювання – по центру). Обсяг анотації – не менше 250 слів.

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, наприклад – “безпілотний літальний апарат (БпЛА)”.

Лапки: використовуйте тільки англійську розкладку.

Не використовуйте для форматування тексту пропуски, табуляцію тощо. Не встановлюйте ручне перенесення слів, не використовуйте колонититули. Між значенням величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (Ctrl + Shift + пропуск).

УВАГА! Остання сторінка статті заповнюється не менше 3/4, рекомендована парна кількість аркушів.

Кількість авторів – не більше трьох.

Вимоги до мови

Будь ласка, переконайтеся, що ваша стаття була ретельно вичитана та відповідає вимогам щодо ясності мови та стилістичної правильності.

Набір формул: за допомогою стандартного редактора рівнянь Microsoft Word: *Вставка* → *Символи* → *Рівняння*.

Формули та опис до них рекомендовано вставляти у таблиці (границі таблиць виставляти невидимими, формулу вирівнювати по центру, номер формули в круглих дужках, вирівнювання по правому краю, вирівнювання в ячейках по центру). Наприклад:

← 1 пустий рядок – 6 пт.

$A = \pi r^2$	(1)
---------------	-----

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Де r	–	радіус кола
--------	---	-------------

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Розмір шрифту 10 пт, підрядковий та надрядковий індекс 8 пт.

При посиланні на формулу (рівняння) використовувати “формула.” Перед номером рівняння (наприклад: “Усі величини у формулі (1) є ...”)

Стиль формул – “прямий” для символів *Кирилицею* та “курсив” для *Латинських* символів.

Табличний заголовок (напівжирний, 10 пт.) – **обов'язковий**, в таблиці 10 пт.

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Таблиця 1

Назва таблиці

Текст	Текст	Текст
Текст	Текст	Текст

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Рисунки **обов'язково** супроводжуються центрованими підрисунковими підписами (кегель – 10).

← 1 пустий рядок – 6 пт.



Рисункок 1 – Назва рисунку

← 1 пустий рядок – 6 пт.

Якщо в тексті використовується посилання на малюнок, використовуйте “рис.” Перед його номером, аналогічно для таблиць використовуйте “табл.” Перед її номером.

Рекомендовано вставляти рисунки у таблиці (границі таблиць виставляти невидимими)

Не допускаються кольорові та фонові рисунки, на яких під час чорно-білого друку неможливо розрізнити кольорові елементи.

Переконайтеся, що будь-який текст на графіку має мінімальний розмір 6 пунктів, а в таблицях – 8 пунктів. Текст, менший за мінімальний розмір, не читатиметься в друкованому вигляді.

Допускається розташування великих рисунків, формул та таблиць в одну колонку (до 16 см.).

¹**Pavlo Polubotok** (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

²**Kostyantyn Ostrogski** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

¹*University..., Kyiv, Ukraine*

²*Institute..., Kyiv, Ukraine*

ARTICLE TITLE

¹**Pavlo Polubotok** (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

²**Kostyantyn Ostrogski** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

¹*University..., Kyiv, Ukraine*

²*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; науковий ступінь та вчене звання; адреса електронної поштової скриньки; контактний телефон; ORCID ID у форматі: <https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

Автор: Прізвище, ім'я та по-батькові; посада; науковий ступінь та вчене звання; адреса електронної поштової скриньки; контактний телефон; ORCID ID у форматі: <https://orcid.org/0000-0000-0000-000X>

Комп'ютерна верстка: *Я.В. Ярошенко, С.М. Базіло*
Оформлення обкладинки *Ю.М. Коломісць*

Засновник і видавець Національний університет оборони України. Свідоцтво КВ № 24979-14919Р.
Ідентифікатор медіа R30-01154. Адреса редакції: 03049, м. Київ, пр-т Повітряних Сил, 28. Тел. (044) 271-05-88.

Підписано до друку 21.05.2024. Формат 60×84 ¹/₈. Ум. друк. а. 19,75. Тираж 35 прим. Безкоштовно.

Надруковано у друкарні Національного університету оборони України.
