ISSN 2522-9842 (online)

Public organization
Ukrainian Scientific Community

Journal of Scientific Papers

Social Development *and* Security

Volume 15, Issue 5, October, 2025

https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/

EDITORIAL BOARD

Chairman of Editorial Board:
Volodymyr **Mirnenko,** Dr. Sc. (Technical), Prof, Ukraine.

Deputy Chairman of the Editorial Board:
Ivan Tkach, Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.

Technical Secretary, Member of the Editorial Board:
Mykola **Tkach,** Dr.Sc. Assoc. Prof., (Economics), Ukraine.

Members of the Editorial Board:
Victor **Antonyuk,** Dr.Sc. (Technical), Prof., Ukraine.
Anatoly **Ballanda,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.
Oleg **Barabash,** Dr.Sc. (Technical), Prof., Ukraine.
Miroslaw **Banasik**, PhD, Assoc. Prof., Poland.
Vitaliy **Begma,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.
Vasyl **Bichenkov,** Dr.Sc. (Technical), Senior Researcher, Ukraine.
Svitlana **Bondarenko,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.
Igor **Britchenko,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Poland.
Vitaliy **Chorny,** Dr. of Philosophy, Prof, Ukraine.
Pavel **Cubichek,** Dr. of Law, Prof, Slovak Republic.
Mikhail **Divizinyuk,** Dr. Sc. (Physical and Mathematical), Prof., Ukraine.
Darma **Dio Caisar,** Assist. Prof., Indonesia.
Petr **Dikhtievsky,** Dr. of Law, Prof, Ukraine.
Bogdan **Dolnytsky,** Dr. of Law, Prof, Poland.
Larysa **Ivanchenkova,** Dr.Sc. (Economics), Assoc. Prof., Ukraine.
Ross **Fetterly,** Dr.Sc., Canada.
Piotr **Gawliczek,** PhD, Assist. Prof., Poland.
Wojciech **Guzewicz,** PhD, Rev. Prof., Poland.
Volodymyr **Kirylenko,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.
Anatoly **Kolodiy,** Dr. of Law, Prof, Ukraine.
Maksym **Korobchynskyi,** Dr. Sc. (Technical), Prof., Ukraine.
Igor **Koropatnik,** Dr. of Law, Assoc. Prof, Ukraine.
Timur **Kurseeitov,** Dr. Sc. (Technical), Prof, Ukraine.
Ribeiro **Luís Frölén,** Dr. in Mechanical Engineering, Portugal.
Pavlo **Openko,** Candidate of Technical Sc., senior researcher, Ukraine.
Michael J. **McCarthy**, USA.
Oleksander **Matsko,** Candidate of Military Sciences, Prof., Ukraine.
Jacek **Mrozek,** Ph.D, Poland.
Volodymyr **Pashynsky,** Dr. of Law, Assoc. Prof, Ukraine.
Artak **Sagradian,** Dr. Sc. (Technical), Prof, Armenia.
Andre **Samberg,** Professor of Practice, PhD (civil protection), Belgium.
Volodymyr **Shemayev,** Dr. Sc. (Military), Prof, Ukraine.
Lyudmila **Shemayeva,** Dr.Sc. (Economics), Prof., Ukraine.
Iryna **Shopina,** Dr. of Laws, Prof., Ukraine.
Steven **Silverstein,** USA.
Oleg **Vorobiov,** Dr. Sc. (Technical), Prof, Ukraine.
Antonina **Voloshenko,** Dr.Sc. (Economics), Assoc. Prof., Ukraine.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Голова редакційної колегії:
Мірненко Володимир**,** д-р тех. наук, професор, Україна.

Заступники голови редакційної колегії:
Ткач Іван, д-р екон. наук, професор, Україна.

Технічний секретар, член редакційної колегії:
Ткач Микола, д-р екон. доц., наук, Україна.

Члени редакційної колегії:
Антонюк Віктор, д-р тех. наук, професор, Україна.
Баланда Анатолій**,** д-р екон. наук, професор, Україна.
Барабаш Олег, д-р тех. наук, професор, Україна.
Банасик Мирослав, PhD, доц., Польща.
Бегма Віталій, д-р екон. наук, професор, Україна.
Биченков Василь, д-р тех. наук, с.н.с., Україна.
Бондаренко Світлана, д-р екон. наук, професор, Україна.
Брітченко Ігор, д-р екон. наук, професор, Польща.
Чорний Віталій**,** д-р філ. наук, професор, Україна.
Кубічек Павел, д-р права, професор, Словацька Республіка.
Дівізінюк Михайло, д-р фіз-мат. наук, професор, Україна.
Діо Кайсар Дарма**,** асистент професор, Індонезія.
Діхтієвський Петро, д-р юр.наук, професор, Україна.
Долницький Богдан, д-р юр.наук, професор, Польща.
Іванченкова Лариса, д-р екон. наук, доцент, Україна.
Феттерлі Росс, д-р наук, ад'юнкт-професор, Канада.
Гавлічек Петро**,** PhD, доцент, Польща.
Гузевич Войцех**,** PhD, професор, Польща.
Кириленко Володимир**,** д-р екон. наук, професор, Україна.
Колодій Анатолій, д-р юр.наук, професор, Україна.
Коробчинський Максим, д-р тех. наук, професор, Україна.
Коропатнік Ігор, д-р юр.наук, доцент, Україна.
Курсеітов Тимур, д-р тех. наук, професор, Україна.
Рібейро Луїс Фрелен, д-р мех. наук, Португалія.
Опенько Павло, кандидат тех. наук, старший дослідник, Україна.
Маккарті Майкл, США.
Мацько Олександр, кандидат військ. наук, професор, Україна.
Мрозек Яцек, PhD, Польща.
Пашинський Володимир, д-р юр.наук, доцент, Україна.
Саградян Артак**,** д.т.н., професор, Арменія.
Самберг Андре, д-р тех. наук, кандидат тех. наук, Бельгія.
Шемаєв Володимир, д-р військ. наук, професор, Україна.
Шемаєва Людмила, д-р екон. наук, професор**,** Україна.
Шопіна Ірина**,** д-р юр. наук, професор, Україна.
Сільверштейн (Роберт) Стівен, США.
Воробйов Олег, д-р тех. наук, професор, Україна.
Волошенко Антоніна, д-р екон. наук, доцент, Україна.

FOUNDERS and PUBLISHER: Public Organization "Ukrainian Scientific Community" (Ukraine)

Executive secretary of the editorial board of the Journal of Scientific Papers "Social Development and Security" Mykola Tkach,
e-mail: tim68@ukr.net; tkachivan9@gmail.com https://paperssds.eu/index.php/JSPSDS/, тел. +38(093) 752-81-56

The authors of articles are responsible for the authenticity of facts, quotes, their own names, geographical names, names of enterprises, organizations, institutions and other information. Opinions expressed in these articles may not coincide with the point of view of the editorial board and do not impose any obligations on it.

TABLE OF CONTENTS

National Security	
The Strategic Genius: Securing Victory Outside the Battlefield *Rashad Tahirov, Khayal Iskandarov*	1
Implementing Artificial Intelligence in Data-Driven Enterprises through a Ten-Phase Framework Based on Multiple Case Studies *Karol Jędrasiak, Piotr Gawliczek*	17
A Method for Assessing the Resilience of International Cooperation Volumes in Crisis Situations *Maryna Abramova, Ivan Havryliuk, Yurii Kliat, Serhii Mytchenko, Oleh Temnyi, Yaroslav Yankovyi*	35
Supporting Defence Planning in Ukraine: the Current Regulatory and Legal Landscape, Issues and Areas for Improvement *Oleh Semenenko, Maryna Abramova, Yuzef Dobrovolskyi, Oleh Tarasov, Artem Remez, Mariia Yarmolchyk*	48
Military Security	
The Usage of Unmanned Aerial Systems for Enemy Destruction During Armed Conflicts in THE Late XX and First Quarter of XXI Centuries *Volodymyr Rieznik, Ihor Furman, Kateryna Tatarenko*	61
The Basic Training of Ukrainian Citizens for National Resistance in the Framework of the Territorial Defense Forces *Evgen Kamalov*	79
The Effectiveness of Short-Barreled Weapons in Modern Combat Conditions *Pavlo Open'ko*	85
An Improved Model of the Actions of the Repair Units of the National Guard of Ukraine Following the Procedure for the Search, Evacuation, and Repair of Damaged Automotive and Armored Vehicles *Yaroslav Pavlov*	102
Military Intelligence and the Media: the Line Between Secret and Public During War *Oleksandra Markiv, Ivan Markiv*	114
Research of the Trophy Sample of the Russian BMD-4M "Sadovnitsa" *Leonid Davydovskyi, Andrii Baranovskyi, Serhii Bisyk, Vasyl Sakovets, Victor Golub, Svyatoslav Sedov*	124
Ways to Increase the Efficiency of Defeating UAVS of the Operational-Tactical Level with Aviation Artillery Weapons *Volodymyr Berezanskyi, Oleksii Baranik, Andrii Datsenko, Mykhailo Sosulin, Borys Holovko, Oleksandr Sorochkin*	139
Civil Security	
Formulation of the Conditions for the Existence of a Mathematical Model for Emergency Prevention in Areas Contaminated by Residues of Rocket and Artillery Strikes *Nina Rashkevich, Olga Shevchenko, Ivan Rushchak, Volodymyr Kradozhon, Viacheslav Krasnov*	151
Assessment of the Relationship Between Classes of Substances of Hazard Category "P" Using the Criterion of Heat of Combustion *Yuriy Klyuchka, Kostiantyn Afanasenko*	162

Engineering Solutions for Passive Protection of Objects from Unmanned Flying Machine *Vasyl Loik, Olga Babadzhanova, Alexander Sinelnikov*	174
Engineering and Technology	
Formalization of Efficiency Indicators in Life-Cycle Processes for Military Ground Robotic Complexes *Andrii Diadechko, Vitalii Zuiko, Ihor Chernykh, Mykhailo Rakushev*	184
Powder Electrode Materials for Creating Bimetallic Armor Plates by Electric Arc Deposition *Anatoliy Babinets, Ihor Ryabtsev, Andriy Panfilov, Anton Yevdokymov, Oleksandr Prykhodko, Valerii Peremitko*	195
Research of Methods of Secured Data Transmission in a Local Network *Mykhailo Sokolovskyi, Maksym Tureha, Mariia Shved*	209
Improving Scientific Methodology for Substantiating Extended Service Life of Aircraft Radio-Electronic Equipment *Oleh Radko, Anatolii Salii, Bohdan Semon*	229
Social Sciences	
Activities of Self-Governing Organizations of Legal Professions of Public Trust in Poland *Monika Kępa*	243
Evaluating the Influence of Remittance Inflow on the Health and Education Sector for Local Households *Nusrat Farha Yesmin, Md.Harun-Ar-Rashid, Linda Bairagi, Sree Dip Kumar Moholda, Shakil Ahmed*	255
Potential Pathways for Improving Internal Audit in the System of the Ministry of Defence of Ukraine: Analysis, Challenges, and Strategic Recommendations *Oleksandr Shpytal*	264
Analysing the Growth of Biofloc Technology in the Regional Economy of Bangladesh *S.M. Naser Arafat*	284
Portfolio-Based Development of Military Capabilities: a PM²-PFM–Driven Approach for Defence Organisations *Mykola Tkach, Ludmila Nefiodova, Pavlo Makoshenets, Vitaliy Tkachenko*	292
Preparation of army corps headquarters as a component of the troop command system and organization of command posts: analysis of international and national experience *Oleksandr Voitko, Dmytro Rybak, Maksym Samsonenko, Andrii Maiysh, Oleksandr Zamurnyak, Maxim Polivoda*	308
System of Indicators for Assessing the Efficiency of Information Transmission and Processing Systems of Combat Unmanned Aerial Vehicles *Oleksandr Tarasenko*	315
Assessing the Critical Interrelationships Between Military and Economic Security in the National Security System *Yurii Kliat, Oleksandr Voitko, Polina Tolok, Artem Semenenko, Olha Taran, Petro Onofriichuk*	325
Systematic Approach to the Classification of Mining and Geological Criteria of Coal Deposits Readiness for Industrial Development *Oleksandr Usichenko*	334
Optimization of Ukraine's Defense Expenditures Considering Asymmetric Threats and Limited Resources *Vitalii Polovenko*	347

Assessment of the Effectiveness of Production Cooperation and Logistics Chains in Meeting the Needs of the Defense Forces *Volodymyr Koval*	358
Developing Cross-Cultural Competence of Special Operations Forces Officers as a Factor of Operational Effectiveness: Evidence from an Experimental Study *Hanna Krasota*	368

ЗМІСТ

Національна безпека

Стратегічний геній: забезпечення перемоги поза полем бою
Рашад Тахіров, Хаял Іскандаров 1

Упровадження штучного інтелекту в орієнтованих на дані підприємствах на основі десятифазової моделі, розробленої за результатами кількох кейс-досліджень
Кароль Єндрасьяк, Пьотр Гавлічек 17

Метод оцінювання резильєнтності (швидкості відновлення) обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій
Марина Абрамова, Іван Гаврилюк, Юрій Клят, Сергій Митченко, Олег Темний, Ярослав Янковий 35

Нормативно-правове забезпечення оборонного планування в Україні: сучасний стан, проблематика та напрями вдосконалення
Олег Семененко, Марина Абрамова, Юзеф Добровольський, Олег Тарасов, Артем Ремез, Марія Ярмольчик 48

Воєнна безпека

Застосування безпілотних авіаційних комплексів для вогневого ураження противника у воєнних конфліктах кінця XX – першої чверті XXI століть
Володимир Рєзнік, Ігор Фурман, Катерина Татаренко 61

Базова підготовка громадян України до національного спротиву в Силах Територіальної оборони
Євген Камалов 79

Ефективність використання короткоствольної зброї в сучасних умовах ведення бойових дій
Павло Опенько 85

Удосконалена модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України з дотримання процедури пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої автобронетанкової техніки
Ярослав Павлов 102

Воєнна розвідка і медіа: межа таємного і публічного під час війни
Олександра Марків, Іван Марків 114

Дослідження трофейного зразка російської БМД-4М “Садовница”
Леонід Давидовський, Андрій Барановський, Сергій Бісик, Василь Саковець, Віктор Голуб, Святослав Сєдов 124

Шляхи підвищення ефективності ураження БПЛА оперативно-тактичного рівня авіаційною артилерійською зброєю
Володимир Березанський, Олекесій Баранік, Андрій Даценко, Михайло Сосулін, Борис Головко, Олександр Сорочкін 139

Цивільна безпека

Формування умов існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження
Ніна Рашкевич, Ольга Шевченко, Іван Рущак, Володимир Крадожон, Вячеслав Краснов 151

Оцінка взаємозв’язку класів речовин категорії небезпек “Р” за критерієм теплоти згорання
Юрій Ключка, Костянтин Афанасенко 162

Інженерні рішення пасивного захисту об'єктів від безпілотних літальних апаратів *Василь Лоїк, Ольга Бабаджанова, Олександр Синельніков*	174
Техніка і технології	
Формалізація показників ефективності процесів життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів *Андрій Дядечко, Віталій Зуйко, Ігор Черних, Михайло Ракушев*	184
Порошкові електродні матеріали для створення біметалевих бронепластин методом електродугового наплавлення *Анатолій Бабінець, Ігор Рябцев, Андрій Панфілов, Антон Євдокимов, Олександр Приходько, Валерій Перемітько*	195
Дослідження методів захищеної передачі даних у локальній мережі *Михайло Соколовський, Максим Турега, Марія Швед*	209
Удосконалення науково-методичного апарату щодо обґрунтування продовження строків придатності радіоелектронного обладнання повітряних суден *Олег Радько, Анатолій Салій, Богдан Семон*	229
Суспільні науки	
Діяльність органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою в Польщі *Моніка Кемпа*	243
Оцінювання впливу грошових переказів на стан сфери охорони здоров'я та освіти домогосподарств *Нусрат Фарха Єсмін, Мухаммад Харун-ар-Рашід, Лінда Баіраґі, Шрі Діп Кумар Моголдар, Шакіл Ахмед*	255
Можливі шляхи вдосконалення внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України: аналіз, виклики та стратегічні рекомендації *Олександр Шпиталь*	264
Аналіз зростання технології "Biofloc" у регіональній економіці Бангладеш *С.М. Насер Арафат*	284
Портфельне управління розвитком військового потенціалу: підхід, орієнтований на PM²-PFM, для оборонних організацій *Микола Ткач, Людмила Нефьодова, Павло Макошенець, Віталій Ткаченко*	295
Підготовка управлінь (штабів) армійських корпусів як складова системи управління військами та організації пунктів управління: аналіз міжнародного й національного досвіду *Олександр Войтко, Дмитро Рибак, Максим Самсоненко , Андрій Малиш, Олександр Замурняк, Максим Поливода*	308
Система показників оцінювання ефективності побудови систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів (БПЛА) *Тарасенко Олександр*	315
Оцінювання критичних взаємозв'язків між воєнною та економічною безпекою в системі національної безпеки *Юрій Клят, Олександр Войтко, Поліна Толок, Артем Семененко, Ольга Таран, Петро Онофрійчук*	325
Системний підхід до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння *Олександр Усіченко*	334

Напрямки оптимізації оборонних витрат України з урахуванням асиметричних загроз та обмежених ресурсів *Віталій Половенко*	347
Оцінка ефективності виробничої кооперації та логістичних ланцюгів у забезпеченні потреб сил оборони *Володимир Коваль*	358
Розвиток крос-культурної компетентності офіцерів сил спеціальних операцій, як чинника підвищення операційної ефективності: результати експериментального дослідження *Ганна Красота*	368

Strategic Genius: Securing Victory Outside the Battlefield

Стратегічний геній: забезпечення перемоги поза полем бою

Rashad Tahirov

Corresponding author: Dr in National Security and Military Sciences, Professor, e-mail: rashad_tahirov1975@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-1936-152X

Khayal Iskandarov

PhD in National Security and Military Sciences, e-mail: xayal1333@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8975-6530

Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

Рашад Тахіров

Corresponding author: к. наук з національної безпеки та військових наук, e-mail: rashad_tahirov1975@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-1936-152X

Хаял Іскандаров

к. наук з національної безпеки та військових наук, e-mail: xayal1333@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8975-6530

Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан

Received: August 21, 2025 | Revised: September 09, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.1

Purpose. To examine the "winning without fighting" strategy, its contemporary relevance, and its application in the Second Karabakh War.

Method. comparative analysis, and synthesis.

Findings. The concept of achieving victory without fighting is rooted in fundamental principles of strategy, emphasizing the attainment of objectives through intelligence, diplomacy, and other non-kinetic means, rather than direct armed conflict or large-scale warfare. This approach incorporates elements such as securing strategic and tactical superiority, leveraging economic power, forging alliances, exerting psychological influence, dominating the information domain, and demonstrating the futility of the opponent's resistance. While Sun Tzu's notion of "winning without fighting" originated in antiquity, it has gained renewed relevance in the complex and interconnected dynamics of the modern world. As highlighted in the article, the effective application of this strategy can minimize human casualties, economic costs, and social disruptions, while simultaneously enhancing a nation's image as strategically rational. Against this backdrop, the research explores the historical foundations, core principles, and practical applications of the "winning without fighting" strategy. To assess its applicability in today's rapidly evolving global environment, the article examines the essence of strategy, its contemporary definitions, its evolution, and its interconnection with the military domain. Finally, it analyses Azerbaijan's successes during the 44-day Second Karabakh War, identifying the pathways and instruments that contributed to the development and execution of a national "winning without fighting" approach.

Theoretical implications. This study expands the understanding of the "winning without fighting" concept by linking its classical foundations to contemporary strategic thought, demonstrating its adaptability to modern warfare, hybrid conflict, and information operations.

Practical implications. The findings offer guidance for policymakers and military strategists on applying non-kinetic means, such as diplomacy, information dominance, and psychological operations—to achieve strategic objectives while minimizing casualties, economic costs, and social disruption..

Value. This article contributes to strategic studies by bridging ancient military theory with modern conflict realities, offering both conceptual clarity and actionable insights for implementing "winning without fighting" in contemporary security contexts.

Paper type. Theoretical.

Key words: strategy, method, means, warfare, politics, peace, conflict, contradiction.

Мета дослідження. Дослідити стратегію "перемоги без бою", її сучасну актуальність та застосування у Другій Карабаській війні.

Метод дослідження. Порівняльний аналіз та синтез.

Результати дослідження. Концепція досягнення перемоги без ведення бойових дій ґрунтується на фундаментальних принципах стратегії, що передбачають досягнення цілей за допомогою розвідки, дипломатії та інших некінетичних засобів, а не через пряме збройне протистояння чи масштабну війну. Такий підхід охоплює елементи здобуття стратегічної та тактичної переваги, використання економічної могутності, формування союзів, здійснення психологічного впливу, домінування в інформаційному просторі та демонстрацію марності опору противника. Хоча ідея Сунь-цзи про "перемогу без бою" виникла в давнину, вона набуває нової актуальності у складній і взаємопов'язаній системі сучасного світу. Як зазначено у статті, ефективне застосування цієї стратегії може мінімізувати людські втрати, економічні витрати та соціальні потрясіння, водночас підвищуючи імідж держави як стратегічно раціональної. У цьому контексті дослідження розкриває історичні основи, ключові принципи та практичні приклади реалізації стратегії "перемоги без бою". Для оцінки її застосовності в умовах динамічного глобального середовища розглядаються сутність стратегії, її сучасні визначення, еволюція та зв'язок із військовою сферою. Нарешті, проаналізовано успіхи Азербайджану під час 44-денної Другої Карабаської війни, визначено механізми та інструменти, що сприяли формуванню і реалізації національної стратегії "перемоги без бою».

Теоретична цінність дослідження. Це дослідження розширює розуміння концепції "перемоги без бою", поєднуючи її класичні засади із сучасною стратегічною думкою, демонструючи її адаптивність до умов сучасної війни, гібридних конфліктів та інформаційних операцій.

Практична цінність дослідження. Результати дослідження можуть бути корисними для політиків і військових стратегів при застосуванні некінетичних засобів — таких як дипломатія, інформаційне домінування та психологічні операції — з метою досягнення стратегічних цілей при мінімізації людських, економічних та соціальних втрат.

Цінність дослідження. Стаття робить внесок у розвиток стратегічних досліджень, поєднуючи давню військову теорію із сучасними реаліями конфліктів, пропонуючи як концептуальну ясність, так і практичні рекомендації щодо впровадження принципу "перемоги без бою" у сучасних безпекових контекстах.

Тип статті. Теоретична.

Ключові слова: стратегія, метод, засоби, ведення війни / воєнні дії, політика, мир, конфлікт, суперечність / протиріччя.

Introduction

From the day of the first recorded war in the world to the present day, many battles have been analyzed by various military historians and thinkers, and different strategies have been developed to achieve the objectives set in warfare. As new global risks emerge, the security domain expands to encompass unconventional security challenges, necessitating the rapid adaptation of traditional institutions by broadening their responsibilities, tasks, and, at times, the tools at their disposal (Nasirov et al., 2017). "The History of the Peloponnesian War" written by the ancient Greek historian Thucydides around 404 BC and "The Histories by Polybius" composed in 2nd century BC, can be regarded as some of the earliest scholarly works that analyze and illustrate the military strategies employed in the ancient world. In these writings, the strategies of annihilation and attrition were analyzed, and it was advised to avoid direct engagement with the enemy or large-scale battles that could lead to significant losses. The ancient Roman philosopher Marcus Cicero considered war to be the least desirable from the conflict. In his view, war should be undertaken only as a last resort and only when dialogue and negotiation have failed to produce a resolution. The Chinese military strategist and philosopher Sun Tzu, who lived in the 6th century BC, also referred to war as an "armed struggle" and described it as "a matter of vital importance to the state" (Artur, 2007). Like Cicero, Sun Tzu considered resorting to violence through warfare as a measure to be taken only a last resort. In his view, achieving "a hundred victories in a hundred battles" does not constitute supreme skill, true mastery lies in subduing the enemy without fighting (John, 2020). According to Carl von Clausewitz and Antoine-Henri Jomini, who played a significant role in the development of the art of war in modern era, the true objective in warfare is not the outcome of individual battles, but the achievement of the overarching political goal. Clausewitz considered that, if the desired political objective is not achieved by the end of a war, then the victories gained on the battlefield are ultimately meaningless (Artur, 2007). The Italian diplomat and philosopher Niccole Machiavelli, who lived during the Renaissance period, also emphasized in his works – much like the Chinese thinker Sun Tzu – the advantage of achieving victory without fighting or through limited combat (Evans, 2014). Achieving victory without resorting to warfare not only reduces human casualties, economic burdens and social upheaval, but also enhances a country's image from the perspective of strategic rationality. A national leader who attains strategic objectives through such means earns respect in the international community for their wisdom, composure and intelligence.

Thus, the strategy of "winning without fighting" or achieving political objectives through non-military means remains highly relevant in the modern world. This relevance is conditioned by the high intensity of conflicts and the mutual interdependence of relations in the contemporary international relations system. Nevertheless, despite the various advantage of this strategy, its implementation is accompanied by significant challenges and obstacles, arising from the inherent ambiguity and complexity of the "winning without fighting" approach. The aim of this research is to identify the ways to achieve desired outcomes without resorting to combat by examining the nature and specific characteristics of strategy, including military strategy. To achieve this goal, the article conducts a theoretical analysis of the concept of strategy, including its historical development, etymology and evolution, as well as the associated ideas and challenges, also examines definitions of military strategy adopted in several countries, explores the role and essence of strategy in achieving political objectives and through retrospective analysis, highlights its evolution and distinguishes it from tactics. In addition, based on the findings of both analyses, a general definition of military strategy was provided. Furthermore, discussions were held on the deterrence strategy and the successes achieved by Azerbaijan during the 44-day Second Karabakh War, highlighting the ways and means that shape a strategy leading to victory without combat or with minimal losses.

Results

Theoretical Analysis. An Overview of the concept of "Strategy"

It is advisable to clarify the general concept of "strategy" before analyzing the essence of military strategy. Analyses show that, there are many definitions of the "strategy" and there is no single, universally accepted explanation. Different concepts of strategy have been defined in various sectors such as economics, sports, politics and military. In the book on Strategy, written by the famous historians Williamson Murray and Mark Grimsley, strategy is explained as follows: *"Strategy is a process that constantly adapts to changing conditions and circumstances in a world dominated by chance, uncertainly and opposition"* (Cavanaugh, 2016). The diversity of opinions about the concept of strategy indicates that, it has a sufficiently complex content. The etymological analyses show that, the world "Strategy" is of Greek origin and is related to the art of war. This concept, which originated from the ancient Greek word "strategos" initially meant "general" or the "person who commands the army" (Francisco, 2016). Innovations emerging gradually various sectors of society also changed the meaning of strategy over time. Initially related to a commander or their activities, the word "strategy" began to take on a broader meaning. As the scope of wars expanded, strategy among the ancient Greeks came to refer to the deployment and management of troops and military resources, whereas in the Byzantine are, it evolved into the art of skillfully employing and maneuvering forces. In the 6th century, the Byzantines, in addition to the concept of strategy, introduced the concept of tactics, which encompassed the methods and forms of employing troops in combat. Scholarly analyses indicate that both concepts remained integral to the art of warfare for up to nine centuries. The Prussian general and renowned military theorist Carl von Clausewitz, in his book On War, introduced a new and distinct approach to the concept of "strategy" and the components that constitute it. In this book Clausewitz described war as a continuation of state policy by other means. He believed that if the desired political outcome is not achieved at the end of a war, victories won on the battlefield are meaningless (Tahirov et al., 2023). Thus, Clausewitz, by presenting strategy as a means of achieving political objectives in a war, was the first to establish a direct link between strategy and politics. Following this, the concept of "strategy" began to be widely used not only in the military sphere but also in the realm of politics.

Under the influence of advances in science and technology, the significant transformations occurring in industry, education, social life and other sectors – as well as the need to effectively respond to these developments – have significantly expanded the scope and content of the concept of "strategy". In the modern world strategies or strategic plans are developed across various sectors including "Education Strategy, "Science Strategy, "Business Strategy", "Development Strategy" and "Cultural Strategy". These strategic plans, tailored to the specific characteristics of each sector, outline development prospects, define the organization's mission and objectives, establish time-bound targets, and provide the framework or approach for achieving the desired outcomes. Analyses show that the concept of strategy is sometimes conflated with related terms such as tactics, planning, vision, mission, objectives, priorities and targets. In some cases, the terms "strategy" and "plan" are used interchangeable. In our opinion, equating the concept of "strategy" with the aforementioned terms – including "plan" – undermines its fundamental nature and leads to an oversimplification of its true meaning. These are subcomponents, and the success of a strategy depends on their clear, precise, and consistent formulation and definition. Strategy is formed through the synthesis of insights derived from analysis of key components such as planning, vision, mission, objectives and priorities. In addition to the aforementioned components, it is crucial to accurately select the means, methods and approaches that enable the implementation of the strategy within available resources; to execute the planned sequence of actions consistently and to forecast the potential outcomes effectively. Analysis of events in the modern era shows that, strategic mistakes such as incorrect forecasting and the failure to define a common objective often

led to major conflicts and confrontations. For example, in Iraq and Libya certain Western states employed considerable resources and effective methods to overthrow Saddam Hussein and Muammar Gaddafi, respectively. However, due to the lack of a clearly defined objective and a unified strategy for shaping the future of these countries, the outcomes were ultimately tragic. Presenting the overthrow of national leaders – who wetre merely intermediate (tactical) targets as the ultimate strategic objective was a fundamental mistake. Considering the complex religious and ethnic structures of both states, it would have been more appropriate in our view to define the establishment of a stable and legitimate government – one that could ensure the country's sustainable development, stability, unity and both internal and external security as the strategic objective.

Another critical issue in the formulation of strategy pertains to the clear definition of its duration or implementation timeframe.In the modern world strategic plans typically cover a period of 3 to 5 years. Considering the increasingly rapid pace of developments, it is reasonable to anticipate that this timeframe may be reduced to 2 to 4 years in the future. A well-formulated strategy incorporates a long-time perspective, determined by the organizations (be it a sector or a country) overarching objectives and its envisioned position or role in the future. In this context the characteristics of the enviroment in which the organization operates as well as the anticipated impact of internal and external factors, both in the present and in the future are taken into careful consideration.

Thus, strategy is a high-level document with broad scope and comprehensive coverage. It is a general approach or framework that outlines how the organization (or country) intends to achieve its anticipated long- term objectives. In the process of strategy formulation, the key questions adressed are: "Where are we now?" and "How do we get there?". In contrast to strategy – a plan is more narrowly defined and action-oriented. It provides detailed responses to questions such as "What is our current status?" and "What specific steps must be taken to reach a defined objective or desired state?". A roadmap that specifics the concrete actions (tasks)timelines and resources necessary for the effective implementation of the strategic plan. If we combine the information obtained because of the analysis, we can define the concept of "strategy" as follows:

Strategy is a comprehensive plan of action or system of coordinated measure aimed at atchieving long-term or overarching objectives through the optimal management of intended outcomes, methods and resources, thereby guiding efforts in a desired and purposeful direction.

Retrospective Analysis: The evolution of military strategy from past to present

In the modern world the concept of military strategy is defined in numerous ways, shaped by diverse theoretical perspectives and practical considerations. While the core essence remains the same, its content varies from country to country. For example, In the book "The art of Strategy: A Guide to Effective Strategic Thinking" published by the Royal College of Defence Studies (2017) in the United Kingdom, military strategy is defined as *"the art or skill of achieving victory in war or acomplishing set objectives"*. In the document titled "The national military strategy of the United States of America" published by the United States Joint Chiefs of Staff (2015), military strategy is described as *"the use of armed forces to protect national interest through the application or threat of forces"*. According to the Russian literature (Great Russian Encyclopedia, 2022) military strategy is *"the highest form of the art of war, encompassing both the theory and practice of warfare, the preparation of the state's defense, the prevention of conflicts, the command and control of troops during wartime, and the determination of the scope of strategic operations".* In the people's republic of China, the term "military strategy" is officially defined as follows: *"The planning and management of all processes pertaining to the preparation for and conduct of war".* (Tianliang, 2022). Evidently, the substance of military strategy is shaped in accordance with the policy and overarching national strategy of the state that adopts it. Over the centuries, this concept has evolved under the influence

of technological advancements, transformations in the methods and forms of warfare, and innovations arising within political and social contexts, ultimately assuming its present form.

The concept of "strategy" originated in ancient times and was initially associated exclusively with the military sphere. Its emergence coincided with the formation of states and organized armed forces, and it was shaped by various factors, including the level of economic and social development, the introduction of new weapons and military technologies, the adoption of novel forms and methods of warfare, and accumulated combat experience. Changes in these factors influenced not only the nature of wars but also the content and components of strategy. In antiquity, wars were generally short in duration and limited in territorial scope. Over time, however, the duration and geographical scale of military operations expanded significantly, eventually encompassing multiple states. For instance, the Peloponnesian War, which began in 431 BC, lasted approximately twenty-seven years and involved numerous city-states across Greece, the Aegean Islands, the Asia Minor Peninsula, and adjacent regions (Encyclopædia Britannica, 2025).

The increasing duration and scope of conflicts, the growing size and capability of military forces, and the repeated failure of peaceful conflict resolution compelled commanders and statesmen to deliberate on preparations for war and the methods of its conduct. The initial emergence of the concept of strategy in Ancient Greece arose from the necessities imposed by the realities and requirements of that era. From its inception, strategy became synonymous with the art of warfare and evolved into a principal instrument for safeguarding a state's survival as an independent actor while securing favorable outcomes in conflicts. It continued to develop in response to the demands and challenges of successive periods. Transformations in science and technology, shifts in social structures, and changes in the international system have all shaped the concept of "strategy" and broadened the scope it encompasses. In the modern era, states rely not only on military power but also on a range of instruments and methods to achieve strategic objectives. Nevertheless, among the elements of national power, military power –together with its use and planning, as embodied in military strategy – continues to play a pivotal role in the effective implementation of state policy today. In our view, because military strategy confers effectiveness, legitimacy, and coherence upon military activities and operations in both peace and wartime, a comprehensive study of this concept enables a more systematic and informed approach to strengthening national security and defense capabilities.

The concept of "military strategy" has been revised and enhanced in accordance with advancements in the types of weapons and military equipment, their tactical and technical specifications, as well as the transformations in warfare. In ancient Greece, as well as in the Chinese and Roman Empires the basic concept of strategy which was closely associated with the art warfare remained largely unchanged for a long period of time. As noted with the emergence of the concept of "tactics" in the Byzantine Empire in the 6th century, there arose a need to clarify the definition of "strategy" as well. However, until the end of the 18th century, due the to the lack of a clear definition of strategy, the terms "strategy" and "tactics" were often used interchangeably in many contexts. It was the Prussian military officer and writer Dietrich Heinrich Freiherr von Bulow who first clearly articulated the distinction between these concepts. In his book "The New Tactics" he defined strategy and tactics as follows: *"Strategy is the science of military operations conducted beyond the horizon and the range of artillery fire, while tactics concerns operations carried out within those limits"* (Stoker, 2016). By presenting strategy and tactics as levels of warfare, Bulow defined their scope based on the range of the farthest - reaching artillery. From that point onward the concepts of military "strategy" and "tactics" began to be used separately and with distinct meanings. Since the concept of military strategy evolves in accordance with the nature of warfare, military technology, national characteristic, combat experience and political structure, it has varied across different historical periods and nations. The ideas expressed by Swiss military theorist Henri Jomini – one of the greatest military thinkers of the 9th century regarding military strategy and tactics made

a significant contribution to the conceptualization of strategy. Therefore, strategy forms the foundation of the art of war and represents the skill of conducting and managing warfare by encompassing all zones of military operations on the map. Tactics on the other hand, refers to the conduct of battle within a specific area and the deployment of forces in accordance with the characteristics of that terrain (Ami-Jacques, 2023). In addition, Jomini was the first to introduce the concept of "grand tactics", which is now known in modern military art as the operational level of warfare. The ideas advanced by the renowned military theorist Carl von Clausewitz, who lived in the same era, played a pivotal role in shaping the art of war, particularly the concept of "military strategy". In fact, both Clausewitz and Jomini developed their theories on strategy and warfare under the influence of the Napoleonic Wars. As an officer in the Prussian army, Clausewitz witnessed a conflict that began with a major defeat but eventually ended in victory. In contrast, Jomini, who served on Napoleon's general staff, observed the rapid and spectacular victories at the outset of the war, which were ultimately followed by a devastating defeat and the capitulation of France. It was precisely the course of these events that led each of them to develop different ideas about strategy. In Clausewitz's concept of "strategy" the ultimate outcome of the war was the main focus. In contrast, Jomini's approach to strategy was based on operational elements such as movement, firepower and maneuver. At the beginning of war, Napoleon skillfully executed these operations and achieved great success against several countries. Nevertheless, his ambitions led to overextended supply lines, the exhaustion of his army, the breakdown of logistical support and ultimately the loss of effective command and control. Although Napoleon achieved remarkable victories at Austerlitz and Borodino during the war against the Austrian, Prussian and Russian Empires, France was ultimately defeated by the allied forces. For this reason, Clausewitz believed that if the desired political outcomes were not achieved at the end of war, victories on the battlefield were meaningless (Sterman, 2020). He was the first to link strategy with politics, famously describing strategy as the continuation of state policy by other namely, military means (Čajić, 2016). Through this approach, he introduced the concept of distinguishing between higher and lower levels of strategy. The higher level later came to be known as grand strategy, while the lower level became known as military strategy. Reference to Clausewitz's ideas allows military strategy to be understood as the use of force (war) to achieve the objectives set forth in grand strategy or state policy. Like Jomini Clausewitz also divided military strategy into phases: the preparation for war and the execution of military operations. Preparation for war was guided by grand strategy, whereas military operations focused on the execution of battles on the battlefield. Although Clausewitz did not identify the intermediate level that Jomini referred to as "grand tactics," he introduced key concepts such as the "culminating point" and the "center of gravity," which continue to be employed today in the planning of military operations at the operational level. Thus, the ideas of both Jomini and Clausewitz had a significant impact on the development of the concept of "military strategy" and played a crucial role in shaping its modern form.

The First and Second World Wars had a substantial influence on the evolution and refinement of the concept of military strategy. These global conflicts represented a significant departure from previous wars in terms of their scale, the diversity and sophistication of weaponry and technology employed, the duration and tempo of combat operations, and the sheer number of nations and individuals involved. In those wars, the victorious states were those that succeeded in mobilizing all their resources for military purposes and were able to withstand the immense pressures of total war. Liddell Hart a prominent military theorist of his time who served as an officer in the British Army and witnessed both World Wars, defined military strategy as: *"the art of distributing and applying military means to fulfill the ends of policy"* (Freedman, 2018). Having drawn conclusions from the devastation of the First World War, Liddell Hart maintained that effective military strategy is not achieved through direct engagement with enemy, but through indirect methods – striking at unexpected points or far from the main line of contact in order to

exhaust and destabilize the adversary over time. He supported his argument by emphasizing that an indirect strategy minimizes unnecessary losses and enables the conservation of military strength and material resources. Liddell Hart also stressed the importance of properly allocating forces and resources and concentrating them at critical points during decisive moments. An analysis of the Second World War demonstrates that Great Britain conducted its war effort largely in accordance with this strategic approach. Specifically, Great Britain avoided engaging in large scale battles on the main front with Adolf Hitler's Germany until the latter had reached its culminating point, instead prioritizing relatively limited military operations in peripheral theater such as North Africa and Cyprus. Such a strategy allowed for the preservation of resources to be used at decisive moments, while simultaneously enabling the gradual weakening of the enemy. Following the Second World War military strategy evolved under the influence of several key factors: the potential use of nuclear weapons, the emergence of aerospace technologies, the development of long range and precision guided weapons, and the national security doctrines adopted by the United States and Soviet Union in bipolar international system. In this era theoretical frameworks such as "limited war", "nuclear warfare" and "nuclear peace" played a significant role in shaping military strategy. In such a context, the objective of military strategy extended beyond merely winning battles and wars; it also encompassed maintaining readiness for war, ensuring peace and security, and shaping the broader geopolitical landscape. Since major nuclear armed powers were reluctant to engage in direct conflict with one another, they adopted a strategy of weakening their rivals indirectly by supporting proxy forces. This strategy, often referred to as a "proxy war," differs only slightly in essence from what Liddell Hart previously described as the strategy of the "indirect approach." Whereas Hart's "indirect approach" emphasized limited-scale military operations on the periphery of the enemy's position, proxy warfare highlights the significance of major powers conducting war not through direct engagement with one another, but through the use of third-party or surrogate forces (Ghantous, 2025). This strategic approach aims to impose substantial costs on the opposing side – economically, militarily, financially, politically, and in terms of human lives – while minimizing the direct exposure of one's own resources, particularly personnel, to high levels of risk. For example, During the United States intervention in Vietnam, the Soviet Union didn't participate directly in the war, but extended substantial support to North Vietnam through the supply of arms, military equipment and advisory personnel. According to official records, approximately 58,000 U.S. military personnel were killed and over 300,000 were wounded as a result of the Vietnam intervention. In addition, the United States lost a total of 3,699 combat aircraft and 4,865 helicopters due to combat and operational incidents. Although no official comprehensive studies on the total cost of the Vietnam conflict were conducted, the U.S. Statistical Center reported in 1974 that government expenditures had exceeded $352 billion (Congressional Quarterly, 2024). The heavy losses and enormous cost led to growing social discontent, ultimately forcing the United States to withdraw from Vietnam. A similar situation occurred during the Soviet Union's military intervention in Afghanistan. Official figures indicate that more than 14,000 Soviet soldiers lost their lives during the conflict. However, it is claimed in unofficial sources that the actual number of casualties is significantly higher than the official figures (Mahammadi, 2017: 89). According to many analysts, the war in Afghanistan further deepened the existing crisis and accelerated the process of the Soviet Union's collapse.

Since 1990, military strategy has begun to evolve under the influence of revolutionary innovations in high-energy physics, nanotechnology and information and communication technologies, as well as their broad application in the military field. Unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, high precision weapons and rapid information processing – all products of these technologies – have brought about fundamental changes in military strategy. Primarily due to the rapid development of information and communication technologies and their wide application in the military sphere, information warfare has come to the forefront in achieving a country's strategic objectives. Furthermore, the penetration of information and communication technologies

into the military sphere has led to the emergence of a new domain of confrontation – cyberspace. Many states have already incorporated military theories and concepts reflecting the characteristics of the information age into their military strategies: hybrid, cyber and network centric wars, cyberattacks, multi domain operations, and so on. In the modern world, the concept of strategy is used across different domains such as business, economics, and even everyday life. Nevertheless, in terms of ensuring a country's existence as an independent actor on the global stage and protecting its interests from potential threats, military preparedness – including military strategy – holds a special place in the life of the state. The generalization of the knowledge gained allows military strategy to be defined in broad terms as follows: as a component of overall strategy, military strategy is the art of skillfully planning and managing military actions, capabilities, and resources, as well as employing appropriate methods of deterrence and coercion, in order to support political objectives established during both peace and wartime and to achieve military goals.

Strategy that leads to victory without fighting: Historical experience

Modern wars, beyond the realm of military power, demand the comprehensive mobilization of a warring parties' economic, political, informational, and social resources, often culminating in extensive destruction and substantial loss of life. For these reasons, contemporary states tend to anchor their military strategies in the theory of deterrence – a doctrine that operates at a lower intensity than actual combat while enabling the attainment of political objectives. The theory of strategic deterrence was first articulated in 1947 by U.S. diplomat George F. Kennan in the context of countering the Soviet Union. Its primary purpose is to avert external threats to a state's sovereignty and vital interests. The underlying logic is to signal, through credible capabilities and unwavering resolve, that any attempt to undermine the state's core interests would be futile, and that provocative, escalatory, or aggressive actions would incur severe repercussions (Iskandarov & Gawliczek, 2021). Professor Dmitri Trenin (2024), Scientific Director of the Institute of World Military Economy and Strategy at the National Research University of Russia, categorizes deterrence activities into three principal components: military, spatial, and diplomatic or coalition-based. An analysis of relevant literature from the United States, China, and Russia allows us to identify activities corresponding to these deterrence components. The military component encompasses the demonstration of advanced weapons, conducting military exercises, deploying troops and armaments in strategic locations, elevating combat readiness, executing limited military operations, and delivering preemptive strikes. The spatial component refers to the domains in which deterrence activities are carried out, including land, air, information, cyber, and space. Accordingly, warfare or confrontations in these domains are classified as land warfare, air warfare, information warfare, and so forth. In the 20th century, hybrid warfare—which involves large-scale hostile activities in the information and cyber domains – played a significant role in achieving strategic objectives, enabling a state to undermine an adversary internally without engaging in extensive military operations. Several academic studies in open-source literature have examined this issue, with a particular focus on the South Caucasus region (Iskandarov & Gawliczek, 2020a; Iskandarov & Gawliczek, 2020b; Iskandarov & Gawliczek, 2020c). The diplomatic or coalition component focuses on isolating the adversary through strong alliances and formal diplomatic agreements. We contend that implementing these activities in a balanced manner, tailored to the circumstances and available capabilities, can effectively deter adversaries from aggressive actions and achieve strategic objectives without resorting to direct combat.

Deterrence is by no means a new concept and has long been a subject of interest for military strategists and thinkers throughout history. As noted, a "hot war" entails substantial losses in both human lives and material resources. Consequently, great commanders and strategists have often achieved their objectives not through direct use of force, but by employing deception and intimidation, thereby gaining strategic and tactical advantages and undermining the adversary's

fighting capability and will with minimal cost, loss, and risk. This approach, commonly referred to as "winning without fighting", finds its roots in the ideas of ancient military thinkers and continues to retain relevance in the modern era. The ancient Chinese military theorist Sun Tzu, for instance, considered the resort to force in battle as a measure of last resort. In his view, achieving 'a hundred victories in a hundred battles' does not necessarily require exceptional skill; true mastery lies in subduing the enemy without engaging in combat (Marcus, 2021). Sun Tzu emphasized that defeating the enemy through careful organization, intelligence gathering, espionage, deception, and psychological warfare is often more effective than relying solely on military force. The optimal strategy, according to Sun Tzu, is to expose the enemy's weaknesses without direct confrontation and to create conditions that undermine the adversary by covertly or overtly influencing the mindset and behavior of its population. The ultimate objective is to manipulate the situation in such a way that the enemy is left with no viable option but to surrender.

Although formulated in ancient times, Sun Tzu's strategy of "winning without fighting" remains highly relevant in the complex and interconnected landscape of modern warfare. Its enduring applicability stems from the fact that contemporary armed conflicts are significantly more destructive and resource-intensive than earlier forms of warfare. Analytical studies indicate that success in such conflicts is achieved not merely through direct combat, but primarily through the execution of carefully designed strategies and the effective exercise of influence. Today, the core of the "winning without fighting" approach is embodied in influence mechanisms such as information warfare, cyberattacks, and media manipulation, which enable actors in the information age to shape public opinion and undermine an adversary's capacity to respond by controlling narratives.

Throughout history, instances of achieving "victory without resorting to battle" or "through limited combat" have been exceedingly rare. This rarity is due to the inherent risks of such strategies, which require a comprehensive, multidimensional approach and highly effective leadership. In the modern era, a prominent example of this approach can be observed in the outcomes of the Second Karabakh War. On September 27, in response to yet another provocation of Armenian forces in Karabakh, the Armed Forces of Azerbaijan launched a counter-offensive operation. There are a considerable number of scholarly papers and analytical reports available in open sources that examine the details of this war, including its historical background, operational developments, strategic implications, and broader geopolitical consequences (Guner et al., 2022; Iskandarov et al., 2022; Hasan et al., 2024). During the 44-day war, Azerbaijan secured a decisive victory by inflicting overwhelming defeats on Armenia, which had occupied the territories for nearly three decades. This outcome was facilitated by Azerbaijan's strategic and tactical superiority. Since 1993, under the leadership of National Leader Heydar Aliyev and later his political successor Ilham Aliyev, Azerbaijan has made significant strides in building and strengthening its armed forces, consolidating its economy, enhancing diplomatic relations, and fostering conditions for internal stability and comprehensive development. As a result, Azerbaijan gained a strategic advantage over Armenia in terms of human resources, mobilization capacity, military and economic strength, and diplomatic leverage. Furthermore, the Armed Forces of Azerbaijan attained tactical superiority by deploying advanced, modern weaponry and military technology, gaining practical experience through exercises under real combat conditions, and mastering contemporary methods and forms of warfare. It was precisely due to this strategic and tactical superiority that the Armed Forces of Azerbaijan defied the forecasts of numerous international military experts, swiftly breached the enemy's defenses, advanced tens of kilometers into its depth, and liberated strategically significant territories, including the city of Shusha. Indeed, the counter-offensive was conducted in areas characterized by difficult terrain and robust fortifications, leading many experts to predict a protracted conflict with higher Azerbaijani casualties. Analyses suggested that breaching the extensive fortification systems constructed by the Armenian Army over three decades would be virtually impossible and that Azerbaijan would be unable to counter the large stockpiles of weapons

and military equipment illegally transferred to and deployed across the occupied territories. These predictions, however, failed to account for Azerbaijan's qualitative advantages in strategic and tactical capabilities. Despite Armenia's extensive, illicitly acquired arsenal, a marked asymmetry favored Azerbaijan in terms of military capacity and operational effectiveness. Military literature emphasizes that when opposing forces are roughly balanced, conflicts tend to be prolonged. Azerbaijan, however, shifted this balance not by sheer numbers, but by enhancing the qualitative aspects of its military power. Meanwhile, the Armenian forces, confident in their accumulated arsenal, had anticipated achieving absolute victory over Azerbaijan – a miscalculation that proved decisive. However, the Armed Forces of Azerbaijan effectively neutralized much of the Armenian concealed military equipment, destroying the majority of the hardware deployed on the battlefield and capturing portions as war trophies. Over the course of the war, approximately 1,500 enemy air defense systems, artillery units, armored vehicles, and other military assets were eliminated. (Piriyev et al, 2022: 52). In this war, Azerbaijan's military potential enabled the achievement of maximum results, namely, victory, while incurring minimal losses. In conventional warfare, the attacking force typically mobilizes troops at a ratio of approximately three to one against the defender. However, the Azerbaijani Army, often maintaining a roughly 1:1 force ratio and at times confronting numerically superior enemy forces, successfully breached Armenian defenses and penetrated deep into their lines. In terms of personnel losses, the Armed Forces of Azerbaijan suffered casualties that were four to five times lower than those incurred by Armenia.

Consequently, realizing that no viable options remained, the Armenian leadership accepted Azerbaijan's demands and, on November 10, signed a statement on the complete cessation of military operations. By signing this statement, Armenia effectively capitulated, thereby unequivocally acknowledging Azerbaijan's victory, as the agreement fully enshrined Azerbaijan's demands and interests. In accordance with the directives of the President of Azerbaijan, Ilham Aliyev, Azerbaijan not only retained all liberated territories but also provided the Armenian leadership with a detailed schedule specifying concrete deadlines for the withdrawal of occupying forces from the Aghdam, Kalbajar, and Lachin districts. By acceding to these conditions, the Armenian leadership avoided total defeat. As Pashinyan himself later acknowledged, had hostilities continued, an estimated 20,000 to 30,000 Armenian soldiers would have been annihilated on the battlefield (Piriyev et al., 2022: 112).

The liberation of Lachin, Kalbajar, and Aghdam – territories that had been under occupation for 30 years and fortified with extensive engineering works – without a single shot being fired constitutes a major strategic achievement and represents one of the clearest examples of victory without direct combat. This success was secured not only through meticulously planned and effectively executed military operations but also thanks to robust diplomacy, resolute political will, sustainable economic development, and a comprehensive information campaign.The primary factors that enabled Azerbaijan to liberate these three districts without armed conflict are as follows:

– **Robust, highly trained and well – equipped Armed Forces**. The sustained enhancement of military preparedness and training, combined with meticulous planning of combat operations and the effective utilization of modern warfare technologies, afforded the Azerbaijani Armed Forces both strategic and tactical advantages. By deploying high-precision weaponry, unmanned aerial vehicles, and drone technologies – and integrating them effectively into operations while employing unconventional methods of warfare – the Azerbaijani forces executed a rapid counter-offensive that disoriented and destabilized Armenian troops. As a result, Armenia had no option but to cease resistance and unconditionally accept the terms dictated by Azerbaijan.

– **The implementation of effective strategic communication policies**. Azerbaijan's strategic use of modern communication tools, including social media platforms, carefully crafted

narratives, and proactive international diplomacy played a pivotal role in shaping public opinion both domestically and globally, fostering national unity, and ultimately securing victory in alignment with its political and military objectives. Conversely, internal discord, media restrictions, and the ineffective utilization of digital platforms undermined Armenia's strategic efforts.

– **The successful conduct of information warfare operations**. From the outset of the counter-offensive launched on September 27 and throughout the entire war, the President of the Republic of Azerbaijan, Ilham Aliyev, demonstrated exceptional leadership and diplomatic acumen in disseminating accurate information, countering disinformation, and defending the country's legitimate position on the international stage. In nearly 30 interviews with foreign media outlets in Turkish, Russian, and English, he provided the international community with comprehensive insights into Azerbaijan, the so-called "Nagorno-Karabakh conflict", the extent of Armenian occupation, Armenia's false claims and war crimes, acts of violence against civilians, and the necessity of the counter-offensive operations.

– **The sucessful attainment of international political and diplomatic support**. Azerbaijan's ability to clearly communicate its position to the international community, both at the outset and throughout the war, as well as to secure support from major global powers, played a crucial role in achieving victory. President Ilham Aliyev, undertook significant diplomatic measures to strengthen Azerbaijan's international standing and to legitimize the liberation of its occupied territories. Despite the influence of a strong Armenian diaspora in countries such as the United States, France, and Russia, Armenia's efforts to legitimize the puppet regime established in the occupied territories ultimately failed. In contrast, Azerbaijan's success in securing political backing from major powers – including Turkey, Russia, Israel, and Pakistan – further consolidated its position.

Consequently, the armed conflict initiated on September 27, 2020, following provocations by Armenia, lasted 44 days and culminated in a decisive victory for Azerbaijan. During this period, the Azerbaijani Armed Forces inflicted severe losses on the Armenian military and liberated a substantial portion of the occupied territories, including the strategically significant city of Shusha. Constrained by military, economic, and diplomatic pressures, Armenia accepted Azerbaijan's demands and, on November 10, signed the trilateral statement, effectively constituting an act of capitulation. Recognizing its weakened position, Armenia was compelled to surrender parts of Aghdam, Kalbajar, and Lachin without armed conflict. The restoration of these territories without military engagement represents a major strategic achievement for Azerbaijan. Its significance was underscored by President Ilham Aliyev, who stated: *"Taking into account the winter season and the difficult terrain, we could have incurred significant casualties and would have required considerable time. Therefore, our victory is a historic victory"* (president.az, 2020). The liberation of Aghdam, Lachin, and Kalbajar without firing a single shot saved the lives of thousands of young Azerbaijani soldiers. While the Azerbaijani Army would have eventually liberated these regions through battlefield operations, the number of casualties would have been substantially higher.

Conclusion

Strategy, whether military or otherwise, entails a series of successive measures aimed at enhancing efficiency and effectiveness under uncertain and volatile conditions. Its proper formulation and implementation strengthen state security and resilience against threats, and because strategy is inherently dynamic, it requires continuous adaptation, learning from mistakes, and responding to environmental changes. In the modern world, developing an effective strategy demands a holistic, adaptive, and future-oriented approach, moving beyond traditional top-down methods toward iterative processes that embrace continuous improvement. Military strategy, as an integral component of national security, preparedness, and warfare, remains guided by principles such as

concentrating forces, assessing strengths and vulnerabilities, adapting to evolving circumstances, and aligning political and military objectives. The discipline continually evolves under the influence of historical lessons, technological advancements, geopolitical shifts, and transformations in the character of warfare, including the emergence of asymmetric, hybrid, and information-based conflicts. Scientific and technological progress – ranging from artificial intelligence and high-precision weaponry to autonomous systems and advanced command and surveillance platforms – has expanded the scope of strategy, requiring consideration of new methods, forms of warfare, and virtual battlespaces. Throughout history, the most successful leaders and strategists have achieved objectives not solely through force, but by employing deception, information warfare, diplomacy, and minimizing armed confrontations to reduce casualties, with true success defined as attaining strategic goals with minimal losses. The 44-day Second Karabakh War exemplifies this approach: through exceptional strategic and diplomatic leadership, Azerbaijan effectively combined military preparedness, diplomacy, information operations, and strategic communication to achieve all its objectives. Most notably, by compelling the withdrawal of Armenian forces from Aghdam, Kalbajar, and Lachin without direct combat, Azerbaijan presented one of the most striking contemporary examples of the "victory without fighting" strategy, underscoring the enduring importance of adaptive, integrated, and innovative strategic thinking in modern conflict.

Funding

This study received no specific financial support.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

Ami-Jacques, R. (2023). *Rethinking lines of operations: Jomini's contribution to the conceptualization of strategy in the early nineteenth century* [online]. *War in History*, 30(1), pp.21–37, January. Available at: https://journals.sagepub.com/toc/wiha/30/4 [Accessed: 5 August 2025].

Artur, K.T. (2007). *Sun Tzu's war theory in the twenty-first century*. U.S. Army War College, Strategy Research Project, 26 March. Available at: https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA470026.pdf [Accessed: 11 July 2025].

Čajić, J. (2016). *The relevance of Clausewitz's theory of war to contemporary conflict resolution* [online]. *Connections*, 15(1), Winter. Available at: https://www.jstor.org/stable/26326430?seq=1 [Accessed: 17 May 2025].

Cavanaugh, M.L. (2016). *What is strategy?* [online]. Modern War Institute, 11 October. Available at: https://mwi.westpoint.edu/what-is-strategy/ [Accessed: 11 August 2025].

CQ Almanac (1975) *Vietnam statistics – war costs: complete picture impossible*. Available at: https://library.cqpress.com/cqalmanac/document.php?id=cqal75-1213988 [Accessed: 13 August 2025].

Encyclopædia Britannica (2025). *Peloponnesian War*. Last updated 26 March. Available at: https://www.britannica.com/event/Peloponnesian-War [Accessed: 21 May 2025].

Evans, R. (2014). *Machiavelli's 27 rules of war*. War on the Rocks, 3 August. Available at: https://warontherocks.com/2014/08/machiavellis-27-rules-of-war/ [Accessed: 12 August 2025].

Francisco, J.G. (2016). *Strategists and strategos*. Strategy and Management Business Review, March. Available at: https://www.researchgate.net/publication/297734687_-Strategists_and_Strategos [Accessed :1 June 2025].

Freedman, L. (2018). *The meaning of strategy, part II: the objectives*. *Texas National Security Review*, 1(1), February. Available at: https://tnsr.org/2018/02/meaning-strategy-part-ii-objectives/ [Accessed: 12 May 2025].

Ghantous, N. (2025). *What are proxy wars and where are they happening?* Fair Planet, Political Violence, 7 January. Available at: https://www.fairplanet.org/story/what-are-proxy-wars-and-where-are-they-happening/ [Accessed: 22 June 2025].

Great Russian Encyclopedia (2022). *Military strategy*. 3 August. Available at: https://bigenc.ru/c/voennaia-strategiia-42315c/?v=4465945 [Accessed: 8 June 2025].

Guner, E., Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2022). Theories of war in practice: causes and termination (in the example of the Second Karabakh War). *Wiedza Obronna*. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-89aad26d-dfd7-43bb-bd20-7a03a28fee22 [Accessed: 5 August 2025].

Hasan, A.H., Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2024). Azerbaijan's 2023 counterterrorism operation in Karabakh region: causes and consequences. *Social Development and Security*, *14*(3), pp.1-13. doi: https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.1 [Accessed: 5 August 2025].

Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2020a). Hybrid warfare as an instrument of political leverage (With a special focus on the South Caucasus). *The Russian federation and international security* edited by Miroslaw Banasik, Piotr Gawliczek and Agnieszka Rogozinska (Poland: Difin publishing house, 2020), pp. 117-136.

Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2020b). Hybrid warfare as a new type of war. The evolution of its conceptual construct in Miroslaw Banasik, Piotr Gawliciczek and Agnieszka Rogozinska (eds) *The Russian federation and international security*, Poland: Difin publishing house, 2020, pp. 96-107.

Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2021). The Deterrence as a Component of Response to Hybrid Threats (the South Caucasus as a Focal Point). *Civitas et Lex*, *29*(1), 17-26. Available at: https://doi.org/10.31648/cetl.6124 [Accessed: 15 August 2025].

Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2020c). The impact of social media on the war. Case study: The Second Karabakh War in *Information, Media, Security Environment* edited by Miroslav Banasik, Piotr Gawliczek, Agnieszka Rogozinska. Warsaw: Difin. Pp. 162-178.

Iskandarov, K., Gawliczek, P., & Tomasik, J. (2022). Termination of war: factors affecting the outcome (in the example of the Second Karabakh War). *Civitas et Lex*, *35*(3), pp. 7-17. Available at: https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/cel/article/view/7736/6136 [Accessed: 5 August 2025].

John, F.S. (2020). *Sun Tzu's fighting words*. The Strategy Bridge, 15 June. Available at: https://thestrategybridge.org/the-bridge/2020/6/5/sun-tzus-fighting-words?format=amp [Accessed: 2 June 2025].

Mahammadi, M. (2017). *Afghanistan: From Soviet invasion to American intervention*. Baku: Strategic Research Center under the President of the Republic of Azerbaijan. Available at: https://kitabxana.net/files/books/file/1494860446.pdf [Accessed: 28 June 2025].

Marcus, G. (2021). *The eastern approach to strategy* [online]. Medium, Chapter 8, 20 October. Available at: https://marcusguest.medium.com/the-eastern-approach-to-strategy-420e1bbf7056 [Accessed: 11 May 2025].

Nasirov, E., Iskandarov, K., & Sadiyev, S. (2017). The South Caucasus: A Playground Between NATO and Russia? *Connections*, *16*(3), pp. 47-56. Available at: https://www.jstor.org/stable/26867919 [Accessed: 21 June 2025].

Piriyev, H.K., Tahirov, R.K. & Iskandarov, X.I. (2022). *The Second Karabakh War: Military-political analysis*. Baku: Military Publishing House. In Azerbaijani: Piriyev, H., Tahirov, R., & İskəndərov, X. (2022). İkinci Qarabağ müharibəsi. *Hərbi–siyasi təhlil Bakı: Hərbi Nəşriyyat*.

president.az (2020). *Ilham Aliyev addressed to the nation*. Official website of the President of the Republic of Azerbaijan, 1 December. Available at: https://president.az/az/articles/view/48205 [Accessed: 9 June 2025]

Sterman, D., 2020. *Defining endless wars: the first step towards ending them* [online]. International Security, New America, 21 January. Available at: https://d1y8sb8igg2f8e.cloudfront.net/documents/Defining_Endless_Wars.pdf [Accessed: 12 June 2025].

Stoker, D. (2016). *What's in a name? Clausewitz's search to define "strategy"* [online]. *Military Strategy Magazine*, 5(2), Spring. Available at: https://www.militarystrategymagazine.com/article/whats-in-a-name-clausewitzs-search-to-define-strategy/ [Accessed: 12 May 2025].

Tahirov, R.K., Hasanov, A. & Piriev, H. (2023). The concept and essence of war. *National Security and Military Sciences*, Volume 9, No. 4, pp.62–73.

Tianliang, X. (2022). *The science of military strategy* [online]. China Aerospace Studies Institute, National Defense University Press, January. Available at: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Translations/2022-01-26%202020-%20Science%20of%20Military%20Strategy.pdf [Accessed: 18 July 2025].

The Royal College of Defence Studies (2017). *Getting strategy right (enough)*. London: Crown Copyright/MOD. Available at: https://www.scribd.com/document/508074990/20170904-RCDS-Getting-Strategy-Right-Enough-Final [Accessed: 5 May 2025].

Trenin, D.V. (2024). Strategic deterrence: new contours. *Russia in Global Affairs*, 22(4), pp.74–86.

United States Joint Chiefs of Staff (2015). *The national military strategy of the United States of America*. Available at: https://www.jcs.mil/portals/36/documents/publications/2015_national_military_strategy.pdf [Accessed: 6 August 2025].

Список використаних джерел

Ami-Jacques, R. (2023). *Rethinking lines of operations: Jomini's contribution to the conceptualization of strategy in the early nineteenth century* [online]. *War in History*, 30(1), pp.21–37, January. Available at: https://journals.sagepub.com/toc/wiha/30/4 [Accessed: 5 August 2025].

Artur, K.T. (2007). *Sun Tzu's war theory in the twenty-first century*. U.S. Army War College, Strategy Research Project, 26 March. Available at: https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA470026.pdf [Accessed: 11 July 2025].

Čajić, J. (2016). *The relevance of Clausewitz's theory of war to contemporary conflict resolution* [online]. *Connections*, 15(1), Winter. Available at: https://www.jstor.org/stable/26326430?seq=1 [Accessed: 17 May 2025].

Cavanaugh, M.L. (2016). *What is strategy?* [online]. Modern War Institute, 11 October. Available at: https://mwi.westpoint.edu/what-is-strategy/ [Accessed: 11 August 2025].

CQ Almanac (1975) *Vietnam statistics – war costs: complete picture impossible*. Available at: https://library.cqpress.com/cqalmanac/document.php?id=cqal75-1213988 [Accessed: 13 August 2025].

Encyclopædia Britannica (2025). *Peloponnesian War*. Last updated 26 March. Available at: https://www.britannica.com/event/Peloponnesian-War [Accessed: 21 May 2025].

Evans, R. (2014). *Machiavelli's 27 rules of war*. War on the Rocks, 3 August. Available at: https://warontherocks.com/2014/08/machiavellis-27-rules-of-war/ [Accessed: 12 August 2025].

Francisco, J.G. (2016). *Strategists and strategos*. Strategy and Management Business Review, March. Available at: https://www.researchgate.net/publication/297734687_-_Strategists_and_Strategos [Accessed :1 June 2025].

Freedman, L. (2018). *The meaning of strategy, part II: the objectives*. *Texas National Security Review*, 1(1), February. Available at: https://tnsr.org/2018/02/meaning-strategy-part-ii-objectives/ [Accessed: 12 May 2025].

Ghantous, N. (2025). *What are proxy wars and where are they happening?* Fair Planet, Political Violence, 7 January. Available at: https://www.fairplanet.org/story/what-are-proxy-wars-and-where-are-they-happening/ [Accessed: 22 June 2025].

Great Russian Encyclopedia (2022). *Military strategy*. 3 August. Available at: https://bigenc.ru/c/voennaia-strategiia-42315c/?v=4465945 [Accessed: 8 June 2025].

Guner, E., Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2022). Theories of war in practice: causes and termination (in the example of the Second Karabakh War). *Wiedza Obronna*. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-89aad26d-dfd7-43bb-bd20-7a03a28fee22 [Accessed: 5 August 2025].

Hasan, A.H., Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2024). Azerbaijan's 2023 counterterrorism operation in Karabakh region: causes and consequences. *Social Development and Security*, *14*(3), pp.1-13. doi: https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.3.1 [Accessed: 5 August 2025].

Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2020a). Hybrid warfare as an instrument of political leverage (With a special focus on the South Caucasus). *The Russian federation and international security* edited by Miroslaw Banasik, Piotr Gawliczek and Agnieszka Rogozinska (Poland: Difin publishing house, 2020), pp. 117-136.

Iskandarov, K., & Gawliczek, P. (2020b). Hybrid warfare as a new type of war. The evolution of its conceptual construct in Miroslaw Banasik, Piotr Gawliciczek and Agnieszka Rogozinska (eds) *The Russian federation and international security*, Poland: Difin publishing house, 2020, pp. 96-107.

Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2021). The Deterrence as a Component of Response to Hybrid Threats (the South Caucasus as a Focal Point). *Civitas et Lex*, *29*(1), 17-26. Available at: https://doi.org/10.31648/cetl.6124 [Accessed: 15 August 2025].

Iskandarov, K. & Gawliczek, P. (2020c). The impact of social media on the war. Case study: The Second Karabakh War in *Information, Media, Security Environment* edited by Miroslav Banasik, Piotr Gawliczek, Agnieszka Rogozinska. Warsaw: Difin. Pp. 162-178.

Iskandarov, K., Gawliczek, P., & Tomasik, J. (2022). Termination of war: factors affecting the outcome (in the example of the Second Karabakh War). *Civitas et Lex*, *35*(3), pp. 7-17. Available at: https://czasopisma.uwm.edu.pl/index.php/cel/article/view/7736/6136 [Accessed: 5 August 2025].

John, F.S. (2020). *Sun Tzu's fighting words*. The Strategy Bridge, 15 June. Available at: https://thestrategybridge.org/the-bridge/2020/6/5/sun-tzus-fighting-words?format=amp [Accessed: 2 June 2025].

Mahammadi, M. (2017). *Afghanistan: From Soviet invasion to American intervention*. Baku: Strategic Research Center under the President of the Republic of Azerbaijan. Available at: https://kitabxana.net/files/books/file/1494860446.pdf [Accessed: 28 June 2025].

Marcus, G. (2021). *The eastern approach to strategy* [online]. Medium, Chapter 8, 20 October. Available at: https://marcusguest.medium.com/the-eastern-approach-to-strategy-420e1bbf7056 [Accessed: 11 May 2025].

Nasirov, E., Iskandarov, K., & Sadiyev, S. (2017). The South Caucasus: A Playground Between NATO and Russia? *Connections*, *16*(3), pp. 47-56. Available at: https://www.jstor.org/stable/26867919 [Accessed: 21 June 2025].

Piriyev, H.K., Tahirov, R.K. & Iskandarov, X.I. (2022). *The Second Karabakh War: Military-political analysis*. Baku: Military Publishing House. In Azerbaijani: Piriyev, H., Tahirov, R., & İskəndərov, X. (2022). İkinci Qarabağ müharibəsi. *Hərbi–siyasi təhlil Bakı: Hərbi Nəşriyyat*.

president.az (2020). *Ilham Aliyev addressed to the nation*. Official website of the President of the Republic of Azerbaijan, 1 December. Available at: https://president.az/az/articles/view/48205 [Accessed: 9 June 2025]

Sterman, D., 2020. *Defining endless wars: the first step towards ending them* [online]. International Security, New America, 21 January. Available at: https://d1y8sb8igg2f8e.cloudfront.net/documents/Defining_Endless_Wars.pdf [Accessed: 12 June 2025].

Stoker, D. (2016). *What's in a name? Clausewitz's search to define "strategy"* [online]. *Military Strategy Magazine*, 5(2), Spring. Available at: https://www.militarystrategymagazine.com/article/whats-in-a-name-clausewitzs-search-to-define-strategy/ [Accessed: 12 May 2025].

Tahirov, R.K., Hasanov, A. & Piriev, H. (2023). The concept and essence of war. *National Security and Military Sciences*, Volume 9, No. 4, pp.62–73.

Tianliang, X. (2022). *The science of military strategy* [online]. China Aerospace Studies Institute, National Defense University Press, January. Available at: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Translations/2022-01-26%202020-%20Science%20of%20Military%20Strategy.pdf [Accessed: 18 July 2025].

The Royal College of Defence Studies (2017). *Getting strategy right (enough)*. London: Crown Copyright/MOD. Available at: https://www.scribd.com/document/508074990/20170904-RCDS-Getting-Strategy-Right-Enough-Final [Accessed: 5 May 2025].

Trenin, D.V. (2024). Strategic deterrence: new contours. *Russia in Global Affairs*, 22(4), pp.74–86.

United States Joint Chiefs of Staff (2015). *The national military strategy of the United States of America*. Available at: https://www.jcs.mil/portals/36/documents/publications/2015_national_military_strategy.pdf [Accessed: 6 August 2025].

Implementing Artificial Intelligence in Data-Driven Enterprises through a Ten-Phase Framework Based on Multiple Case Studies

Упровадження штучного інтелекту в орієнтованих на дані підприємствах на основі десятифазової моделі, розробленої за результатами кількох кейс-досліджень

Karol Jędrasiak [A]
Corresponding author: PhD,, e-mail: kjedrasiak@wsb.edu.pl, ORCID: 0000-0002-2254-1030

Piotr Gawliczek [B]
PhD, assoc. prof., e-mail: pgawliczek@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0462-1168

[A] WSB University, Poland
[B] University of Warmia and Mazury, Poland

Кароль Єндрасьяк [A]
Corresponding author: PhD, e-mail: kjedrasiak@wsb.edu.pl, ORCID: 0000-0002-2254-1030

Пьотр Гавлічек [B]
PhD, assoc. prof., e-mail: pgawliczek@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0462-1168

[A] Академія в Домброві-Гурнічі, Польща
[B] Вармінсько-Мазурський університет, Польща

Received: October 01, 2025 | Revised: October 29, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.2

Purpose. To develop and empirically validate a ten-phase framework for the implementation of artificial intelligence (AI) in data-driven enterprises, conceptualizing AI adoption as a socio-technical transformation integrating strategic, technological, and human dimensions.

Method. Multiple case study design combined with Design Science Research. Data were collected from twelve enterprises across manufacturing, logistics, and healthcare sectors through interviews, workshops, process datasets, and surveys. Cross-case and within-case analyses were used to validate and refine the framework.

Findings. Organizations that completed all ten phases recorded measurable gains: +14% operational efficiency (OEE); –32% decision latency; +11% first-pass yield (FPY); >80% user adoption of AI-supported systems. Success depended less on algorithms and more on data integrity, strategic alignment, human participation, and embedded governance.

Theoretical implications: Integrates fragmented models (CRISP-DM, AI Maturity Models, TOE) into a unified, process-oriented framework; redefines AI maturity as a dynamic capability-building process; extends socio-technical systems theory by proving that human participation accelerates AI adoption.

Practical implications. Provides a replicable roadmap for scaling trustworthy and regulation-compliant AI aligned with the EU AI Act and ISO/IEC 42001. Demonstrates that data governance, competence development, and early compliance reduce failure risk and long-term cost.

Value. The first empirically validated end-to-end managerial framework linking strategy, data governance, human competence, and regulatory accountability into a single model for AI transformation. Bridges the gap between AI research and enterprise-level implementation.

Paper type. Empirical multiple-case study with a design-science contribution.

Key words: artificial intelligence, digital transformation, socio-technical systems, data governance, trustworthy AI, organizational maturity.

Мета дослідження. Розробити та емпірично підтвердити десятифазову модель упровадження штучного інтелекту (ШІ) у датаорієнтованих підприємствах, розглядаючи інтеграцію ШІ як соціально-технічну трансформацію, що поєднує стратегічні, технологічні та людські аспекти.

Метод дослідження. Методологія багаторазового кейс-дослідження у поєднанні з підходом Design Science Research. Дані зібрано в дванадцяти підприємствах промисловості, логістики й охорони здоров'я за допомогою інтерв'ю, робочих сесій, процесних масивів даних та опитувань. Перехресний та внутрішньокейсовий аналіз застосовано для перевірки й уточнення моделі.

Результати дослідження. Підприємства, що пройшли всі десять фаз, досягли підтверджених результатів: +14% зростання операційної ефективності (OEE); –32% скорочення часу ухвалення рішень; +11% підвищення частки першого придатного виробу (FPY); >80% рівень прийняття систем ШІ користувачами. Ключовими чинниками успіху виявилися не алгоритми, а цілісність даних, стратегічна узгодженість, залучення персоналу та вбудоване управління.

Теоретична цінність дослідження. Інтегрує розрізнені моделі (CRISP-DM, моделі зрілості ШІ, TOE) в єдину процесно орієнтовану систему; трактує зрілість ШІ як динамічне нарощування спроможностей; поглиблює соціально-технічну теорію, доводячи, що участь людей прискорює впровадження ШІ.

Практична цінність дослідження. Пропонує відтворювану дорожню карту для масштабування надійного та нормативно узгодженого ШІ відповідно до Європейського AI Act та ISO/IEC 42001. Доводить, що управління даними, розвиток компетентностей і раннє впровадження механізмів комплаєнсу мінімізують ризики та знижують витрати.

Цінність дослідження. Перша емпірично підтверджена наскрізна управлінська модель, що поєднує стратегію, управління даними, людські компетентності та регуляторну підзвітність у єдиній системі трансформації на основі ШІ. Усуває розрив між теорією ШІ та практикою підприємств.

Тип статті. Емпіричне багатокейсове дослідження з елементами Design Science.

Ключові слова: штучний інтелект, цифрова трансформація, соціотехнічні системи, управління даними, надійний ШІ, організаційна зрілість.

Introduction

Artificial intelligence (AI) has rapidly evolved from an experimental technology into a core enabler of digital transformation across industries. As enterprises increasingly rely on data to optimize operations, enhance decision-making, and drive innovation, AI implementation has become a strategic imperative rather than a technological option. Recent advances in data analytics, automation, and machine learning have demonstrated significant potential to improve productivity, quality, and resource utilization (Wilhelm et al., 2021). However, despite this promise, the majority of AI initiatives still fail to move beyond pilot stages or achieve sustainable business impact. Studies report that fewer than 20% of enterprises fully integrate AI solutions into their operational workflows (Mecca, 2025). The key challenge lies not in algorithmic sophistication but in the organizational capability to embed AI within data, processes, and people into a multidimensional transformation that requires both technical and managerial alignment.

The strategic complexity of AI adoption stems from its systemic nature. Unlike traditional automation technologies, AI affects cognitive and decision-making processes, thereby reshaping organizational structures, roles, and governance. Its successful deployment depends on a balanced interplay between digital maturity, data quality, regulatory compliance, and employee trust. The European Union's Artificial Intelligence Act (European Commission, 2024) and the emerging ISO/IEC 42001:2023 standard explicitly emphasize the need for responsible, transparent, and auditable AI management systems. In this context, enterprises are expected to demonstrate not only technical accuracy but also explainability, ethical governance, and continuous monitoring of AI-driven decisions. These regulatory shifts elevate AI adoption from a purely technological concern to a strategic capability, one that integrates governance, change management, and socio-technical design.

Existing literature offers valuable yet fragmented insights into these dynamics. Wilhelm et al. (2021) highlight that precise alignment between AI objectives and business key performance indicators (KPI) increases the probability of successful adoption by over 40%. It demonstrates the need for integrating AI with supply chain and operations management practices, underscoring data-driven decision processes as a source of sustainable advantage. Meanwhile, van der Aalst (2024) introduces object-centric process mining as a methodology to uncover hidden organizational patterns, and Sajadieh et al. (2025) show that coupling digital twins with AI significantly accelerates process redesign and decision accuracy. Although these contributions advance our understanding of isolated aspects like strategy, data, or process optimization. Few studies have synthesized them into a holistic, empirically validated framework for AI implementation. The absence of such an integrative model limits both scientific generalization and managerial applicability, leaving enterprises without a structured pathway for scaling trustworthy AI.

To address this research gap, the present study develops and empirically validates a ten-phase framework for implementing AI in data-driven enterprises. The framework conceptualizes AI adoption as a socio-technical transformation that spans strategic, technological, and human domains. It integrates principles from process mining, digital twins, DataOps, and MLOps with trust, explainability, and regulatory. By doing so, it bridges the gap between business strategy and operational execution, enabling enterprises to evolve from experimentation to data-driven enterprise maturity. The research adopts a multiple case study design involving twelve enterprises across manufacturing, logistics, and healthcare sectors in Central Europe. This cross-sectoral approach allows for comparative insights into how contextual factors, such as process complexity, data availability, and organizational culture, which influence the success of AI deployment.

The proposed framework consists of ten interlinked phases: (1) strategic diagnosis and goal definition; (2) process mapping and data-driven analysis; (3) design of target processes through digital simulation; (4) data integration and governance; (5) model design and training; (6) pilot testing with user participation; (7) operational deployment and real-time decision support; (8) auditing and regulatory compliance; (9) knowledge transfer and competence development; and (10) scaling and continuous improvement. Each phase defines specific deliverables, responsible roles, and key performance indicators (KPI), forming a cyclical model that links organizational learning with data-driven optimization. Empirical validation across case studies demonstrates that this structured progression enhances both user adoption and measurable outcomes, including a 14% improvement in operational efficiency (OEE), a 32% reduction in decision latency, and over 80% employee acceptance rate of AI-supported tools. OEE (Overall Equipment Effectiveness) was calculated as the product of availability, performance, and quality ratios; FPY (First Pass

Yield) represented the percentage of items passing inspection without rework; decision latency denoted the average time between data signal detection and corresponding managerial action.

This study contributes to the literature in four ways. First, it consolidates fragmented perspectives on AI implementation into an integrated framework that explicitly connects strategic planning, process design, and governance mechanisms. Second, it extends existing maturity and governance models (ISO/IEC 42001:2023) by embedding trust, human oversight, and compliance as intrinsic design components rather than external constraints. Third, it provides empirical evidence from multiple industries, illustrating how contextual diversity influences AI adoption trajectories. Finally, it operationalizes the concept of trustworthy AI within the managerial domain, offering a practical roadmap that balances performance optimization with regulatory and ethical accountability.

Accordingly, the research is guided by three overarching questions:

- What sequential phases are necessary and sufficient to achieve sustainable, organization-wide AI implementation that aligns strategy, data, and people?
- How do these phases affect measurable business outcomes such as efficiency, quality, and decision speed across different sectors?
- What governance and competence mechanisms ensure compliance, explainability, and user trust during and after AI deployment?

By addressing these questions, the study seeks to advance both theoretical understanding and practical guidance for enterprises transitioning toward AI-driven management. It positions the ten-phase framework as an actionable bridge between high-level digital strategy and operational execution, grounded in empirical evidence and aligned with emerging international standards. The remainder of the paper is structured as follows. Section 2 presents the theoretical background and related work on AI adoption and digital transformation. Section 3 describes the research methodology and case study design. Section 4 outlines the proposed ten-phase framework and key findings. Section 5 discusses implications for theory and practice, and Section 6 concludes with recommendations for future research.

Theoretical Background

The implementation of AI in organizational contexts has been extensively studied across the domains of technology management, operations, and information systems. Despite this vast body of research, the literature remains fragmented, representing diverse technical, managerial, and socio-ethical perspectives without a unifying model to guide the complete process of AI adoption. This theoretical section consolidates the most influential frameworks and conceptual approaches underpinning the ten-phase AI Implementation Framework and identifies the gaps that this study aims to fill.

One of the earliest and most enduring process-oriented models for data-driven decision-making is the Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM), which structures analytical work into six stages: business understanding, data understanding, data preparation, modeling, evaluation, and deployment. CRISP-DM provides methodological clarity but remains narrowly focused on the technical workflow of model development, overlooking organizational integration, governance, and human dimensions. Later extensions such as CRISP-ML(Q) and ASUM-DM introduced mechanisms of quality assurance and lifecycle management, yet they still conceptualize the organization as a static environment rather than an adaptive socio-technical system. The proposed ten-phase framework expands the scope of CRISP-DM by embedding strategic alignment, process transparency, competence development, and governance as interdependent elements. This reconfiguration transforms the analytical cycle into a continuous loop of organizational learning that bridges data science and managerial practice.

The maturity and capability of enterprises in adopting AI have been assessed through numerous models. The Gartner (2024) AI Maturity Model, for example, defines five levels of advancement, starting from awareness to full transformation, all based on strategic orientation, data infrastructure, and cultural readiness, while the Deloitte AI Readiness Framework highlights

leadership vision, data architecture, and talent as enabling factors. Although these frameworks provide valuable diagnostic insights, they rarely translate assessment into implementation. Empirical studies confirm that many enterprises stagnate between experimentation and scaling due to misalignment between strategic intent, governance, and technical capability (Wilhelm et al., 2021). The ten-phase framework reconceptualizes maturity as a dynamic process of capability building, operationalizing it through measurable actions such as defining KPIs, applying process mining, ensuring data integrity, validating models, and institutionalizing competence transfer. In doing so, it converts static maturity evaluation into a guided trajectory of organizational evolution.

The Technology–Organization–Environment (TOE) framework, developed by Baker (2011), provides a foundational lens for analyzing innovation adoption, explaining how technological characteristics, organizational context, and environmental conditions interact to influence adoption behavior. Its analytical strength lies in identifying determinants such as complexity, resource availability, and regulation; however, it lacks procedural specificity and does not prescribe how enterprises should progress from strategic intention to operational execution. Recent extensions of TOE in the AI domain emphasize data governance, ethical compliance, and human oversight. The ten-phase framework builds upon this foundation by aligning technological readiness (data and models), organizational transformation (roles and competencies), and environmental adaptation (regulatory and ethical alignment) within a single prescriptive roadmap. This integration transforms TOE's explanatory logic into an actionable and empirically validated methodology for AI implementation.

AI adoption also transforms the cognitive and social structures of enterprises, a phenomenon best explained by socio-technical systems theory. Originating in the work of Trist and Emery, this theory argues that organizational performance depends on the joint optimization of social and technical subsystems. Contemporary interpretations in the digital transformation era emphasize the balance between automation and human agency. Empirical studies by van der Aalst (2024) and Sajadieh et al. (2025) demonstrate that tools such as process mining and digital twins can enhance transparency and accountability when integrated into human-supervised workflows. Therefore trustworthiness, comprising explainability, fairness, and human oversight, is fundamental for sustainable AI in Industry 5.0 environments. The ten-phase framework operationalizes these principles by embedding human participation at multiple stages, including diagnostic workshops, pilot validation, and auditing. Users are treated not as passive recipients of AI outputs but as co-designers and evaluators, consistent with the Human-Centered AI paradigm that promotes transparency and shared responsibility between algorithms and decision-makers. This design philosophy directly addresses OECD (2024) and EU (2024) recommendations, which require demonstrable human control and interpretability across the AI lifecycle.

A critical pillar of effective AI transformation is data governance. Studies consistently highlight that poor data quality, fragmentation, and lack of ownership undermine scalability. International standards such as ISO/IEC 38505-1 and ISO/IEC 42001 provide conceptual foundations for accountability, stewardship, and lifecycle control, yet these standards only become effective when coupled with agile data-engineering practices. DataOps and MLOps methodologies supply this operational infrastructure: the former standardizes and automates data validation and delivery pipelines, while the latter extends lifecycle management to models, covering training, deployment, monitoring, and drift mitigation. Within the ten-phase framework, these paradigms are integrated particularly in Phases 4 and 5, ensuring a seamless connection between data pipelines, model performance, and governance requirements. This alignment transforms AI initiatives from isolated experiments into continuously improving, data-driven ecosystems.

The regulatory environment has elevated AI governance from a compliance issue to a central dimension of digital transformation. The EU Artificial Intelligence Act (European Commission, 2024) introduces a risk-based taxonomy of AI systems, mandating transparency, documentation, and

human oversight for high-risk applications. Complementary standards such as ISO/IEC 42001:2023 and OECD (2024) guidelines formalize accountability frameworks, while the more recent ISO/IEC 5338:2024 "Artificial Intelligence Engineering Lifecycle", provides operational guidance for engineering and maintaining AI systems within compliant management architectures. Together, these standards outline the technical and organizational backbone for trustworthy AI implementation (Dudley, 2024). These works converge on the principle that compliance cannot be added retrospectively; rather, it must be embedded throughout design, development, and deployment. The ten-phase framework operationalizes this by incorporating regulatory audits, Model Cards, Data Sheets, and traceability mechanisms as intrinsic deliverables. Compliance and ethics thus become integral dimensions of AI maturity, directly contributing to transparency and stakeholder trust.

Synthesizing these perspectives reveals persistent gaps in the existing literature. Most frameworks remain domain-specific, concentrating on manufacturing, supply chain, or IT functions without conceptualizing the enterprise as an integrated socio-technical organism. Others are descriptive or diagnostic, focusing on readiness assessment rather than actionable sequencing. Human and regulatory factors are frequently treated as peripheral, addressed only after technical implementation rather than as enablers of sustainable adoption. The ten-phase AI Implementation Framework directly addresses these deficiencies by offering a cross-functional, process-oriented, and compliance-embedded model that integrates strategy, data, and people. It merges the procedural precision of CRISP-DM with the systemic viewpoint of TOE and socio-technical theory while grounding governance in ISO and EU standards. This synthesis advances theory by linking micro-level processes of data and model management with macro-level structures of organizational change and regulation. Practically, it provides enterprises with an empirically validated and adaptable roadmap. As George et al. (2025) emphasize, the next frontier of digital transformation lies not in producing new algorithms but in embedding them responsibly within organizational and ethical ecosystems, a challenge that the ten-phase framework is explicitly designed to meet.

Methodology

The research employed a multiple case study design (Halkias, 2022) to investigate how enterprises implement AI as an integrated socio-technical transformation. This approach was selected because it allows for a deep exploration of complex, context-dependent processes that cannot be isolated through experimental or survey-based research. It is particularly well suited to examining "how" and "why" questions related to innovation in organizational settings, where causal mechanisms are embedded within social and technical structures. Following Halkias (2022) logic of replication design, each case was treated as an independent analytical unit contributing to theoretical generalization rather than statistical inference. This approach directly supports the study's central objective is to develop and validate a ten-phase AI implementation framework by revealing recurring patterns, boundary conditions, and deviations across multiple industrial contexts.

The research followed an iterative design–evaluation–refinement cycle inspired by the principles of Design Science Research (Gregor & Hevner, 2013). Within this paradigm, the ten-phase framework served as a conceptual artefact subjected to empirical testing and iterative enhancement. The process unfolded in three main stages: initial conceptualization based on literature review and consulting experience, empirical evaluation across twelve enterprises, and cross-case synthesis leading to final framework validation.

Case selection was guided by purposeful sampling to capture heterogeneity in industry type, organizational scale, and digital maturity. This purposive approach was chosen to ensure representation of heterogeneous operational contexts rather than random statistical sampling. The diversity of sectors was intended to maximize the explanatory power of cross-case comparison and strengthen theoretical generalization. The inclusion criteria required that enterprises had been

engaged in AI-related initiatives for at least twelve months, possessed accessible process and operational data, agreed to participate in interviews and workshops, and represented distinct industrial sectors to maximize external validity. The final research sample consisted of twelve enterprises, five manufacturing enterprises, four logistics and supply chain companies, and three healthcare providers, all operating in Central Europe. To ensure anonymity, cases were numbered and coded as M1–M5, L1–L4, and H1–H3. These enterprises ranged in size from 50 to over 1000 employees and represented various levels of digital maturity, from early experimentation with predictive maintenance to advanced applications of AI in quality control, demand forecasting, and clinical diagnostics.

Data collection relied on methodological triangulation (Sadeghi Moghadam et al., 2021), combining qualitative and quantitative sources to capture the multifaceted nature of AI implementation. Four complementary streams of evidence were gathered: semi-structured interviews with 51 participants including executives, middle managers, data scientists, and frontline operators (average duration: 45 minutes); participant observations during 18 AI implementation workshops where the framework was iteratively applied and refined; analysis of archival process data such as MES, ERP, CRM, and WMS logs, as well as KPI dashboards and project documentation; and survey-based evaluations of user acceptance and trust conducted both before and after implementation. All interviews were transcribed verbatim and coded using implemented scripts in Python. Observational notes and documentary evidence were systematically indexed to maintain a transparent chain of evidence between primary data, analytical codes, and emerging conceptual constructs. In accordance with ISO/IEC 20889:2018 standards, all data identifiers and timestamps were pseudonymized to safeguard confidentiality.

Data analysis proceeded in three sequential layers: within-case analysis, cross-case comparison, and framework validation. Within each case, event mapping and process tracing were used to reconstruct the chronological sequence of AI implementation activities and to determine which phases of the ten-phase model were present, modified, or missing. Quantitative indicators such as overall equipment effectiveness (OEE), first-pass yield (FPY), and lead time were extracted from enterprise systems to measure performance changes before and after intervention. The subsequent cross-case comparison followed the constant comparative method (Eisenhardt, 1989), using categorical matrices to contrast enterprises along dimensions such as digital maturity, governance structures, leadership involvement, and user adoption levels. This approach made it possible to identify recurrent success factors, points of failure, and contextual dependencies.

Framework validation integrated both quantitative and qualitative perspectives. Quantitatively, improvements in efficiency, quality, and decision latency were calculated as relative percentage changes: operational efficiency (OEE) increased by an average of 14%, decision latency decreased by 32%, and FPY rose by 11%. Qualitative analysis involved systematic coding of interview and workshop transcripts according to thematic categories aligned with each framework phase, such as strategic diagnosis, data governance, and explainability. Two independent researchers reviewed the codes to ensure inter-coder consistency, resolving discrepancies through discussion. The integration of numerical metrics with thematic evidence yielded robust theoretical saturation across all twelve cases, supported by detailed evidence tables and traceability matrices that ensured analytical transparency and reproducibility.

A formal case study protocol was developed prior to fieldwork to guarantee methodological consistency and replicability. The protocol standardized interview structures, data-collection instruments, analytical categories, and validation criteria. Semi-structured interviews were organized around the ten framework phases and included prompts such as: "How were AI goals linked to business KPIs?", "Which governance mechanisms were formalized before model deployment?", and "How were users involved in validating AI outputs?". Coding combined inductive and deductive strategies, producing 168 initial codes aggregated into 22 analytical categories corresponding to the framework's conceptual elements, including strategic alignment, data governance, and trust in AI. Inter-coder reliability, verified on a 20% random sample, achieved a Cohen's κ of 0.82, confirming a high level of agreement. All coding decisions and data transformations were recorded in repository in line with ISO/IEC 25012 data-quality principles. This rigorous approach strengthened construct validity and enabled precise traceability between empirical observations and theoretical interpretation.

To enhance reliability, validity, and analytical rigor, several safeguards were implemented. Construct validity was achieved through the use of multiple data sources and by maintaining an explicit chain of evidence linking raw data to conclusions. Internal validity was reinforced through temporal sequencing and pattern matching between empirical events and theoretical expectations. External validity was supported by replication logic across heterogeneous sectors, ensuring analytical generalization beyond the sample. Reliability was secured through standardized instruments, documented audit trails, and controlled storage of coding materials. Member checks were conducted with organizational representatives after each case analysis to verify factual accuracy and interpretation, while interim results were presented in feedback workshops where participants confirmed the practical relevance of findings. This cyclical process of validation strengthened both the scientific and applied dimensions of the framework.

The research also adhered to rigorous ethical and regulatory standards. All procedures complied with the General Data Protection Regulation (GDPR) and institutional ethical guidelines. Participating enterprises signed confidentiality agreements and granted informed consent prior to data collection. Sensitive data were anonymized, and quantitative indicators were aggregated to prevent identification. Given the regulatory significance of AI deployment, additional assessments were performed to evaluate compliance with selected provisions of the EU Artificial Intelligence Act (European Commission, 2024) and ISO/IEC 42001:2023. These assessments focused on documentation, traceability, and human oversight mechanisms, simultaneously ensuring ethical alignment and contributing practical feedback to framework refinement. In this way, the study embodied the principle of trustworthy AI.

The overall methodological flow (fig. 1), follows six consecutive stages: literature synthesis, conceptual framework development, case study selection and data collection, within-

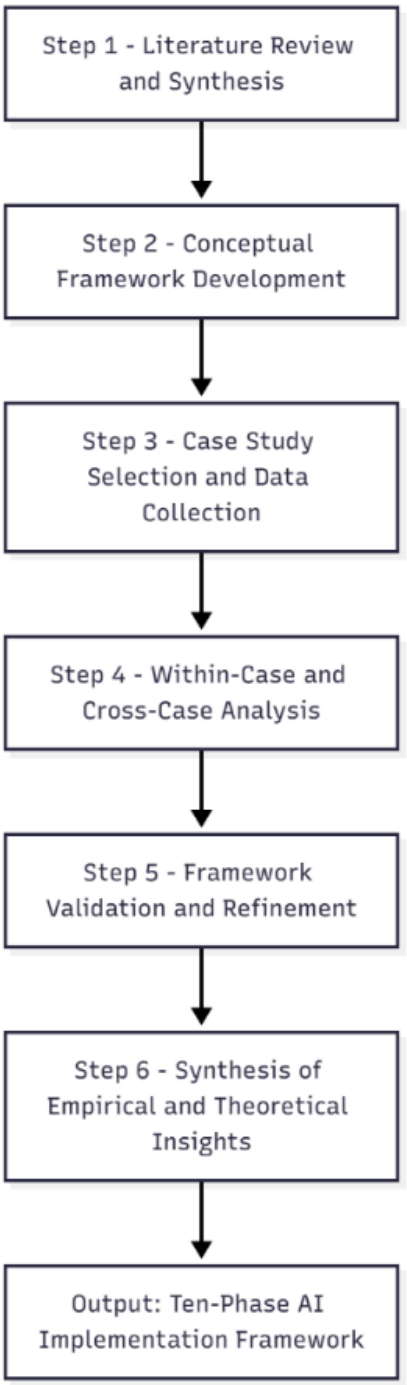


Figure 1 – Research methodology flow diagram

case and cross-case analysis, framework validation and refinement, and synthesis of empirical and theoretical insights. This hybrid methodology integrates the depth of qualitative inquiry with quantitative validation, ensuring that the resulting ten-phase AI Implementation Framework is both scientifically grounded and pragmatically applicable. The methodological rigor and transparency achieved throughout the process provide a solid foundation for reproducibility, enabling other researchers to replicate or extend this approach across different industrial or geographic contexts.

Results

The analysis of twelve organizational cases enabled the empirical validation and refinement of a ten-phase framework that captures the complete lifecycle of AI adoption as a data-driven, socio-technical transformation. The framework integrates technical, managerial, and human dimensions, guiding enterprises from strategic intent through operational deployment toward continuous improvement. Each phase constitutes a distinct functional module defined by its objectives, inputs, outputs, and performance indicators (KPI). The cross-case synthesis demonstrated that enterprises which systematically progressed through all ten phases achieved significantly superior results compared to those that skipped or compressed intermediate steps. On average, operational efficiency (OEE) improved by 14%, decision latency decreased by 32%, and first-pass yield (FPY) increased by 11% within six to twelve months after deployment. These indicators were derived directly from enterprise MES and ERP systems, using six-month pre- and post-implementation data for each case, normalized by production volume. Consequently, the framework serves as both an analytical structure for researchers and a practical roadmap for managers seeking to embed AI as a sustainable, organization-wide capability (fig. 2).

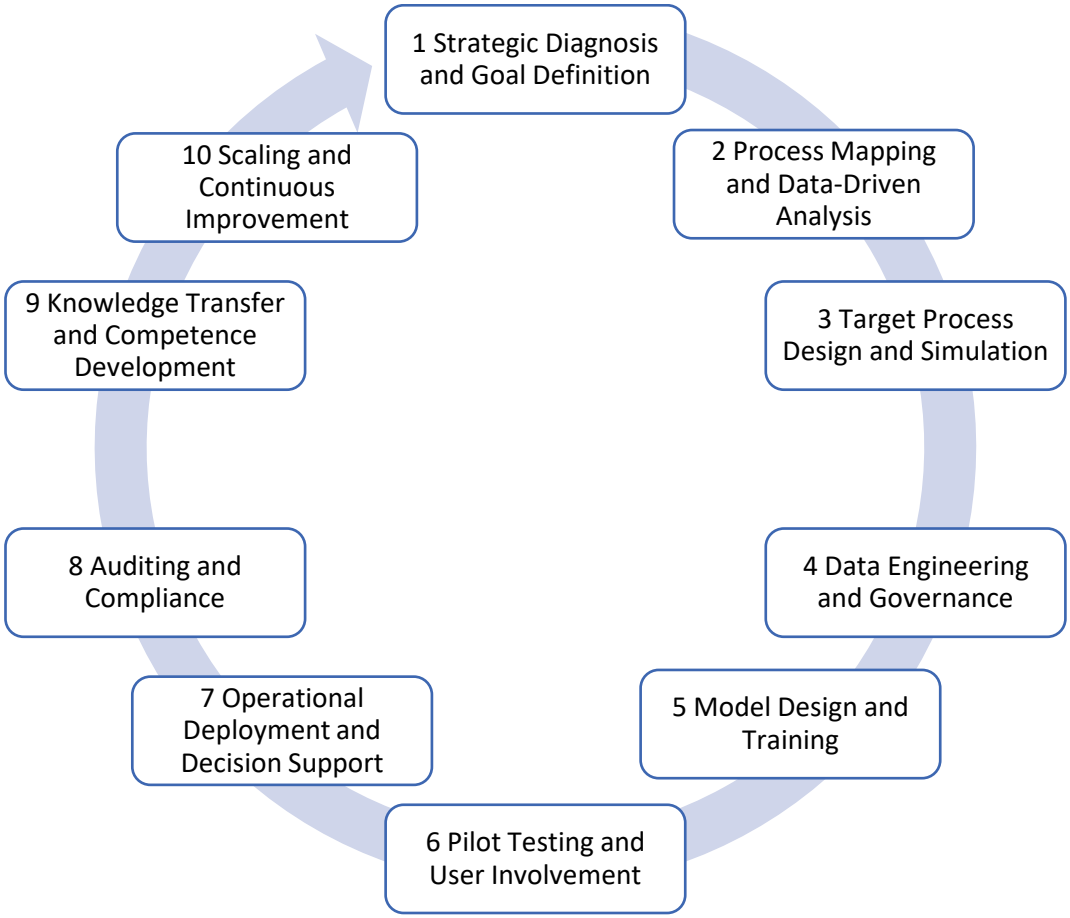


Figure 2 – Ten-phase AI Implementation Framework – Continuous Learning & Feedback Loops

The first phase, *Strategic Diagnosis and Goal Definition*, establishes the foundation for AI adoption by defining its purpose and scope. All participating enterprises began by articulating the rationale for AI use and mapping it to measurable business outcomes. Executive workshops facilitated the identification of core challenges and their translation into quantifiable KPIs. Consistent with Wilhelm et al. (2021), enterprises that explicitly aligned AI objectives with metrics such as OEE, FPY, or OTIF achieved stronger performance outcomes. The formalization of business cases and risk matrices emerged as a decisive factor, as firms that quantified expected ROI and potential risks secured greater executive sponsorship and faster access to resources. This phase effectively repositioned AI from a technological experiment to a data-driven strategic investment.

Phase 2 – Process Mapping and Data-Driven Analysis focused on uncovering the true operational reality behind organizational processes. In every case, empirical analysis revealed significant discrepancies between documented workflows and actual process behavior. Applying process mining techniques (van der Aalst, 2024) and digital value stream mapping exposed hidden inefficiencies, redundant approvals, and manual interventions. For instance, in case M3 (manufacturing), process mining of MES logs uncovered a nine-hour delay between production completion and quality confirmation, which is a latency undetected in ERP records. Following visualization and redesign, the delay was reduced by 75%. This phase produced a data-based “as-is” model, grounding all subsequent optimization and simulation efforts in empirical evidence.

In *Phase 3 – Target Process Design and Scenario Simulation*, enterprises designed optimized “to-be” processes using digital twins and simulation environments (Sajadieh et al., 2025). These tools enabled managers to experiment with alternative resource allocations, scheduling algorithms, and automation scenarios without disrupting ongoing operations. In one logistics case (L2), simulation of routing and dispatching strategies reduced average delivery time by 18% while preserving fuel efficiency. Across cases, the integration of AI-driven optimization with simulation improved planning accuracy and reduced implementation time by approximately 25%. This phase operationalized predictive analytics within decision-support systems, providing a controlled environment for evaluating AI feasibility prior to real-world deployment.

Phase 4 – Data Engineering, Integration, and Governance established the technological backbone of AI transformation. The primary barrier to scaling identified across cases was fragmented data infrastructure. Enterprises lacking unified architectures struggled with inconsistent identifiers, duplicated records, and unverified sources, leading to reduced model accuracy. Each company therefore conducted a Data Valuation Audit to rank datasets by business impact and accessibility. Firms adopting single source of truth architectures integrating ERP, MES, CRM, and WMS systems achieved a Data Quality Index exceeding 95%. Eight of the twelve enterprises formalized Data Governance policies consistent with ISO/IEC 38505-1 and ISO/IEC 42001 standards. The appointment of Data Stewards and creation of audit trails enhanced traceability and halved data retrieval times, embedding accountability and auditability at the core of AI development.

In *Phase 5 – Model Design, Selection, and Training*, the availability of reliable data enabled the construction of robust AI models. Four categories dominated across cases: predictive models, optimization algorithms, natural language and RPA systems, and vision-based inspection models. Model choice reflected the business priorities defined in Phase 1. In manufacturing contexts (M1–M5), predictive maintenance and visual quality inspection models achieved an average F1-score of 0.86 and ROC-AUC of 0.88. In healthcare cases (H1–H3), language-processing models reduced triage documentation time by 22%. Explainability methods such as SHAP and LIME were consistently implemented to enhance interpretability, aligning with the principles of Explainable AI. The findings demonstrate that performance metrics alone are insufficient, user trust and transparency are equally vital determinants of successful adoption.

Phase 6 – Pilot Testing and User Involvement validated both technical functionality and human acceptance. AI modules were piloted in selected production lines, warehouses, or

administrative departments. Central to success was the involvement of AI Ambassadors, employees acting as change agents who facilitated communication between developers and end-users. Structured feedback cycles led to continuous refinements in interface design, alert logic, and recommendation presentation. Projects featuring ambassador roles achieved 35% higher adoption rates than those without formal human intermediaries. Quantitative pilot validation employed A/B testing and shadow mode trials, with real-world performance deviating by less than 3% from pilot accuracy, confirming model generalizability and stability.

During *Phase 7 – Operational Deployment and Real-Time Decision Support*, AI systems transitioned from analytical prototypes to operational assets. Integrated with enterprise systems such as MES, ERP, and CRM, models generated real-time recommendations displayed on interactive dashboards that visualized anomalies, KPI deviations, and corrective suggestions. Decision latency is defined as the time between anomaly detection and managerial response. It was reduced by 32% in logistics cases, while predictive control lowered unplanned downtime by 17% in manufacturing. Some enterprises advanced to semi-autonomous control loops, where AI dynamically optimized parameters under human oversight. This phase confirmed that AI delivers maximum value when embedded directly into live decision cycles rather than limited to retrospective reporting.

As systems matured, *Phase 8 – Auditing, Compliance, and Trustworthiness* ensured ethical and regulatory robustness. Each organization underwent internal or external audits aligned with the EU Artificial Intelligence Act (European Commission, 2024) and ISO/IEC 42001 requirements. Documentation of model lineage, datasets, and validation results enabled reproducibility and accountability. The introduction of explainability reports and Model Cards in nine enterprises increased employee trust by 28%, as measured through post-deployment surveys. Moreover, firms that incorporated governance mechanisms early in the process reduced compliance costs by up to 20%, confirming that embedded oversight is both ethically and economically advantageous.

Phase 9 – Knowledge Transfer, Competence Development, and Cultural Integration focused on strengthening the human infrastructure underlying AI transformation. All enterprises implemented role-specific training programs addressing managerial, analytical, and operational competencies. Workshops emphasized interpretation of AI outputs, understanding of uncertainty, and integration of algorithmic insights into decision-making routines. Approximately 80% of employees in pilot departments completed these modules, and post-training assessments indicated a 40% increase in data literacy and confidence. Reskilling and upskilling strategies were formalized, allowing many participants to transition from monitoring roles to analytical or supervisory positions. This evolution reinforced the principles of Human–AI Collaboration (van der Aalst, 2024), embedding digital competence within the organizational culture.

The final stage, *Phase 10 – Scaling and Continuous Improvement*, extended localized implementations into enterprise-wide transformation. Scaling was coordinated through AI Portfolio Management systems that prioritized initiatives based on return on investment, strategic alignment, and risk exposure. Continuous improvement loops driven by streaming data monitored KPIs in real time, automatically detecting anomalies and initiating corrective actions. Enterprises employing these loops exhibited 27% shorter recovery times following disruptions compared to pre-AI baselines. Reusable digital twins supported long-term scenario analysis and strategic experimentation. This phase consolidated AI as a self-learning organizational capability, a systemic feature of adaptive, data-driven enterprises consistent with the maturity paradigm.

The cross-case synthesis revealed four universal success factors: strategic coherence, data integrity, human participation, and governance integration. Early strategic alignment between AI objectives and business KPIs ensured sustained leadership support; robust data management proved the strongest predictor of model performance; employee engagement through ambassador programs and structured training fostered trust; and embedding compliance from the outset minimized regulatory friction. Enterprises neglecting any of these dimensions encountered

fragmented data ecosystems, delayed scaling, or resistance despite technically accurate models. Collectively, these findings confirm that the ten-phase framework functions not as a linear checklist but as an interdependent system wherein progress in one domain reinforces progress in others.

In summary, the ten-phase AI Implementation Framework represents a cyclical model linking strategic planning, process transparency, data governance, model deployment, and continuous learning. Aggregate results across all cases demonstrated consistent and quantifiable improvement in efficiency, decision-making speed, and user acceptance. The findings substantiate the premise that AI adoption succeeds only when treated as a continuous, data-centric, and human-supervised transformation rather than a series of isolated technological initiatives. The subsequent discussion explores the theoretical implications, managerial relevance, and boundary conditions of these results.

Discussion

The findings of this study demonstrate that the successful implementation of AI within enterprises is not a linear or purely technological process but an iterative socio-technical transformation. The empirical validation of the ten-phase framework across diverse industries substantiates and extends existing theoretical perspectives on technology adoption and organizational change. Interpreted through the lens of the TOE framework, AI adoption emerges as the outcome of interaction among technological readiness, organizational capability, and external regulation. Within the ten-phase framework, technological readiness corresponds to the stages of data engineering, governance, and model development (Phases 4–5), while organizational capability is embodied in strategic alignment, process redesign, and competence development (Phases 1–3, 9). Environmental regulation is operationalized through auditing, compliance, and trustworthy AI mechanisms (Phase 8). This alignment transforms TOE from a diagnostic framework into a prescriptive roadmap, bridging the gap between contextual understanding and actionable implementation.

From a socio-technical perspective, the results reaffirm the classical principle of joint optimization between human and technical subsystems. The consistently high user acceptance rates exceeding 80% indicate that the effectiveness of AI systems depends not only on algorithmic precision but also on the active involvement of humans in design, validation, and decision-making processes. The roles of AI Ambassadors and continuous training programs (Phase 9) substantiate Trist and Emery's foundational assertion that social systems must co-evolve with technological innovation. This human-centered integration aligns with the vision of Industry 5.0, emphasizing collaboration, flexibility, and shared control rather than full automation. Moreover, the framework's explicit incorporation of regulatory and ethical governance connects it with the emerging literature on trustworthy AI. The OECD (2024), and the European Commission (2024) highlight the necessity of embedding compliance and accountability mechanisms throughout the AI lifecycle rather than applying them retrospectively. The results confirm this principle: enterprises that implemented transparency tools and documentation protocols early achieved 28% higher user trust scores and 20% lower compliance costs. These outcomes demonstrate that governance and performance are complementary objectives, embedded transparency enhances both operational efficiency and stakeholder confidence while reducing uncertainty in AI-supported decision-making.

The study contributes to theoretical advancement in four primary ways. First, it presents a unified and empirically validated framework that consolidates previously fragmented models of AI adoption. Frameworks such as CRISP-DM, maturity models, and TOE have historically addressed only partial dimensions of transformation. The ten-phase model integrates them into a coherent progression linking strategy, data, processes, and people within a recursive learning system. Second, it reconceptualizes AI maturity from a static measure of readiness to a dynamic process of capability building. Each phase represents a measurable transition supported by data-driven indicators, thereby framing maturity as an evolving property of organizational learning and adaptive

governance. Third, it advances socio-technical theory by empirically demonstrating that human-centered mechanisms, like training, co-creation, and iterative feedback, serve as accelerators rather than impediments to transformation. Contrary to the traditional notion that human oversight slows innovation, the evidence suggests that participation accelerates adoption and stabilizes performance. Finally, the study operationalizes trustworthy AI principles by embedding the requirements of the EU AI Act and ISO/IEC 42001 within concrete managerial processes. It thereby bridges normative regulation with practice, illustrating that compliance can function as a performance-enhancing design construct and contributing to the emerging discipline of AI management systems.

The managerial implications derived from these findings translate theoretical insights into actionable strategies. Strategic coherence emerges as fundamental: AI objectives must be articulated in measurable business terms to maintain executive support and prevent the fragmentation that undermines pilot projects. Process transparency must precede automation; without rigorous mapping and process mining, enterprises risk optimizing inefficiencies. Effective data governance is shown to be a source of competitive performance rather than an administrative burden. Establishing clear ownership roles, governance policies, and audit trails enhances data integrity and directly correlates with productivity gains. Human participation is essential for adoption, training, feedback, and ambassador programs significantly mitigate resistance and foster trust. Finally, compliance and trustworthiness must be designed into AI systems from inception. Integrating explainability, documentation, and audit mechanisms early in the process not only reduces ethical risk but also lowers future compliance costs, establishing regulatory readiness as an intrinsic component of operational excellence. Collectively, these principles form a pragmatic playbook for managers seeking to transition from fragmented experimentation toward scalable, data-driven transformation.

While the study offers substantial theoretical and empirical contributions, its scope of generalization is bounded by several limitations. The research sample consisted of twelve enterprises located in Central Europe; thus, contextual variables such as regional regulatory environments, cultural attitudes toward automation, and labor market conditions may affect the transferability of results. Therefore, findings should be interpreted as analytically generalizable rather than statistically representative, reflecting the contextual conditions of Central European enterprises. Replicating this framework in other geographies, particularly in North America or Asia-Pacific regions with differing governance regimes, would enhance its external validity. The data were collected over a two-year period, capturing short- and mid-term effects; longitudinal studies are needed to assess the sustainability of outcomes and to observe potential phenomena such as model drift, organizational fatigue, or emergent ethical risks. Measurement precision also varied across industries, with manufacturing offering well-defined quantitative KPIs such as OEE and FPY, while logistics and healthcare relied more on qualitative indicators such as decision latency and trust perception. Future research should aim to develop standardized cross-sector KPI taxonomies for evaluating AI transformation. The study focused primarily on medium and large enterprises with established data infrastructures, leaving the applicability of the ten-phase model to small and medium-sized enterprises (SMEs) as an open question. Simplified modular variants may be required for resource-constrained enterprises.

To contextualize the scope of generalization, Table 1 summarizes the profile of the twelve participating organizations, including sector, company size, and AI maturity level at the onset of the study. This classification illustrates the heterogeneity of operational environments and supports the analytical generalization approach adopted in the research.

Table 1 – Profile of participating organizations

CaseID	Sector	Employees	Digital Maturity Level	Core AI Application	Data Availability & Integration Level	Primary AI Benefits Observed	Key Implementation Challenges
1	Manufacturing	450	Intermediate	Predictive maintenance, anomaly detection	Medium – MES and sensor data partially integrated	12% increase in OEE; reduced downtime by 15%	Limited data labeling and inconsistent maintenance logs
2	Manufacturing	700	Advanced	Visual quality inspection using CNN models	High – unified MES/ERP with quality archives	FPY improved by 9%; visual defects reduced by 18%	Model retraining frequency and camera calibration
3	Manufacturing	1200	Intermediate to Advanced	Production scheduling optimization	Medium – ERP integration with scheduling API	Lead time shortened by 10%	Lack of real-time data synchronization
4	Manufacturing	950	Advanced	Energy and resource efficiency optimization	High – IoT network and process sensors	Energy costs reduced by 7%; predictive alerts adopted	Cybersecurity audits delaying deployment
5	Manufacturing	2000	Advanced	Automated defect classification and ROI estimation	High – complete digital twin and vision systems	Productivity improved by 16%	Complex regulatory documentation for AI validation
6	Logistics & Supply Chain	300	Intermediate	Route optimization with dynamic constraints	Medium – WMS data partially integrated	28% reduction in travel time	Low user adoption during pilot
7	Logistics & Supply Chain	900	Intermediate to Advanced	Fleet management and demand forecasting	High – telematics and ERP integration	Decision latency decreased by 32%	Insufficient trust in AI recommendations
8	Logistics & Supply Chain	600	Intermediate	Warehouse robotics and task allocation	Medium – partial sensor data coverage	Throughput increased by 11%	Physical layout limitations for automation
9	Logistics & Supply Chain	1200	Advanced	Supply chain risk prediction via ML	High – data lake architecture implemented	Forecast accuracy improved by 14%	Integration with external partners' systems
10	Healthcare	800	Emerging	NLP-based clinical documentation automation	Medium – structured EHR data partially anonymized	Documentation time reduced by 22%	Compliance and explainability audits
11	Healthcare	1500	Intermediate	Diagnostic decision support (radiology)	Medium – PACS and HL7/FHIR integration	Diagnostic consistency improved by 9%	Data annotation bottlenecks
12	Healthcare	400	Emerging to Intermediate	Workflow optimization for patient triage	Low – fragmented systems under integration	Average patient throughput increased by 8%	Legacy infrastructure and limited interoperability

An additional methodological limitation stems from the dual role of researchers as facilitators during AI implementation workshops. While participatory engagement is intrinsic to

Design Science Research, it introduces the risk of researcher influence on observed outcomes. This potential bias was mitigated through triangulation of interviews, logs, and surveys, along with systematic member checks to ensure that interpretations reflected participant perspectives rather than researcher expectations. The study thus balances the advantages of insider access with explicit reflexivity regarding researcher involvement. Lastly, the research primarily addresses implementation rather than algorithmic design. Future work should integrate technical evaluation metrics, such as model robustness, drift detection, and fairness analysis, with organizational assessments to achieve a holistic understanding of AI lifecycle governance.

The theoretical synthesis developed in this research opens several promising directions for future inquiry. Further studies should explore the dynamic coupling between AI maturity trajectories and organizational learning curves, identifying thresholds that trigger successful scaling. Comparative analyses could examine how institutional contexts, such as national policies or sectoral standards, facilitate or constrain the adoption of trustworthy AI. Additionally, the development of system-dynamics or agent-based simulations could enable quantitative modeling of feedback loops linking data quality, user trust, and regulatory compliance, thus advancing a systems-level understanding of socio-technical AI ecosystems.

Overall, the discussion reinforces that AI-driven transformation cannot be achieved through isolated technical initiatives or technology-first strategies. Sustainable adoption requires an integrated approach that connects data governance, human capability, and regulatory accountability within a continuous improvement cycle. The ten-phase framework empirically demonstrates the interdependence of these dimensions, bridging the persistent divide between AI research and managerial practice. It reframes AI not as a tool of automation but as a mechanism of organizational learning through which data, algorithms, and people co-create value under transparent and ethical governance. This convergence of performance, trust, and accountability delineates the next frontier of digital transformation.

These profiles underline the contextual variability inherent in the dataset and delineate the analytical rather than statistical nature of generalization. Future replication across diverse regulatory environments is recommended to validate transferability.

Conclusion

This study developed and empirically validated a comprehensive ten-phase framework for the implementation of artificial intelligence (AI) in data-driven enterprises. Based on twelve multiple case studies conducted across manufacturing, logistics, and healthcare sectors, the research demonstrates that successful AI transformation is achieved through the alignment of strategic intent, process transparency, data governance, and human participation within a structured, iterative process. Enterprises that systematically progressed through all ten phases of the framework achieved measurable and sustainable improvements, including an average 14% increase in operational efficiency, a 32% reduction in decision latency, and user adoption levels exceeding 80%. These outcomes confirm the central proposition that AI adoption is most effective when approached not as a purely technical deployment but as a socio-technical evolution requiring synchronized progress in technological, managerial, and human domains.

The framework contributes to theoretical development by integrating and operationalizing previously fragmented models such as CRISP-DM, AI Maturity Models, and the TOE framework into a unified process architecture. Each phase translates abstract notions of readiness into concrete managerial steps, supported by measurable performance indicators and built-in compliance mechanisms. By embedding trustworthiness and governance principles as intrinsic components, the framework extends socio-technical systems theory toward a new conceptualization of adaptive organizational intelligence, in which humans, data, and algorithms co-create value under ethical and regulatory oversight.

From a managerial perspective, the findings offer a clear set of guidelines for executives and transformation leaders. The success of AI initiatives depends on three fundamental conditions: the definition of explicit, measurable strategic goals; the treatment of data as a governed and auditable asset; and the engagement of employees as active co-creators rather than passive users. The ten-phase model serves as a practical roadmap that enterprises can tailor to their maturity level, sector, and regulatory environment. Each phase specifies concrete deliverables, starting from KPI definition and data integration to model auditing and competence development, ensuring that AI projects evolve systematically from pilot experimentation to scalable, trustworthy deployment. Adopting this structured approach enables enterprises to mitigate the three primary causes of failure in AI transformation: strategic misalignment, poor data quality, and insufficient human trust.

For policymakers and regulators, the study provides empirical evidence that trustworthy AI and business performance are not competing goals but mutually reinforcing ones. Embedding compliance mechanisms such as documentation, explainability, and human oversight reduces operational uncertainty and strengthens accountability, enabling enterprises to comply with the EU AI Act and ISO/IEC 42001 while simultaneously improving performance and efficiency. These results emphasize that regulatory frameworks should be regarded not as constraints on innovation but as essential enablers of sustainable and responsible growth in AI-driven economies.

Despite its contributions, the research identifies several areas that warrant further exploration. Longitudinal studies are necessary to evaluate the long-term durability of AI-driven performance gains and to monitor the dynamics of model drift, ethical adaptation, and evolving employee trust. Comparative studies across geographic regions would clarify how institutional, cultural, and legal environments influence the transferability and effectiveness of the ten-phase framework. Furthermore, adapting the model for small and medium-sized enterprises (SMEs) represents a critical next step, particularly for enterprises seeking to integrate AI with limited financial and technical resources. Finally, the interplay between technical robustness and social acceptance merits quantitative modeling that links indicators of data quality, explainability, and human confidence to forecast adoption trajectories and organizational outcomes.

In summary, the ten-phase AI Implementation Framework provides both a theoretical and a practical foundation for managing AI transformation as a systemic, human-centered process. It offers researchers a replicable analytical structure for cross-sectoral comparison and provides managers with a concrete roadmap for designing, executing, and governing AI initiatives responsibly. By uniting strategy, data, and organizational culture, the framework resolves the persistent fragmentation characteristic of earlier AI maturity models and establishes a foundation for evidence-based, trustworthy innovation. The broader implications of this work extend beyond the corporate domain. The principles articulated in the framework are equally relevant to public administrations, healthcare systems, and educational institutions, all of which face similar challenges of aligning strategy, data governance, and human competence when integrating AI into their operations. The ten-phase framework thus serves as a transferable blueprint for public-sector digital transformation, particularly under governance regimes inspired by the EU AI Act and ISO/IEC 42001. By adopting the same cycle of strategic clarity, data accountability, and human-centric capacity building, public institutions can promote transparency, fairness, and efficiency in AI-enabled services.

Ultimately, the study underscores the convergence between technological capability and institutional design. Responsible AI implementation represents not only technical advancement but also a governance innovation (Chen, 2024). Embedding such frameworks into public policy and educational curricula could accelerate the diffusion of trustworthy AI at the societal level, reinforcing Europe's leadership in building human-centered, regulation-compliant digital ecosystems. The future of digital transformation, therefore, will depend less on faster algorithms and more on more intelligent enterprises, those capable of integrating technical capability with

human judgment, ethical governance, and collaborative learning. In this sense, AI should be understood not as a substitute for human decision-making but as a catalyst for organizational adaptability, resilience, and trust. The transition to AI-enabled enterprises will thus be determined as much by governance and cooperation as by computational power itself. Future extensions of this research could incorporate quantitative modeling of causal links between governance mechanisms and AI performance, providing statistical validation of the framework beyond qualitative triangulation.

Funding

This study received no specific financial support.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

Baker, J. (2011). The technology–organization–environment framework. In Y. K. Dwivedi, M. R. Wade, & S. L. Schneberger (Eds.), *Information systems theory: Explaining and predicting our digital society* (Vol. 1, pp. 231–245). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_12

Chen, Z. (2024). Responsible AI in organizational training: Applications, implications, and recommendations for future development. *Human Resource Development Review, 23*(4), 498–521.

Dudley, C. (2024). The rise of AI governance: Unpacking ISO/IEC 42001. *Quality, 63*(8), 27.

Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Ismagilova, E., Aarts, G., Coombs, C., Crick, T., … & Williams, M. D. (2021). Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management, 57*, 101994. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review, 14*(4), 532–550. https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385

European Commission. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 on Artificial Intelligence (AI Act)*. *Official Journal of the European Union, L172*, 1–84.

Gartner. (2024). *AI Maturity Model & Roadmap Toolkit*. Gartner Research Report.

George, B., & Wooden, O. S. (2025). Ethical AI and responsible innovation. In *AI Empowered: Pioneering African American Entrepreneurship in the Digital Age* (pp. 105–111). Emerald Publishing Limited. ISBN 978-1-83662-817-0 Barnes & Noble+1

Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly, 37*(2), 337–355. https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3.

Halkias, D., Neubert, M., Thurman, P. W., & Harkiolakis, N. (2022). *The multiple case study design: Methodology and application for management education*. Routledge.

Herrera-Poyatos, A., Del Ser, J., de Prado, M. L., Wang, F. Y., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2025). Responsible artificial intelligence systems: A roadmap to society's trust through trustworthy AI, auditability, accountability, and governance. *arXiv preprint*. arXiv:2503.04739. https://arxiv.org/abs/2503.04739

ISO/IEC. (2017). *ISO/IEC 38505-1:2017 – Governance of data – Part 1: Application of ISO/IEC 38500 to the governance of data*. International Organization for Standardization.

ISO/IEC. (2018). *ISO/IEC 20889:2018 – Privacy enhancing data de-identification terminology and classification of techniques*. International Organization for Standardization.

ISO/IEC. (2023). *ISO/IEC 42001:2023 – Artificial intelligence management system – Requirements*. International Organization for Standardization.

Mecca, A. (2025). The influence of artificial intelligence implementation on firm scaling: An exploratory approach.

Morley, J., Kinsey, L., Elhalal, A., Garcia, F., Ziosi, M., & Floridi, L. (2023). Operationalising AI ethics: Barriers, enablers and next steps. *AI & Society, 38*(1), 411–423. https://doi.org/10.1007/s00146-022-01485-5.

OECD. (2024). *OECD Framework for the Classification of AI Systems*. Organisation for Economic Co-operation and Development. Available at https://www.oecd.org/

Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. *Academy of Management Review, 46*(1), 192–210. https://doi.org/10.5465/amr.2019.0574.

Sadeghi Moghadam, M. R., Ghasemnia Arabi, N., & Khoshsima, G. (2021). A review of case study method in operations management research. *International Journal of Qualitative Methods, 20*, Article 16094069211010088. https://doi.org/10.1177/16094069211010088.

Sajadieh, S. M. M., & Noh, S. D. (2025). From simulation to autonomy: Reviews of the integration of artificial intelligence and digital twins. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 1–32.

van der Aalst, W. (2024). How object-centric process mining helps to unleash predictive and generative AI. In *Process Intelligence in Action: Taking Process Mining to the Next Level* (pp. 219–232).

Wilhelm, J., Petzoldt, C., Beinke, T., & Freitag, M. (2021). Review of digital twin-based interaction in smart manufacturing: Enabling cyber-physical systems for human-machine interaction. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 34*(10), 1031–1048. https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1864976.

Список використаних джерел

Baker J. The technology–organization–environment framework // Information Systems Theory: Explaining and Predicting Our Digital Society. 2011. Vol. 1. P. 231–245. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6108-2_12.

Chen Z. Responsible AI in organizational training: Applications, implications, and recommendations for future development // Human Resource Development Review. 2024. Vol. 23, № 4. P. 498–521.

Dudley C. The rise of AI governance: Unpacking ISO/IEC 42001 // Quality. 2024. Vol. 63, № 8. P. 27.

Dwivedi Y. K., Hughes L., Ismagilova E. та ін. Artificial Intelligence (AI): Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy // International Journal of Information Management. 2021. Vol. 57. Article 101994. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.08.002.

Eisenhardt K. M. Building theories from case study research // Academy of Management Review. 1989. Vol. 14, № 4. P. 532–550. DOI: https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385.

European Commission. Regulation (EU) 2024/1689 on Artificial Intelligence (AI Act) // Official Journal of the European Union. 2024. L172. P. 1–84.

Gartner. AI Maturity Model & Roadmap Toolkit. Gartner Research Report, 2024.

George B., Wooden O. S. Ethical AI and Responsible Innovation // AI Empowered: Pioneering African American Entrepreneurship in the Digital Age. Emerald Publishing Limited, 2025. P. 105–111. ISBN 978-1-83662-817-0.

Gregor S., Hevner A. R. Positioning and presenting design science research for maximum impact // MIS Quarterly. 2013. Vol. 37, № 2. P. 337–355. DOI: https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3.

Halkias D., Neubert M., Thurman P. W., Harkiolakis N. The Multiple Case Study Design: Methodology and Application for Management Education. Routledge, 2022.

Herrera-Poyatos A., Del Ser J., de Prado M. L. та ін. Responsible Artificial Intelligence Systems: A Roadmap to Society's Trust through Trustworthy AI, Auditability, Accountability, and Governance // arXiv preprint, 2025. arXiv:2503.04739. URL: https://arxiv.org/abs/2503.04739.

ISO/IEC 38505-1:2017. Governance of data – Part 1: Application of ISO/IEC 38500 to the governance of data. International Organization for Standardization, 2017.

ISO/IEC 20889:2018. Privacy enhancing data de-identification terminology and classification of techniques. International Organization for Standardization, 2018.

ISO/IEC 42001:2023. Artificial intelligence management system – Requirements. International Organization for Standardization, 2023.

Mecca A. The influence of artificial intelligence implementation on firm scaling: An exploratory approach. 2025.

Morley J., Kinsey L., Elhalal A. та ін. Operationalising AI ethics: Barriers, enablers and next steps // AI & Society. 2023. Vol. 38, № 1. P. 411–423. DOI: https://doi.org/10.1007/s00146-022-01485-5.

OECD. OECD Framework for the Classification of AI Systems. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2024. URL: https://www.oecd.org/ (дата звернення: 2025-11-XX).

Raisch S., Krakowski S. Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox // Academy of Management Review. 2021. Vol. 46, № 1. P. 192–210. DOI: https://doi.org/10.5465/amr.2019.0574.

Sadeghi Moghadam M. R., Ghasemnia Arabi N., Khoshsima G. A review of case study method in operations management research // International Journal of Qualitative Methods. 2021. Vol. 20. Article 16094069211010088. DOI: https://doi.org/10.1177/16094069211010088.

Sajadieh S. M. M., Noh S. D. From simulation to autonomy: Reviews of the integration of artificial intelligence and digital twins // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2025. P. 1–32.

Van der Aalst W. How Object-Centric Process Mining Helps to Unleash Predictive and Generative AI // Process Intelligence in Action: Taking Process Mining to the Next Level. 2024. P. 219–232.

Wilhelm J., Petzoldt C., Beinke T., Freitag M. Review of digital twin-based interaction in smart manufacturing: Enabling cyber-physical systems for human-machine interaction // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2021. Vol. 34, № 10. P. 1031–1048. DOI: https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1864976.

Метод оцінювання резильєнтності (швидкості відновлення) обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій

A Method for Assessing the Resilience of International Cooperation Volumes in Crisis Situations

Марина Абрамова [A]
Corresponding author: к.е.н., старший дослідник, провідний науковий співробітник, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Іван Гаврилюк [A]
к.військ. наук, старший дослідник, перший заступник Міністра оборони України, e-mail: ivan_havryliuk@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3514-0738

Юрій Клят [A]
к.тех.н., доцент, начальник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Сергій Митченко [B]
доктор філософії, доцент кафедри стратегії національної безпеки та оборони, e-mail: serhii.mytchenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3711-2033

Олег Темний [B]
ад'юнкт кафедри інформаційної боротьби інституту стратегічних комунікацій, e-mail: o.temnyi@edu.nuou.org.ua, ORCID ID: 0009-0009-3173-094X

Ярослав Янковий [B]
ад'юнкт кафедри інформаційної боротьби, e-mail: ya.yankovyi@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1718-3607

Maryna Abramova [A]
Corresponding author: PhD (Econom.), Senior Researcher, Leading Research Scientist, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Ivan Havryliuk [A]
Ph.D., Associate Professor, First Deputy Minister of Defense of Ukraine, e-mail: ivan_havryliuk@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3514-0738

Yurii Kliat [A]
Ph.D., Associate Professor, Head of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Serhii Mytchenko [B]
Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of National Security and Defense Strategy, e-mail: serhii.mytchenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3711-2033

Oleh Temnyi [B]
PhD student of the Department of Information Warfare, Institute of Strategic Communications, e-mail: o.temnyi@edu.nuou.org.ua, ORCID ID: 0009-0009-3173-094X

Yaroslav Yankovyi [B]
PhD student of the Department of Information Warfare, e-mail: ya.yankovyi@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1718-3607

[A] Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна
[B] Національний університет оборони України, Київ, Україна

[A] Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[B] National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 05, 2025 | Revised: October 25, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.3

Мета роботи. Створити інструмент, який чисельно вимірює, як швидко й повно обсяги міжнародного співробітництва відновлюється після шоків.
Метод дослідження. Аналізу; синтезу; порівняння; формалізації та оцінювання матеріалу; абстрагування та кон'юнктурного аналізу (мислення).
Результати дослідження. Розроблено й математично формалізовано метод оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва, який на базі стандартизованого агрегованого індексу дає змогу ідентифікувати фази криз, коректно обчислювати площі втрат та відновлення за можливого накладених криз без подвійного рахунку, і виводить безрозмірний інтегральний показник відновлення з чіткою інтерпретаційною шкалою (від відсутності/частковості відновлення до перевідновлення), що кількісно відображає швидкість і повноту посткризового відновлення.
Теоретична цінність дослідження. Даний запропонований інструмент дослідження може бути використаний під час академічних досліджень міждержавних/міжсекторних порівнянь резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва на базі єдиного індексу; моніторингу і діагностики кризових фаз та розмежування "вкладів" накладення криз; практичного використання як одного із обчислювальних інструментів більш ширших наукових підходів.
Тип статті. Теоретичний.

Purpose. Create a tool that can measure quantitatively how quickly and fully international cooperation recovers after.
Method. Analysis; synthesis; comparison; formalization and evaluation of the material; abstraction and conjunctural analysis (thinking).
Findings. A method of assessing the resilience of volumes of international cooperation has been developed and mathematically formalised. Based on a standardised aggregate index, it is possible to identify crisis phases and correctly calculate areas of loss and recovery in the event of overlapping crises, without double counting. It also derives a dimensionless integral recovery indicator with a clear interpretation scale (from no/partial recovery to full recovery), which reflects the speed and completeness of post-crisis recovery quantitatively.
Theoretical implications. This proposed research tool can be used for academic research on interstate/intersectoral comparisons of the resilience of international cooperation volumes, based on a single index. It can also be used for monitoring and diagnosing crisis phases, and for distinguishing between the 'contributions' of overlapping crises. Furthermore, it can be used as a computational tool within broader scientific approaches.
Paper type. Theoretical.

Ключові слова: міжнародне співробітництво, резильєнтність, відновлення, кризові ситуації, криза, шок.

Key words: international cooperation, resilience, crisis, shocks.

Вступ

Глобальна взаємозалежність має безпосередній вплив на стан міжнародного співробітництва, що робить його чутливим до впливу шокових ситуацій: війни, пандемії, фінансові та енергетичні кризи швидко відбиваються на торгівлі, інвестиціях, наукових проєктах і безпекових домовленостях. У таких умовах важливо не тільки зафіксувати спад, а й своєчасно оцінити траєкторію відновлення: коли падіння зупиняється, якою була глибина втрат, наскільки рівномірним є повернення та чи сягає воно докризового рівня. Для прийняття рішень потрібні прозорі, відтворювані процедури вимірювання, які дають змогу порівнювати різні показники та сектори, враховувати різний напрям їх впливу і ситуації накладання кількох криз. Отримані оцінки можна застосовувати для регулярного моніторингу, порівнянь між країнами або секторами, а також для оцінювання ефективності заходів підтримки й коригування політик у кризовий період.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичні основи дослідження спираються на саме визначення поняття резильєнтності – як спроможності системи протистояти шоку, обмежувати втрати та відновлювати функціонування; при цьому доцільно розрізняти “миттєву” (зменшення негайних втрат) і “динамічну” (швидкість відновлення) компоненти [1]. У економіці резильєнтність розглядають з таких сторін, як: глибина спаду, швидкість і характер відновлення, а також можливу зміну траєкторії зростання після шоку [2]. Інженерні підходи узагальнюють ці ідеї через “трикутник резильєнтності”: інтегральні втрати під кривою продуктивності та скорочення часу до нормалізації [3].

Для вимірювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва (торгівля, інвестиції, НДДКР, допомога) важливо враховувати, що кризи часто накладаються (пандемія, енергетичні/цінові шоки, війна), а відновлення є нерівномірним між регіонами й секторами; що підтверджують глобальні звіти щодо стійкості світової торгівлі та наслідків COVID-19 [7–9]. Щодо даних розміщених у них попри падіння товарообігу у 2020–2024 рр., канали співпраці поступово відновлюються, але вразливість до геополітичної фрагментації й логістичних збоїв зберігається – тому потрібні інструменти, що фіксують і швидкість, і повноту повернення [8; 7] до необхідного рівня.

Методичною основою для побудови інтегральних оцінок служить підхід композитних індексів: ретельний добір показників, стандартизація, урахування знаку впливу, вагове агрегування, аналіз чутливості; ці кроки забезпечують порівнянність у часі та між об’єктами [4]. Для динамічного виміру швидкості відновлення застосовні підходи, що трактують резильєнтність як функцію часу: метрики на основі форми кривої “функціонування-час”, включно з інтегральними площами втрат і відновлення та часовими позначками досягнення докризового рівня [5; 3; 6]. Результати використання таких інструментів відображають як темп повернення, так і його повноту, що критично для інтерпретації міжнародного співробітництва.

Натомість вітчизняні дослідження останніх років конкретизують понятійний апарат і прикладні вимоги вимірювань в умовах воєнних шоків: підкреслюють потребу у наявності зрозумілих індикаторів спаду/відновлення, необхідність відстеження накладання криз [10–12]. Вказано, що для України важливо поєднувати індексні підходи з фазовою ідентифікацією шоків і порівняннями між секторами/регіонами для підтримки політик відновлення [10–11].

Постановка проблеми

У сучасному Світі, де війни, енергетичні зброї, пандемії та фінансові кризи дедалі частіше накладаються одна на одну, обсяги міжнародного співробітництва в торгівлі, інвестиціях, спільних проєктах і наукових обмінах змінюються не лише за рівнем падіння, а й за тим, як

швидко і наскільки повно вони повертаються до нормальної роботи, тоді як у щоденній практиці здебільшого відображено лише поточний стан (спад), але не пояснюється, коли він зупиниться, скільки часу триватиме відновлення і чи повернеться попередня траєкторія динаміки параметра.

Вирішення подібної проблематики ускладняється тим, що немає спільно прийнятого способу вимірювати швидкості та повноти такого повернення саме для міжнародної взаємодії: показники походять із різних джерел і мають різні одиниці виміру, дані надходять із затримками або з прогалинами, а кілька криз можуть діяти одночасно, змішуючи впливи та збиваючи з пантелику навіть уважного аналітика, через що урядовці, донори й бізнес часто змушені ухвалювати рішення з неповною інформацією або надто пізно. Саме тому актуальним є створення єдиного підходу до оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій, який дозволив би говорити єдиною мовою цифр про темп і повноту відновлення в різних країнах і секторах, своєчасно помічати переломні моменти, розмежовувати вплив різних шоків без подвійного рахунку, краще узгоджувати очікування з міжнародними партнерами та пріоритезувати заходи підтримки й ресурси, тобто перейти від фрагментарних спостережень до планування дій під час кризи та після неї.

Результати

Оцінювання швидкості відновлення обсягів міжнародного співробітництва після зовнішніх та внутрішніх шоків залишається актуальною задачею для сучасної економічної науки та практики, тому часті кризові явища, структурні дисбаланси та зростаюча непередбачуваність зовнішнього середовища вимагають удосконалення підходів за цим напрямком досліджень. А результати аналізу досвіду останніх років, зокрема України, підтверджують необхідність розробки інструментарію, який дозволяє не лише фіксувати динаміку основних показників ІС під час кризових ситуацій, тому запропонований метод оцінювання резильєнтності (швидкості відновлення) обсягів міжнародного співробітництва з урахуванням кризових ситуацій (далі в цьому підрозділі – Метод), який дозволяє враховувати релевантність (достатню чутливість до кризових явищ, що дає змогу ідентифікувати як гострі фази шоку, так і періоди поступового відновлення).

Перший етап: формування матриці вхідних даних.

Формування інформаційної (статистичної) бази починається з відбору переліку статистично доступних показників міжнародного співробітництва (*ІС від англ. "International Cooperation")*.

Після цього здійснюється попередній експертний статистичний відбір показників за такими критеріями:

релевантність (достатня чутливість до кризових явищ, що дає змогу ідентифікувати як гострі фази шоку, так і періоди поступового відновлення);повнота і безперервність (щонайменше десятирічний, а краще – двадцятирічний період, що охоплює передкризовий, кризовий і посткризовий інтервали);

відсутність мультиколінеарності (парний коефіцієнт кореляції для будь-якої пари має не перевищувати значення 0,85, що забезпечує унікальність інформації, яку вони несуть).

Для кількісного забезпечення вхідних даних формується відповідна матриця показників ІС:

$$X_{\mathrm{h},t} = \begin{pmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \cdots & X_{1,T} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \cdots & X_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \cdots & X_{N,T} \end{pmatrix},$$

де $X_{i,t}$ – це значення *i*-го показника у *t*-ий період;
N – кількість обраних показників;
T – кількість часових періодів (років, кварталів тощо);
h – номер показника від (1 до *N*).

Проводиться детекція та обробка екстремальних, тобто аномальних значень, що можуть суттєво викривити результати стандартизації та обчислення агрегованого показника, а отже, вплинути на коректність оцінки резильєнтності. Для кожного ряду обчислюється його усереднене арифметичне значення: $\bar{X}_h = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X_{h,t}$ та стандартне відхилення: $\sigma_h = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(X_{h,t} - \bar{X}_h)^2}$. Далі для кожного спостереження перевіряється умова: $|X_{h,t} - \bar{X}_h| > 3\sigma_h$, тобто виявляються такі періоди, коли абсолютне відхилення показника перевищує три стандартних відхилення від середнього значення. У випадку виявлення аномалії дане значення може бути або вилучено, або замінено середнім із сусідніх значень, або скориговано відповідно до експертного рішення щодо природи викиду.

Отже важливим аспектом формування базової матриці даних є перевірка відсутності суттєвої мультиколінеарності між показниками, оскільки надмірна кореляція між рядами може призвести до подвійного рахунку інформації та спотворення підсумкового показника. Для цього для кожної пари показників (X_i, X_d) обчислюється парний коефіцієнт кореляції Пірсона (з урахуванням тільки тих періодів, де дані присутні для обох рядів):

$$r_{h,d} = \frac{\sum_{t=1}^{T}(X_{h,t} - \overline{X}_h)(X_{d,t} - \overline{X}_d)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{T}(X_{h,t} - \overline{X}_h)^2 \sum_{t=1}^{T}(X_{d,t} - \overline{X}_d)^2}},$$

і у випадку, якщо $r_{i,d} > 0{,}85$, один із показників (зазвичай менш економічно значущий або з менш повною вибіркою) підлягає вилученню.

Проводиться оцінювання динамічності кожного з показників, що відбираються, з метою гарантувати, що у періоди кризових ситуацій вони проявляють достатню реакцію (волатильність), і можуть виступати індикаторами змін. Для цього вводиться критерій відносної амплітуди динаміки:

$$A_h = \frac{max_t X_{h,t} - min_t X_{h,t}}{\overline{X}_h},$$

де A_h – коефіцієнт амплітуди *i*-го показника. Якщо відносна амплітуда за обраний період становить менше 10% (тобто A_h <0,1), такий показник вважається надто інерційним і малочутливим до зовнішніх шоків, отже, доцільно його вилучити із фінального списку.

Важливим є виявлення та оцінювання пропусків у часових рядах для кожного показника ІС, що позначається як $X_{h,t}$ де показник *h* (*n*=1,2,…,N) відповідає порядковому номеру показника у фінальному масиві, а показник *t* (*t* = 1,2,…,*T*) – номеру періоду у досліджуваному часовому інтервалі, будується булева матриця наявності даних $B_{h,t}$, де $B_{h,t}$ = 1, якщо значення відсутнє (тобто є пропуск), та $B_{h,t}$=0, якщо значення присутнє. Далі для кожного показника підраховується сумарна кількість пропусків: $L_h = \sum_{t=1}^{T} B_{h,t}$ і визначається частка пропусків відносно довжини часової вибірки: $q_h = \frac{L_h}{T}$, де q_h– це частка пропусків для показника і за весь період аналізу. У разі якщо q_h > 0,1 (тобто понад 10% спостережень відсутні), приймається рішення або про виключення такого показника з подальшого аналізу, або, якщо його теоретична значущість є критичною, застосовуються спеціалізовані методи відновлення пропущених даних – поліноміальна інтерполяція.

Неоднорідність економічного змісту отриманих рядів змінних і потреба в уникненні методологічних суперечностей при подальшій стандартизації, агрегуванні та інтерпретації результатів потребує категоризації значень показників. З цією метою для кожного ряду, що пройшов попередні етапи фільтрації, очищення й перевірки, і позначається у подальшому як $X^*_{h,t}$ (де *h* – індекс показника, що змінюється від 1 до *N*, а *t* – індекс періоду, що змінюється від 1 до *T*), здійснюється присвоєння ознаки напряму впливу на інтегральний показник за допомогою спеціального знаку коригування *знак*$_h$). Дана ознака відіграє роль мультиплікатора, що приводить усі стандартизовані значення до інтерпретації у сенсі "чим вище – тим краще" для резильєнтності.

Таким чином, ознака напряму впливу для кожного показника h визначається за наступним критерієм:

$$знак_h = \begin{cases} +1, & якщо\ зростання\ h\ підвищує\ резильєнтність \\ -1, & якщо\ зростання\ h\ є\ ознакою\ підвищення\ кризових\ явищ \end{cases}.$$

До першої групи, яка отримує знак "+1", належать усі ті показники, для яких підвищення у часовому ряді історично асоціюється з економічною стабільністю, потенціалом розвитку та швидкістю відновлення після криз, а саме: обсяги гуманітарної підтримки, обсяг імпорту, кількість спільних міжнародних проєктів тощо. Натомість друга група (із знаком "–1") складається з показників, зростання яких, навпаки, означає посилення негативних тенденцій – наприклад, обсяг скасованих міжнародних угод, відтік прямих іноземних інвестицій, зростання невиконаних зобов'язань за міжнародними контрактами тощо.

Щоб уникнути плутанини та забезпечити однозначність формулювання у рамках всього Методу для позначення даної ознаки категоризації використовується саме індекс *знак*$_h$, що дозволяє чітко відрізнити її від інших математичних позначень, застосованих у попередніх та наступних підетапах Методу, таких як середні значення, стандартні відхилення, амплітуди чи коефіцієнти кореляції.

З огляду на те, що навіть найбільш фундаментальні показники *ІС*, які було відібрано, очищено та категоризовано в попередніх етапах (що у даному пункті позначаються як $Q_{h,t}$, де індекс *h* відображає всі показники від 1 до *N*, а індекс t відповідає номеру періоду у часовому ряді від 1 до *T*), можуть мати різні діапазони варіації, різні порядки величин і відрізнятися рівнем волатильності, тому виникає необхідність привести їх до такої шкали, де кожен показник вносить у підсумковий показник інформацію пропорційно власній динаміці, а не величині чи одиниці виміру.

З цією метою здійснюється стандартизація даних шляхом обчислення для кожного $Q_{h,t}$ його відхилення від середнього арифметичного $X_h^{(cm)}$, поділеного на стандартне відхилення ϑ_h, додатково скоригованого за напрямом економічного впливу *знак*$_h$:

$$Z_{h,t}^{(cm)} = знак_h \cdot \frac{Q_{h,t} - \bar{X}_h^{(cm)}}{\vartheta_h}$$

де $Z_{h,t}^{(ст)}$ – стандартизоване та спрямоване значення *h*-го показника у *t*-ий період, яке відтепер є безрозмірною величиною, що дозволяє проводити коректні статистичні операції над усіма рядами;

$Q_{h,t}$ – очищене, відфільтроване й категоризоване значення *h*-го показника ІС у *t*-ий часовий період;

h – індекс показника (від 1 до *N*);

$знак_h$ – напрям впливу (категоризація) *h*-го показника, тобто "+1", якщо зростання покращує резильєнтність, і "–1", якщо зростання погіршує;

$\bar{X}_h^{(ст)}$ – середнє арифметичне для *h*-го ряду, що визначається наступним чином: $\bar{X}_h^{(ст)} = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{T} Q_{h,t}$, ϑ_h – стандартне відхилення для *h*-го ряду, що розраховується за формулою: $\vartheta_h = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(Q_{h,t} - \bar{X}_h^{(ст)})^2}$.

Такий підхід гарантує, що у подальших розрахунках – незалежно від того, чи відображає показник грошові потоки, фізичні обсяги виробництва, демографічні або фінансові характеристики, – всі стандартизовані ряди мають нульове середнє значення, одиничну дисперсію і, головне, є співмірними між собою в сенсі "сили" відхилення у кожному періоді.

Особливу увагу в даному процесі приділяється саме коригуванню на напрям економічного впливу через множник *знак*$_h$, завдяки чому, незалежно від початкового смислу показника, позитивне відхилення $Z_{h,t}^{(cm)}$ у будь-якому періоді однозначно інтерпретується як посилення резильєнтності економіки, а негативне – як її ослаблення, що є критично важливим для коректної побудови агрегованого показника та подальшого якісного аналізу динаміки економічних процесів у кризових фазах.

Результатом цього етапу є формування нової матриці стандартизованих значень $\left\{Z_{h,t}^{(cm)}\right\}$, яка служить інформаційною основою для всіх наступних етапів, зокрема для зважування, агрегування і побудови інтегральної синтетичної оцінки резильєнтності.

Другий етап: визначення ваг показників у матриці.

Після того як на попередньому етапі була здійснена ретельна підготовка масиву показників ІС, проведена стандартизація та враховано їх категорійну спрямованість, для подальшого формування інтегрального показника резильєнтності принципово важливим елементом є визначення ваг кожного з показників. З цією метою у рамках цього етапу пропонується використання підходу експертного оцінювання, що дозволяє інтегрувати якісну й кількісну експертизу представників різних галузей, таким чином підвищуючи наукову валідність кінцевого розподілу вагових коефіцієнтів.

В організаційному плані процедура експертного оцінювання передбачає формування цільової групи експертів, яка за мінімальним складом має містити не менше 10-ти учасників (E≥10), а з урахуванням складності аналізованої економічної системи та мультидисциплінарної природи дослідження – оптимально 15–20 осіб, причому кожний експерт (e, де e=1,2,…,E) повинен мати підтверджену кваліфікацію та/або досвід у сфері воєнної економіки, державного управління, фінансів, промисловості, інституційного аналізу чи інших релевантних галузей. Надалі, з метою уникнення будь-яких ризиків упередженості, рекомендується забезпечити анонімність процесу подання експертних оцінок, а також застосовувати Delphi-підхід із не менше ніж двома раундами узгодження.

Формально, кожен експерт е формує свій власний вектор попередніх (поп) вагових коефіцієнтів: $w_{(e)}^{(поп)} = \left[w_{1,e}^{(поп)}, w_{2,e}^{(поп)}, \cdots w_{N,e}^{(поп)}\right]$, із додержавнням умови нормування: $\sum_n^N w_{h,e}^{(поп)} = 1$, де $w_{h,e}^{(поп)}$ – вага, призначена і-му показнику е-м експертом, і така нормалізація є необхідною для забезпечення математичної коректності подальшого агрегування, а *N* – кількість показників, визначена на попередніх етапах.

Рівень згоди визначався за допомогою критерію середньоквадратичного відхилення для кожного показника: $\delta_h = \sqrt{\frac{1}{E}\sum_{e=1}^{E}(w_{h,e}^{(поп)} - \bar{w}_h^{(поп)})^2}$, де $\bar{w}_h^{(поп)} = \frac{1}{E}\sum_{e=1}^{E} w_{h,e}^{(поп)}$, є середньою (нефінальною) вагою для h-го показника серед усіх експертів. Процес ітерацій вважається завершеним, якщо для всіх *h* $\delta_h < \varepsilon$, де ε – це заданий поріг консенсусу (наприклад, 0,1 або 10% ваги).

Варто зауважити, що такий підхід дозволяє інтегрувати в математичну модель як об'єктивну статистичну інформацію про динаміку та структуру показників (що закладено у стандартизованих рядах $Z_{h,t}^{(cm)}$) так і структурні уявлення професійної спільноти про актуальні ризики, пріоритети розвитку та проблематику, яка не завжди відбиваються в числових рядах, але суттєво впливають на стратегічну стійкість.

Результатом виконання цього етапу є строго визначений вектор фінальних вагових коефіцієнтів $w = [w_1, w_2, \cdots w_N]$, який у подальшому використовується для математично коректного формування агрегованого інтегрального показника ІС.

Третій етап: визначення агрегованих показників ІС в певний час t.

Після завершення попередніх етапів, на яких було сформовано, очищено, категоризовано, стандартизовано та зважено часові ряди показників ІС (а саме: було отримано матрицю стандартизованих, спрямованих значень $Z_{h,t}^{(cm)}$ для всіх *h*=1,…,*N* показників у кожному з *t*=1,…,*T* періодів, а також узгоджений вектор вагових коефіцієнтів $w = [w_1, w_2, \cdots w_N]$. З метою інтеграції цієї багатовимірної інформації в єдиний синтетичний показник, який би репрезентував динаміку ІС за всіма обраними критеріями, здійснюється побудова агрегованого показника. Саме цей показник дозволяє не лише забезпечити компактність аналізу, але й слугує універсальною базою для подальшої ідентифікації кризових фаз, оцінки втрат, відновлення та комплексної оцінки резильєнтності.

Отже, для кожного періоду часу t виконується підсумовування всіх стандартизованих, спрямованих та зважених значень показників за такою повною математичною формулою:

$$I_t^{агр} = \sum_{n=1}^{N} w_h \cdot Z_{h,t}^{(cm)},$$

де $I_t^{агр}$ – агрегований показник ІС у *t*-ий період; w_h – фінальна експертна вага *h*-го показника, з умовою нормування $\sum_{n=1}^{N} w_h = 1$; $Z_{h,t}^{(cm)}$ – стандартизоване, спрямоване значення *i*-го показника у *t*-ий період.

Таким чином, кожного разу, коли ми оцінюємо ІС у певний період t, всі підготовлені та стандартизовані і показники ІС враховуються у вигляді безрозмірних відхилень від своїх середніх значень, додатково коригуються на знак впливу $знак_h$, і кожний з них вносить свій вклад до підсумкового показника пропорційно експертно визначеній вазі w_h. Всі ці добутки підсумовуються, формуючи значення $I_t^{агр}$, яке однозначно характеризує інтегральний ІС у цей період.

Результатом цього етапу є динамічний ряд агрегованих показників: $I^{(агр)} = \left[I_1^{(агр)}, I_2^{(агр)}, \cdots I_T^{(агр)}\right]$ що є математичною основою для ідентифікації кризових фаз, розрахунку площ втрат та відновлення, а також для визначення фінального показника резильєнтності у наступних підрозділах Методу. А завдяки уніфікованому підходу до позначення часу (t), забезпечується абсолютна логічна цілісність, прозорість і математична коректність всіх етапів комплексного алгоритму, а також збереження однозначності інтерпретації отриманих результатів на будь-якому рівні подальшого аналізу.

Четвертий етап: оцінювання масштабів кризових ситуацій.

На цьому етапі, використовуючи отриманий на попередньому кроці агрегований показник $I^{(агр)}$, для всіх часових точок *t* (*t*=1,…,*T*) було проведено формалізовану ідентифікацію трьох ключових моментів у часовому ряді, що визначають структурну логіку кризового циклу:

1. Визначення моменту початку кризи (t_0).

Початком фази спаду визначається період часу t_0, для якого агрегований показник демонструє різке негативне відхилення від попереднього тренду. Для цього формалізовано обчислюється приріст показника між двома сусідніми періодами: $\triangle I_t^{(агр)} = I_t^{(агр)} - I_{t-1}^{(агр)}$.

Період t_0 визначається як найменший параметр часу, для якого приріст є меншим за наперед встановлений поріг спаду η (який задається як від'ємне число, в цьому випадку, −0,5 стандартних відхилень): $t_0 = min\left\{t \middle| \triangle I_t^{(агр)} < \eta\right\}$, де *η* – поріг спаду (встановлюється залежно від характеру даних та мети дослідження), а *min{·}* – означає, що обирається перший період, коли відбувається істотне зниження показника.

2. Визначення "дна" кризи (t_{min}).

Після фіксації початку кризи слід визначити момент часу, коли економіка досягає мінімального значення агрегованого показника (тобто фіксується найглибша точка спаду, або "дно" кризи): $t\ arg\ \underset{t\in[t_0,T]}{min} I_t^{(агр)}$.

Тут "arg min" означає, що обирається той параметр часу t на відрізку від t_0 до кінця аналізованого періоду *T*, для якого значення $I_t^{(агр)}$ є мінімальним.

3. Визначення моменту завершення (t_{end}).

Момент завершення фази кризової ситуації, або початок відновлення, визначається як найменший параметр часу після "дна" (t_{min}), у якому агрегований показник повертається до свого докризового рівня, тобто перевищує або дорівнює значенню, зафіксованому на початку кризи $I_{t_0}^{(агр)}$: $t_{end} = min\left\{t > t \middle| I_t^{(агр)} \geq I_{t_0}^{(агр)}\right\}_{min}\{\}$. Якщо протягом періоду аналізу такого моменту не виявлено (ІС не повернувся до докризового рівня), тоді за t_{end} береться фінальний момент аналізу *T*: $t_{end} = T, \quad якщо \quad \nexists\, t > t$ $^{(агр)}_{t}$ $^{(агр)}_{t_0}$ $_{min}$.

Результатом виконання цього етапу є математично чітко визначені три часові мітки t_0, t_{min}, t_{end}які поділяють часовий ряд агрегованого показника на відповідні фази: фаза спаду (від t_0до t_{min}), фаза найглибшого шоку (точка t_{min}), фаза відновлення (від t_{min} до t_{end}). Саме ці часові межі стають базою для кількісного розрахунку площ втрат, відновлення та наступної синтетичної оцінки резильєнтності ІС, а також є інтерпретаційною основою для сценарного аналізу політики подолання криз.

На цьому етапі для кожної з К криз (які можуть накладатися одна на одну у часовому ряді, *k=1,...,K*), було введено спеціальну матрицю належності $D_{h,k}$, яка дозволяє формалізувати зв'язок між кожним показником ІС та кожною кризовою ситуацією. Конкретно, елемент матриці $D_{h,k}$ визначається як:

$$D_{h,k} = \begin{cases} 1, & якщо\ h-й\ показник\ є\ релевантним\ для\ k-ї\ кризи \\ 0, & інше \end{cases},$$

де *h*=1,...,*N* – індекс показника, *k*=1,...,*K* – індекс кризи.

Для кожної кризи *k* фіксуються її часові межі: $t_0^{(k)}$– початок,$t_{min}^{(k)}$– дно, $t_{end}^{(k)}$ – завершення (які визначаються за тією ж формальною процедурою, як і для базового показника, але з урахуванням специфіки конкретного піднабору показників).

Для кожного періоду часу t може бути релевантною (активною) більш ніж одна криза. Множина криз, що накладаються у періоді t, позначається як$K_t = \left\{k \middle| t_0^{(k)} \leq t \leq t_{end}^{(k)}\right\}$. Усі показники, що входять до складу накладених криз у періоді *t*, об'єднуються у множину $Мн_t = \cup_{k\in K_t} \left\{h \middle| D_{h,k} = 1\right\}$.

Щоб уникнути подвійного рахунку одного і того ж показника у різних кризових ситуаціях (адже один і той же і може входити у декілька $D_{h,k}$ при обчисленні втрат або приросту у кожному періоді t для відповідного показника враховується лише один раз абсолютне відхилення від докризового рівня (наприклад, у вигляді середнього або максимального ефекту, залежно від концепції аналізу).

Розгорнуті математичні формули для площ спаду і зростання з урахуванням накладання криз:

Для площі втрат у період накладання криз (від англ. *Loss Area*):

$$LA = \sum_{t=t_0^*}^{t^*_{min}\Sigma} (I_{t_0^*}^{(агр)} - I_t^{(агр)}) \cdot \triangle t$$

де t_0^* – мінімальний із усіх моментів початку активних криз у досліджуваному періоді $t_0^* = \min_k t_0^{(k)}$;

t_{min}^* – максимальний із усіх моментів досягнення “дна” для криз $t_{min}^{*max_k^{(k)}}$;

$I_{t_0^*}^{(\text{arp})}$ – агрегований показник у моменті початку першої кризи.

Аналогічно для площі зростання (від англ. Recovery Area):

$$RA \quad = \sum_{t=t_{min}^*}^{t_{end}^*\Sigma} (I_t^{агр} - I_{t_0^*}^{агр}) \cdot \triangle t,$$

де $t_{min}^{*max_k\, t_{end}}$ та $I_t^{(агр)}$ – агрегований показник у поточному періоді t.

Тут підсумок ведеться по всіх періодах, коли активні накладені кризові ситуації, а для показників, що входять до більш ніж однієї кризи одночасно, кожне відхилення враховується лише один раз.

Обрахування площ для кожної кризи окремо (без накладання):

$$LA^{(k)} = \sum_{t=t_0^{(k)}}^{t_{min}^{(k)}\Sigma} (I_{t_0^{(k)}}^{(агр,k)} - I_t^{(агр,k)}) \cdot \triangle t,\ RA^{(k)} = \sum_{t=t_{min}^{(k)}}^{t_{end}^{(k)}\Sigma} (I_t^{(агр,k)} - I_{t_0^{(k)}}^{(агр,k)}) \cdot \triangle t,$$

де $I_t^{(\text{arp},k)}$ – агрегований показник, розрахований лише для показників, які входять до k-ї кризи;

LA – показник втраченого потенціалу;

RA – показник відновленого потенціалу.

Підсумкові площі спаду і зростання для всього періоду та всіх криз (якщо потрібно):

$$LA = \sum_{k=1}^{K} LA^{(k)} \quad та \quad RA = \sum_{k=1}^{K} RA^{(k)}.$$

Виконання цієї процедури дозволяє унаочнити, порівняти та кількісно оцінити як сукупний ефект декількох накладених криз, так і розмежувати їх “внески” у зміну агрегованого показника ІС, уникнувши подвійного рахунку для спільних показників, а також створює математичну основу для оцінки резильєнтності.

П’ятий етап: розрахунок показника резильєнтоності.

На основі розрахованих площ втрат і зростання розрахований кількісний показник відновлення (*ES*, від англ. *“Economic Sustainability”*) визначається як їх відношення, що у повному розгорнутому вигляді має вигляд:

$$ES = \begin{cases} \frac{RA}{LA}, & якщо \quad LA > 0 \\ невизначено \quad (криза\ відсутня), & якщо \quad LA = 0 \end{cases}'$$

де ES – кількісний показник відновлення;

LA – площа втрат;

RA – площа відновлення.

Отриманий показник *ES* є безрозмірною величиною, яка кількісно характеризує відносну повноту та ефективність відновлення: значення *ES* = 0 означає відсутність відновлення, *ES* =1 – повне повернення до докризового рівня, *ES* > 1 – перевідновлення (ІС піднявся вище докризового стану), а 0 < *ES* <1 – часткове відновлення. Водночас, якщо площа втрат *LA* дорівнює нулю (що означає відсутність зафіксованої кризи у динаміці показника), показник *ES* оголошується невизначеним для цього випадку.

Однак, так як саме поняття резильєнтності має на увазі саме “швидкість відновлення”, тоді є доцільним його визначити: $\triangle t = t_{rez} - t_{min}$, t_{rez}– момент відновлення до докризового рівня та розрахуємо кількісний показник відновлення:

$$Re\,z = \frac{ES}{LA \cdot (t_{rez} - t_{min}}),$$

що дозволяє кількісно оцінити, наскільки ефективно та швидко ІС виходить із кризового стану. У записі враховано й те, скільки втрачено під час спаду, і те, як швидко ці втрати було компенсовано, отже чим більше значення Rez, тим вища здатність ІС швидко відновлюватися після шоку (рис. 1).

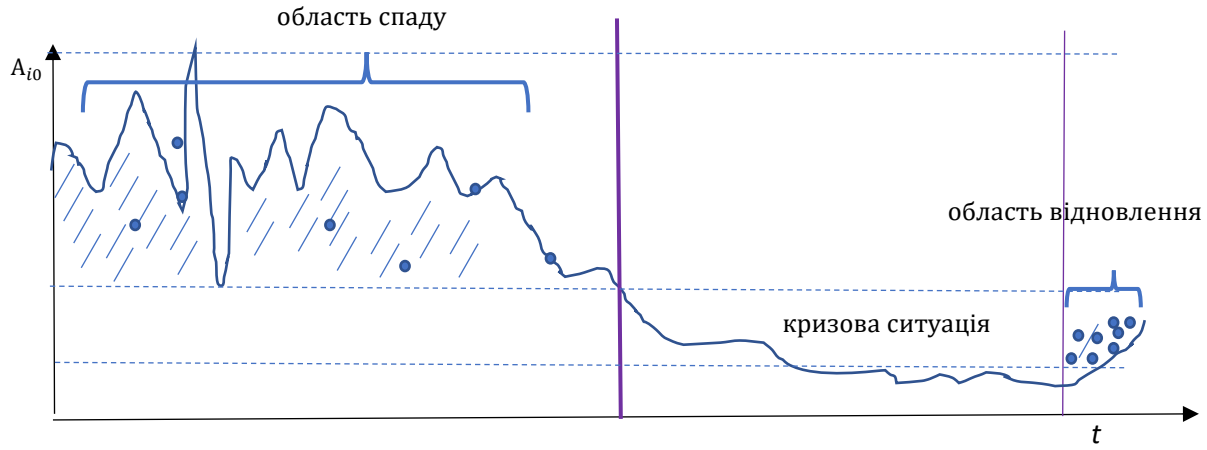


Рисунок – 1 Схематичне зображення динаміки типового показника ІС з урахуванням кризових ситуацій

Джерело: *доробок автора*

Шостий етап: інтерпретація результатів.

У таблиці 1 представлено варіанти можливих результатів розрахунку показника резильєнтності *ІС*. Кожен рівень містить інтерпретацію результату, тип відновлення, характеристику економіки після кризи та необхідні подальші заходи для її зміцнення.

Таблиця 1 – Шкала оцінювання результатів показника резильєнтності *ІС*

Показник $Re\,z$	Інтерпретація результату	Тип відновлення
$0 \leq Re\,z \leq 0{,}10$	Дуже повільне відновлення: обсяги зростають мінімально, основні втрати не компенсовані, міжнародна взаємодія слабка.	Дуже повільне
$0{,}10 \leq Re\,z \leq 0{,}30$	Відновлення триває, але більшість напрямів співробітництва відновлюються повільно, стабільність ще не досягнута.	Повільне
$0{,}30 \leq Re\,z \leq 0{,}50$	Поступове повернення до докризових обсягів співпраці, частина проектів та контактів відновлені, з'являються нові можливості.	Помірна швидкість

Показник $Re\ z$	Інтерпретація результату	Тип відновлення
$0{,}50 \leq Re\ z \leq 1$	Висока динаміка відновлення: більшість напрямів співпраці вже працює, нові ініціативи активно розвиваються.	Достатньо швидке
$Re\ z \geq 1$	Надзвичайно швидке відновлення: обсяги співробітництва перевищили докризовий рівень, міжнародна активність демонструє стійке зростання.	Дуже швидке “стрибкоподібне” відновлення

Джерело: *доробок автора*

Отже, головна особливість практичного застосування цього Методу полягає у комплексному поєднанні математично формалізованої обробки часових рядів показників ІС (з обов’язковою стандартизацією, очищенням від аномалій, урахуванням напряму впливу та усуненням мультиколінеарності) із багаторівневим експертним зважуванням, що дозволяє не лише ідентифікувати ключові фази кризи й відновлення на основі інтегрального агрегованого індексу, а й кількісно вимірювати площі втрат і площі відновлення обсягів міжнародного співробітництва для оцінки швидкості та повноти подолання наслідків кризових ситуацій, незалежно від їх специфіки.

Висновки

Запропонований підхід до оцінювання резильєнтності обсягів міжнародного співробітництва послідовно висвітлює алгоритм датування ключових моментів – початку спаду, досягнення мінімуму та завершення фази зниження – у поєднанні з урахуванням накладання кількох криз, що дозволяє відокремлювати внесок окремих шоків і зменшувати ризик подвійного рахунку, завдяки чому інтерпретація часових рядів стає більш прозорою та відтворюваною. Використання інтегральних площ втрат (LA) і відновлення (RA) та узагальнення їх у показник ES = RA/LA із простою інтерпретаційною шкалою забезпечує кількісну оцінку ступеня компенсації попередніх втрат і швидкості повернення до докризових рівнів, а також фіксацію випадків, коли нова рівновага перевищує докризову, що дозволяє проводити регулярний моніторинг стану міжнародного співробітництва, виявлення переломних точок, оцінювання ефективності заходів підтримки та своєчасного коригування політики тощо. В той же час результати залежать від якості й повноти вихідних даних та від обраних параметрів (ваг, порогів і методів нормування), що обумовлює потребу у тестах чутливості, розширенні валідації на різних країнах і секторах, подальшій автоматизації фазової розмітки та, за можливості, урахуванні невизначеності через інтервальні оцінки.

Загалом метод можна розглядати як робочий інструмент для кількісного вимірювання швидкості та повноти посткризового відновлення, який доцільно використовувати разом із галузевою експертизою стану міжнародної кооперації.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Hallegatte, S. (2014). Economic Resilience: Definition and Measurement (Policy Research Working Paper 6852). World Bank. URL : https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf
2. Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and

Explanation. *Journal of Economic Geography.* URL : https://academic.oup.com/joeg/article/15/1/1/960842

3. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra.* https://journals.sagepub.com /doi/10.1193/1.1623497
4. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD & JRC. URL : https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47008
5. Henry, D., & Ramírez-Márquez, J. E. (2012). Generic Metrics and Quantitative Approaches for System Resilience as a Function of Time. Reliability *Engineering & System Safety*. URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832011001748
6. Linkov, I., Trump, B. D., & Fox-Lent, C. (2019). Resilience: Approaches to Risk Analysis and Governance. International Risk Governance Center (IRGC). URL : https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Linkov-Trump-Fox-Lent-Resilience-Approaches-to-Risk-Analysis-and-Governance.pdf
7. World Trade Organization. (2021). World Trade Report 2021: Economic Resilience and Trade. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr21_e/00_wtr21_e.pdf
8. UNCTAD. (2022). Impact of the COVID-19 Pandemic on Trade and Development: Lessons Learned. United Nations Conference on Trade and Development. URL : https://unctad.org/system/files/official-document/osg2022d1_en.pdf
9. World Trade Organization. (2022). World Trade Statistical Review 2022. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2022_e.pdf
10. Лібанова, Е. (2024). Резильєнтність соціоекономічної системи України до шоків, спричинених війною: специфіка формування і реагування. *Демографія та соціальна економіка.* URL : https://ojs.dse.org.ua/index.php/dse/article/download/212/154/2492
11. Лещух, І. В. (2024). Методичні підходи до оцінювання соціально-економічної резильєнтності систем. *Бізнес Інформ.* URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-8_0-pages-13_24.pdf
12. Хаустова, В. Є., & Решетняк, О. І. (2023). Резильєнтність економіки: сутність і виклики для України. *Бізнес Інформ*. URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business- inform-2023-7_0-pages-30_41.pdf

References

1. Hallegatte, S. (2014). Economic Resilience: Definition and Measurement (Policy Research Working Paper 6852). World Bank. URL : https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf
2. Martin, R., & Sunley, P. (2015). On the Notion of Regional Economic Resilience: Conceptualization and Explanation. *Journal of Economic Geography.* URL : https://academic.oup.com/joeg/article/15/1/1/960842
3. Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra.*
4. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., & Giovannini, E. (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide. OECD & JRC. URL : https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC47008
5. Henry, D., & Ramírez-Márquez, J. E. (2012). Generic Metrics and Quantitative Approaches for System Resilience as a Function of Time. Reliability *Engineering & System Safety*. URL : https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0951832011001748

6. Linkov, I., Trump, B. D., & Fox-Lent, C. (2019). Resilience: Approaches to Risk Analysis and Governance. International Risk Governance Center (IRGC). URL : https://irgc.org/wp-content/uploads/2018/09/Linkov-Trump-Fox-Lent-Resilience-Approaches-to-Risk-Analysis-and-Governance.pdf
7. World Trade Organization. (2021). World Trade Report 2021: Economic Resilience and Trade. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr21_e/00_wtr21_e.pdf
8. UNCTAD. (2022). Impact of the COVID-19 Pandemic on Trade and Development: Lessons Learned. United Nations Conference on Trade and Development. URL : https://unctad.org/system/files/official-document/osg2022d1_en.pdf
9. World Trade Organization. (2022). World Trade Statistical Review 2022. WTO. URL : https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2022_e.pdf
10. Libanova, E. (2024). Rezyliientnist sotsioekonomichnoi systemy Ukrainy do shokiv, sprychynenykh viinoiu: spetsyfika formuvannia i reahuvannia. *Demohrafiia ta sotsialna ekonomika.* https://ojs.dse.org.ua/index.php/dse/article/download/212/154/2492
11. Leshchukh, I. V. (2024). Metodychni pidkhody do otsiniuvannia sotsialno-ekonomichnoi rezyliientnosti system. *Biznes Inform.* URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business-inform-2024-8_0-pages-13_24.pdf
12. Khaustova, V. Ye., & Reshetniak, O. I. (2023). Rezyliientnist ekonomiky: sutnist i vyklyky dlia Ukrainy. *Biznes Inform.* URL : https://www.business-inform.net/export_pdf/business- inform-2023-7_0-pages-30_41.pdf

Нормативно-правове забезпечення оборонного планування в Україні: сучасний стан, проблематика та напрями вдосконалення

Supporting Defence Planning in Ukraine: the Current Regulatory and Legal Landscape, Issues and Areas for Improvement

Олег Семененко [A]

Corresponding author: д. військ. н., професор, заступник начальника науково-дослідного інституту з наукової роботи, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6477-3414

Марина Абрамова [A]

к.е.н., старший дослідник, провідний науковий співробітник, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Юзеф Добровольський [B]

к.т.н., доцент, заступник начальника кафедри, e-mail: kataza@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-1077-1402

Олег Тарасов [C]

к.військ.н., доцент, e-mail: tarasovo@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6763-8653

Артем Ремез [B]

доктор філософії, старший викладач кафедри оперативного мистецтва, e-mail: remez.art.86@gmail.com

Марія Ярмольчик [C]

доктор філософії, начальник науково-дослідної лабораторії, e-mail: LinkinFan357@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9917-0189

Oleh Semenenko [A]

Corresponding author: Dr of Military Sciences, Professor, Deputy Head of the Research Institute of Ukraine for scientific work, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6477-3414

Maryna Abramova [A]

PhD (Econom.), Senior Researcher, Leading Research Scientist, e-mail: elaira3@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7644-9988

Yuzef Dobrovolskyi [B]

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: kataza@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-1077-1402

Oleh Tarasov [C]

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, e-mail: tarasovo@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6763-8653

Artem Remez [B]

Doctor of Philosophy, Senior lecturer at the Department of Operative Art, e-mail: remez.art.86@gmail.com

Mariia Yarmolchyk [C]

Doctor of Philosophy, head of the research laboratory, e-mail: LinkinFan357@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-9917-0189

[A] Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна
[B] Національний університет оборони України, Київ, Україна
[C] Кафедра військової підготовки Державного університету "Київський авіаційний університет", м. Київ, Україна

[A] Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[B] National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[C] Department of Military Training, State University "Kyiv Aviation University", Kyiv, Ukraine

Received: October 05, 2025 | Revised: October 25, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.4

Мета роботи. Систематизувати й проаналізувати нормативно-правову базу оборонного планування України та визначити напрями її вдосконалення відповідно до стандартів НАТО і умов воєнного часу.

Метод дослідження. Методи аналізу; синтезу; порівняння; формалізації та оцінювання матеріалу; абстрагування та кон'юнктурного аналізу (мислення).

Результати дослідження. Проаналізовано еволюцію та сучасний стан нормативно-правового забезпечення оборонного планування в Україні, систематизовано його трирівневу структуру, визначено основні досягнення у впровадженні підходу планування на основі спроможностей (СВР) за стандартами НАТО, а також окреслено наявні проблеми фрагментарності, бюрократизації процедур, відсутності єдиної методики оцінювання спроможностей і недостатньої міжвідомчої координації.

Теоретична цінність дослідження. Формування науково обґрунтованої системи знань про нормативно-правове забезпечення оборонного планування України, яка може використовуватися у наукових дослідженнях, навчальному процесі з дисциплін державного управління, національної безпеки та права, а також для розроблення нових концепцій і законодавчих ініціатив, спрямованих на вдосконалення системи оборонного планування відповідно до стандартів НАТО.

Тип статті. Теоретичний.

Ключові слова: оборонне планування, національна безпека, нормативно-правове забезпечення, стандарти НАТО, спроможності, стратегічне управління, воєнний стан.

Purpose. Systematise and analyse the regulatory and legal framework for defence planning in Ukraine, identifying areas for improvement in line with NATO standards and wartime conditions.

Method. Analysis; synthesis; comparison; formalization and evaluation of the material; abstraction and conjunctural analysis (thinking).

Findings. The evolution and current state of Ukraine's regulatory and legal framework for defence planning has been analysed. Its three-level structure has been systematised and the main achievements in implementing the Capability-Based Planning (CBP) approach in accordance with NATO standards have been identified. The existing problems of fragmentation, bureaucratisation of procedures, lack of a unified methodology for assessing capabilities and insufficient interagency coordination have also been highlighted.

Theoretical implications. The aim is to develop a scientifically sound system of knowledge about the regulatory and legal framework for defence planning in Ukraine. This system can be used for scientific research and teaching in subjects such as public administration, national security and law. It can also be used to develop new concepts and legislative initiatives aimed at improving the defence planning system in line with NATO standards.

Paper type. Theoretical.

Key words: defence planning, national security, regulatory and legal support, NATO standards and capabilities, strategic management, martial law.

Вступ

Оборонне планування посідає центральне місце в системі державного стратегічного управління України у сфері національної безпеки та оборони. Саме воно забезпечує зв'язок між політичними цілями держави, наявними ресурсами і практичними можливостями сил оборони, йдеться не лише про розроблення документів чи планів дій – оборонне планування є складним, безперервним процесом, який поєднує стратегічне бачення з реальними потребами військ, визначає пріоритети розвитку, напрями модернізації озброєння, підготовки персоналу та вдосконалення інфраструктури.

У сучасних умовах, коли Україна вже понад десятиліття перебуває в стані гібридної, а з 2022 року – повномасштабної війни, значення ефективного оборонного планування набуває особливої ваги: від того, наскільки виважено і системно держава визначає свої оборонні пріоритети, залежить не лише здатність Збройних Сил (ЗС) виконувати завдання на полі бою, а й спроможність усього сектору безпеки діяти узгоджено та раціонально.

Теоретичні основи дослідження

У сучасних підходах оборонне планування розглядається як системоутворюючий елемент державного стратегічного управління, який поєднує політичні, правові та управлінські аспекти забезпечення національної безпеки: згідно із Законом України "Про оборону України" №1932-XII визначено засади побудови оборонної політики, компетенцію органів влади та структуру сил оборони [1]. У Законі України "Про національну безпеку України" №2469-VIII оборонне планування офіційно визначене як складова державного стратегічного планування, що забезпечує баланс між потребами сектору оборони та фінансовими можливостями держави [2].

Теоретичне підґрунтя стратегічного рівня формують Стратегія національної безпеки України (2020) [3] та Стратегія воєнної безпеки України, затверджена Указом Президента №121/2021 [4]. У цих документах закладено базові принципи реагування на загрози, розвиток сил оборони та перехід до моделі планування на основі спроможностей. Практична реалізація зазначених підходів конкретизується у Стратегічному оборонному бюлетені України (Указ №473/2021), який орієнтовано на стандарти НАТО та визначено як дорожню карту реформування сектору безпеки до 2030 року [5].

Важливим етапом формування теоретичних засад оборонного планування стала Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України (Указ №92/2016), у якій зафіксовано перехід від директивної моделі планування до системи, що ґрунтується на оцінці спроможностей і взаємодії між відомствами [6]. Ця концепція узгоджується зі Стратегією розвитку оборонно-промислового комплексу України (постанова №1184/2020), що визначає роль оборонно-промислового сектору як складової національної стійкості [7], та Стратегією розвитку кібербезпеки України (Указ №447/2021), у якій оборонне планування розглядається у контексті захисту інформаційного простору [8].

На програмно-плановому рівні теоретичну основу становить Постанова Кабінету Міністрів №333 від 26 квітня 2017 року, яка запровадила систему стратегічного планування у секторі безпеки і оборони та визначила логіку взаємозв'язку стратегічних і програмних документів [9]. Її положення деталізуються в Державній програмі розвитку Збройних Сил України на 2021–2025 роки [10] і Державній програмі розвитку озброєння та військової техніки, що формують середньострокові напрями модернізації ЗСУ [11]. Комплексним документом практичного застосування є План оборони України, який охоплює сценарії реагування на воєнні загрози [12].

Суттєве теоретичне значення мають Наказ МОУ №484 від 22 грудня 2020 року "Про затвердження Порядку організації та здійснення оборонного планування" [13] і Наказ МОУ №190 від 14 квітня 2021 року "Про порядок підготовки стратегічних документів оборонного

планування” [14], які закладають послідовність етапів і методологію узгодження документів між суб’єктами сектору безпеки. В умовах воєнного стану ці засади доповнюються Наказом МОУ №226 від 11 квітня 2024 року “Інструкція з планування оборонних закупівель” [15], де сформульовано принципи гнучкого управління ресурсами, та Постановою КМУ №3338-2023, що регламентує оборонне планування у сфері державного оборонного замовлення [16]. Фінансово-економічні аспекти реалізації оборонних програм визначені Постановою №826/2022 “Про порядок організації та фінансування стратегічного планування у сфері оборони” [17].

Оперативно-методичний рівень дослідження спирається на Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей [18], які формують методологію СВР, а також на Методика оцінювання спроможностей сил оборони (Наказ МОУ №480/2023), що забезпечує єдиний стандарт вимірювання бойового потенціалу [19]. Практичну складову становлять Методичні рекомендації з планування та організації бою за стандартами НАТО (ВП-75-001103.01) [20] і Програма підготовки сил оборони, яка визначає порядок оперативного планування підготовки військ [21]. Аналітичним підґрунтям системи є Біла книга Міністерства оборони України – щорічний звіт, який узагальнює результати реалізації стратегічних документів і відображає принцип прозорості оборонного управління [22].

У процесі реформування нормативної бази значну роль відіграють рішення Ради національної безпеки і оборони, зокрема Указ Президента №240/2022 “Про рішення РНБО щодо удосконалення системи оборонного планування”, який визначає напрями адаптації системи до умов воєнного стану [23]. Інформаційно-аналітичне забезпечення процесів планування регламентується Національною розвідувальною програмою (закон “Про розвідку”, 2020) [24], окремі напрями розвитку оборонних спроможностей деталізуються у Стратегії розвитку сил територіальної оборони [25] та Стратегії розвитку сил спеціальних операцій ЗСУ [26], що відображають сучасні тенденції децентралізації та спеціалізації оборонного управління.

Таким чином, у нормативно-правових актах [1–26] простежується спільна теоретична ідея – формування інтегрованої, багаторівневої системи оборонного планування, у межах якої стратегічні документи визначають політичні цілі, програмні акти забезпечують ресурсну базу, а методичні стандарти регулюють практичну реалізацію оборонної політики. Такий підхід забезпечує поєднання правових, управлінських і методологічних аспектів, що створює цілісну наукову модель оборонного планування України, сумісну з євроатлантичними принципами стратегічного управління.

Постановка проблеми

Сучасний характер воєнних дій, що поєднує традиційні та гібридні загрози, інформаційний тиск, кібероперації та економічні чинники, зумовлює необхідність переосмислення підходів до нормативно-правового регулювання оборонного планування в Україні. Тривала збройна агресія проти України показала, що ефективність сектору безпеки визначається не лише рівнем військових спроможностей, а й якістю правового та інституційного середовища, у якому здійснюється планування, координація й реалізація оборонної політики.

Попри суттєвий прогрес у створенні нормативної бази після 2014 року, система правового забезпечення оборонного планування залишається фрагментованою. Чинні закони, урядові постанови та відомчі накази не завжди узгоджуються між собою за ієрархією, термінами реалізації та механізмами контролю. Часто відсутній чіткий зв’язок між стратегічними документами, такими як Стратегія воєнної безпеки чи Стратегічний оборонний бюлетень, і програмно-плановими актами, які забезпечують практичне втілення цих стратегій. Така неузгодженість створює дублювання повноважень, затримки у прийнятті рішень і ускладнює інтеграцію оборонного планування у загальнодержавну систему стратегічного управління.

Крім того, нинішня нормативна система лише частково адаптована до принципів планування на основі спроможностей, що є основою управлінських процесів у країнах НАТО. Відсутність уніфікованих методик оцінювання спроможностей, чітких критеріїв ефективності та стандартів міжвідомчої взаємодії стримує перехід до сучасної, результатоорієнтованої моделі оборонного менеджменту.

Додатковою проблемою залишається розрив між правовими та фінансово-економічними механізмами планування. Законодавчо визначені програми розвитку ЗС і оборонної промисловості часто не підкріплені стабільним бюджетним ресурсом і прозорими процедурами фінансування, що знижує реалістичність планових показників і унеможливлює гнучке реагування в умовах воєнного стану.

Паралельно виникає проблема сумісності національної нормативної бази з євроатлантичними стандартами. Незважаючи на декларований курс на інтеграцію з НАТО, існують істотні відмінності у структурі документів, термінології, підходах до оцінювання ризиків та управління оборонними ресурсами, що обмежує можливості для координації оборонних ініціатив, спільного планування та взаємного визнання процедур у межах партнерських форматів.

Отже, загалом наявна суперечність між зростаючою потребою у цілісній, узгодженій та прозорій системі нормативно-правового забезпечення оборонного планування і наявністю множини розрізнених актів, що не формують єдиного управлінського контуру. Такий стан справ обумовлює необхідність наукового обґрунтування структури сучасної моделі нормативно-правового регулювання оборонного планування, яка б поєднувала стратегічні, програмні й методичні рівні, відповідала стандартам НАТО та забезпечувала ефективну реалізацію оборонної політики держави в умовах воєнного часу.

Результати

Система нормативно-правового забезпечення оборонного планування в Україні є багаторівневою. Вона охоплює стратегічні, програмно-планові та оперативно-методичні документи, які разом формують цілісну вертикаль управління оборонною сферою – від визначення національних пріоритетів до конкретних дій міністерств, штабів і військових частин. Така побудова забезпечує послідовність: спочатку формується стратегічне бачення, потім визначаються цілі та ресурси, а далі – способи їх реалізації на практиці.

1. Стратегічний рівень.

На верхньому рівні системи розташовані документи, які визначають загальні засади державної політики у сфері національної безпеки та оборони. Їх завданням є встановлення стратегічних пріоритетів, окреслення кола загроз, визначення базових принципів функціонування сил оборони й напряму розвитку воєнної організації держави.

Основу цього рівня становлять два базові закони – “Про оборону України” та “Про національну безпеку України”. Вони закладають правові підвалини оборонного планування, встановлюють компетенцію державних органів, принципи формування оборонної політики, структуру та повноваження сил оборони. Зокрема, саме Закон “Про національну безпеку України” вперше закріпив визначення оборонного планування як складової державного стратегічного планування.

Подальшу конкретизацію цих положень забезпечують стратегічні документи Президента України. Стратегія національної безпеки України (2020) визначає загальну систему цілей і завдань держави у сфері безпеки, окреслює основні ризики для суверенітету, територіальної цілісності й стабільності держави. На її основі розроблено Стратегію воєнної безпеки України (2021), яка деталізує підходи до відсічі агресії, розвитку ЗС, посилення системи територіальної оборони та зміцнення оборонно-промислового потенціалу.

Важливим елементом цього рівня є Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України (2016), що стала відправною точкою для переходу до стандартів НАТО, запровадження планування на основі спроможностей та створення інтегрованої системи управління силами оборони.

Завершує стратегічний блок Стратегічний оборонний бюлетень України (2021). Це документ практичної реалізації положень Стратегії воєнної безпеки, який визначає конкретні напрями реформування сектору безпеки, розбудови спроможностей і забезпечення взаємосумісності зі структурами Альянсу.

Усі ці документи мають єдину мету – забезпечити стратегічну стійкість держави та спрямувати оборонну політику України на побудову сучасної, ефективної й інтегрованої системи безпеки.

2. Програмно-плановий рівень.

Другий, програмно-плановий рівень, є своєрідним мостом між стратегічними орієнтирами та практичними заходами. На цьому рівні визначаються конкретні програми розвитку, плани реалізації стратегій і механізми фінансування.

Центральне місце тут посідає Державна програма розвитку ЗС України на 2021–2025 роки. Вона конкретизує стратегічні цілі, встановлені у вищих документах, і перетворює їх на комплекс заходів – модернізацію озброєння, реформу системи управління, розвиток логістики та підготовки військ.

Важливою умовою для всієї діяльності у цій сфері залишається Постанова Кабінету Міністрів України №333 від 26 квітня 2017 року, якою затверджено Порядок стратегічного планування у секторі безпеки і оборони (регламентує, як саме мають розроблятися і взаємодіяти між собою всі стратегічні та програмні акти, забезпечуючи узгодженість дій різних державних органів); окреме місце посідає План оборони України, який належить до документів обмеженого доступу (комплексний план застосування сил оборони, який визначає сценарії реагування на можливу збройну агресію); у 2023 році уряд ухвалив Постанову №3338, що регулює порядок оборонного планування у сфері державного оборонного замовлення (визначає, яким чином планування потреб сил оборони пов'язується з державним фінансуванням, закупівлями озброєння, техніки та матеріально-технічних ресурсів).

Таким чином, програмно-плановий рівень забезпечує перехід від стратегічних ідей до реальних дій, закріплює механізми реалізації політичних рішень і гарантує ресурсне наповнення оборонної політики.

3. Оперативно-методичний рівень.

Найнижчий рівень у структурі нормативного забезпечення – це оперативно-методичний, який безпосередньо регулює практичну діяльність у сфері оборонного планування. Саме тут визначаються конкретні процедури, методики, стандарти та інструменти, що застосовуються в роботі Міністерства оборони, Генерального штабу та інших органів сектору безпеки.

Ключовим актом цього рівня є Наказ Міністерства оборони №484 від 22 грудня 2020 року, який затвердив Порядок організації та здійснення оборонного планування. Він деталізує етапи підготовки планів, визначає відповідальних виконавців, встановлює строки, методи координації та контролю. В умовах воєнного стану особливе значення має Наказ МОУ №226 від 11 квітня 2024 року, яким затверджено Інструкцію з планування оборонних закупівель, що передбачає адаптований порядок планування закупівель озброєння й техніки в умовах обмеженого часу та ресурсів. У 2023 році Міністерство оборони ухвалило Методику оцінювання спроможностей сил оборони, яка встановлює єдині підходи до аналізу бойового потенціалу, ефективності структур і визначення потреб у розвитку. Важливим методичним орієнтиром стали також Методичні рекомендації з планування та організації бою за стандартами НАТО (2022 р.), розроблені Генеральним штабом ЗС України. Вони дозволяють

наблизити українську систему планування до процедур Альянсу, забезпечуючи взаємосумісність та єдину логіку дій у багатонаціональних операціях. Разом ці документи утворюють нормативну основу для щоденної роботи органів військового управління, визначають стандарти планування, контролю та оцінки, а також забезпечують безперервний зв'язок між стратегічними орієнтирами держави й практичними діями на рівні військових підрозділів (табл. 1).

Таким чином, три рівні нормативно-правового забезпечення – стратегічний, програмно-плановий і оперативно-методичний – утворюють цілісну систему, що повинна гарантувати узгодженість дій державних інституцій у сфері оборони. А її ефективність залежить від злагодженої взаємодії цих рівнів: стратегічні документи задають вектор, програмні – забезпечують ресурси, а методичні – перетворюють політичні рішення на конкретні дії.

Таблиця 1 – Нормативно-правові документи, що формують основу систему оборонного планування України

Рівень	№ Рік	Назва документа	Зміст
СТРАТЕГІЧНИЙ РІВЕНЬ			
1	Закон України "Про оборону України" № 1932-XII	Верховна Рада України	Визначає засади оборони держави, структуру сил, повноваження органів влади
2	Закон України "Про національну безпеку України" № 2469-VIII	Верховна Рада України	Встановлює принципи національної безпеки; дає офіційне визначення "оборонного планування"
3	Стратегія національної безпеки України	Президент України	Визначає загрози, цілі, пріоритети політики національної безпеки
4	Стратегія воєнної безпеки України (Указ № 121/2021)	Президент України	Визначає напрями розвитку сил оборони, принципи реагування на загрози
5	Стратегічний оборонний бюлетень України (Указ № 473/2021)	Президент України	Документ реалізації Стратегії воєнної безпеки, орієнтований на стандарти НАТО
6	Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України (Указ № 92/2016)	Президент України / РНБО	Визначає стратегічні орієнтири побудови сучасного сектору оборони, перехід до СВР
7	Стратегія розвитку оборонно-промислового комплексу України (постанова № 1184/2020)	Кабінет Міністрів України	Визначає напрями розвитку ОПК, інтеграцію з системою оборонного планування
8	Стратегія розвитку кібербезпеки України (Указ № 447/2021)	Президент України	Визначає оборонні спроможності в кіберсфері
ПРОГРАМНО-ПЛАНОВИЙ РІВЕНЬ			
9	Постанова КМУ № 333 (26.04.2017) "Про затвердження Порядку стратегічного планування у секторі безпеки і оборони"	Кабінет Міністрів України	Установлює механізм стратегічного та оборонного планування
10	Державна програма розвитку Збройних Сил України (2021–2025)	Кабінет Міністрів України	Середньострокова програма розвитку ЗС

Рівень	№ Рік	Назва документа	Зміст
11	Державна програма розвитку озброєння та військової техніки	Кабінет Міністрів України, Міністерство оборони України	План модернізації, закупівлі та переозброєння
12	План оборони України	Президент України, ГШ ЗСУ	Комплексний державний план застосування сил оборони (секретний)
13	Наказ МОУ № 484 (22.12.2020) “Про затвердження Порядку організації та здійснення оборонного планування”	Міністерство оборони України	Базовий документ Міністерство оборони України: процедури планування, підхід на основі спроможностей
14	Наказ МОУ № 190 (14.04.2021) “Про порядок підготовки стратегічних документів оборонного планування”	Міністерство оборони України	Визначає алгоритм розроблення і погодження стратегічних документів
15	Наказ МОУ № 226 (11.04.2024) “Інструкція з планування оборонних закупівель”	Міністерство оборони України	Регламентує оборонні закупівлі під час воєнного стану
16	Постанова КМУ № 3338-2023 “Порядок оборонного планування у сфері державного оборонного замовлення”	Кабінет Міністрів України	Координує оборонне планування та ДОЗ
17	Порядок організації та фінансування стратегічного планування у сфері оборони (Постанова № 826/2022)	Кабінет Міністрів України	Визначає фінансово-економічне забезпечення стратегічного планування
ОПЕРАТИВНО-МЕТОДИЧНИЙ РІВЕНЬ			
18	Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей	Міністерство оборони України	Методологія СВР; визначення спроможностей, пріоритетів, оцінки
19	Методика оцінювання спроможностей сил оборони (Наказ МОУ № 480/2023)	Міністерство оборони України	Уніфікована методика оцінювання бойових та ресурсних спроможностей
20	Методичні рекомендації з планування та організації бою за стандартами НАТО (ВП-75-001103.01)	Генеральний штаб ЗС України	Практичні стандарти планування бойових дій
21	Програма підготовки сил оборони / військ (сил)	Міністерство оборони України, ГШ ЗСУ	Оперативне планування підготовки військ і командних органів
22	Біла книга Міністерства оборони України	Міністерство оборони України	Аналітичний звіт реалізації стратегій і програм, елемент моніторингу планування
ДОДАТКОВІ ДОКУМЕНТИ ТА РІШЕННЯ			
23	Указ Президента № 240/2022 “Про рішення РНБО щодо удосконалення системи оборонного планування”	Президент України / РНБО	Доручення щодо модернізації системи оборонного планування під час війни
24	Національна розвідувальна програма (закон “Про розвідку” 2020)	Верховна Рада України	Забезпечення стратегічного й оборонного планування даними розвідки

Рівень	№ Рік	Назва документа	Зміст
25	Стратегія розвитку сил територіальної оборони	Міністерство оборони України, Нацгвардія, КМУ	Розвиток тероборони як складової оборонного планування
26	Стратегія розвитку сил спеціальних операцій ЗС України	Генеральний штаб ЗС України	Визначає спроможності ССО та етапи розвитку

Отже нині наявна наступна проблематика забезпечення належного виконання оборонного планування, а саме:

1. На сьогодні система оборонного планування України перебуває у фазі активного реформування, поступово відходить від радянської директивно-планової моделі й наближається до сучасної системи, заснованої на принципах планування на основі спроможностей, що використовується в державах-членах НАТО. Даний орієнтований не стільки на кількісні показники військової сили чи обсяги фінансування, скільки на реальні спроможності виконувати визначені завдання у конкретних умовах безпеки, за наявних ресурсів. Іншими словами, увага зосереджується не лише на тому, що мають війська, а й на тому, що вони здатні зробити. Водночас, попри помітний прогрес у формуванні нормативної бази, залишається низка системних проблем, які стримують розвиток оборонного планування як цілісного управлінського процесу.

2. Нормативно-правове забезпечення оборонного планування в Україні поки що не має чіткої вертикальної узгодженості, частина документів діє паралельно або дублює функції, визначені в інших актах, деякі нормативні документи – наприклад, закон 2004 року “Про організацію оборонного планування” – втратили чинність, але залишилися згадки про них у підзаконних актах. Крім того, окремі положення оборонного планування регулюються законами “Про національну безпеку України”, “Про оборону України”, а також численними наказами Міністерства оборони, що створює складну і не завжди логічну систему, що призводить до фрагментарності правового поля, ускладнює узгодження між різними відомствами та уповільнює ухвалення рішень.

3. Процедури оборонного планування часто залишаються громіздкими, із численними погодженнями, звітами, міжвідомчими погодженнями та тривалими етапами затвердження. У мирний час це можна розглядати як елемент перевірки й контролю, однак в умовах воєнного стану така система стає неповороткою. Внаслідок цього ухвалення рішень щодо розподілу ресурсів, закупівель чи пріоритетів розвитку затягується, а реагування на реальні потреби фронту або оборонної промисловості відбувається із запізненням. Часто документи, підготовлені на основі актуальної оперативної інформації, проходять тривалий бюрократичний шлях і втрачають актуальність уже в момент затвердження.

4. Важливим викликом залишається й питання оцінки оборонних спроможностей, хоча у 2023 році Міністерством оборони була затверджена спеціальна методика оцінювання спроможностей, на практиці цей інструмент ще не став універсальним і єдиним стандартом. Відсутність відпрацьованих кількісних і якісних критеріїв призводить до того, що різні органи сектора безпеки використовують власні підходи до оцінювання результативності, що унеможливлює формування об’єктивної картини. Нерідко планування базується не на реальному аналізі спроможностей, а на прогнозах або політичних пріоритетах, що знижує ефективність оборонних програм і призводить до диспропорцій між планами та реальними можливостями їх виконання.

5. Ще однією суттєвою проблемою є розрив між фінансовим плануванням і оперативним. На практиці плани розвитку ЗС або закупівель озброєння часто формуються без достатнього урахування бюджетних обмежень. Фінансові рішення ухвалюються Міністерством фінансів і Кабінетом Міністрів окремо від планів оборонних структур, що ускладнює

синхронізацію ресурсного забезпечення з оперативними потребами. У результаті оборонні програми можуть бути профінансовані частково або із затримкою, що підриває логіку довгострокового планування. Водночас воєнний стан продемонстрував, що саме гнучка система бюджетування й оперативного реагування на зміни є критично важливою для ефективного функціонування оборонного сектору.

Таким чином, попри істотний прогрес у розвитку системи оборонного планування, вона все ще перебуває у процесі становлення. Україна поступово формує сучасну, адаптивну та результатоорієнтовану модель, однак для її повної ефективності необхідне завершення нормативної уніфікації, спрощення процедур, посилення методичного забезпечення та інтеграція фінансового й оперативного компонентів у єдину систему стратегічного управління обороною.

Тобто є актуальними наступні напрями вдосконалення:

1. Оновлення законодавства.

Насамперед Україні потрібен новий базовий закон про оборонне планування, який би об'єднав розпорошені норми, закріплені в різних актах – від Закону "Про національну безпеку" до наказів Міністерства оборони (попередній закон 2004 року давно втратив актуальність: він писався під іншу армію, іншу геополітичну ситуацію й інші стандарти). А новий закон повинен чітко визначити: хто є суб'єктами оборонного планування, які етапи цей процес проходить, яким чином узгоджуються між собою стратегічні, програмні та фінансові документи. Окремо слід закріпити принцип сумісності зі стандартами НАТО, адже саме він дозволяє планувати конкретні спроможності держави за певних умова. Такий закон має враховувати й реалії воєнного стану – спрощені процедури ухвалення рішень, прискорену координацію та короткі цикли оновлення планів.

2. Методологічна уніфікація.

Сьогодні різні підрозділи сил оборони користуються різними підходами до оцінки спроможностей, ризиків і ресурсів: в одних структурах діють власні внутрішні методики, в інших – застосовуються адаптовані стандарти НАТО, але без єдиної системи, що створює розрив між стратегічними документами та практичними планами. Вирішенням може стати запровадження уніфікованої методики оцінювання спроможностей, яка б стала обов'язковою для всіх органів сектору безпеки й оборони. Така методика має враховувати не лише бойові можливості, а й логістику, технічне забезпечення, підготовку кадрів, інформаційні ресурси. Її важливо закріпити нормативно – у вигляді окремого додатка до наказу МО України або спільного стандарту РНБО, Міноборони та Мінстратегпрому, що дозволить підвищити об'єктивність планування і зменшить дублювання функцій.

3. Інституційна інтеграція.

Система оборонного планування залишається надто відомчою: Міністерство оборони, РНБО, Мінстратегпром, Генеральний штаб, а також інші силові структури діють у власних межах відповідальності. Проте ефективність оборонного планування напряму залежить від того, наскільки узгоджено ці інституції працюють між собою. Потрібно створити єдиний координаційний механізм, який би збирав у єдине ціле роботу всіх учасників процесу. Йдеться не лише про спільні наради чи обмін інформацією, а про інституційно оформлений центр оборонного планування, що працював би на постійній основі під егідою РНБО або уряду (він міг би координувати розробку стратегічних документів, контролювати їх узгодженість і забезпечувати зв'язок між політичним керівництвом та військовими структурами).

4. Цифровізація процесу планування.

Більшість етапів оборонного планування досі здійснюється у форматі паперових документів і ручних узгоджень, що не лише уповільнює процес, а й підвищує ризики помилок, втрати даних або дублювання зусиль. На часі – створення єдиної цифрової системи оборонного планування, яка об'єднуватиме інформацію про ресурси, персонал, закупівлі,

стратегічні документи та хід їх реалізації. Така система має забезпечити швидкий обмін даними між Міністерством оборони, Генеральним штабом, Мінфіном, Мінекономіки, РНБО та іншими учасниками процесу, у перспективі її можна інтегрувати з системою державних закупівель і фінансового контролю, що зробить оборонне планування більш прозорим і керованим.

5. Прозорість і контроль.

Нарешті, ключовим елементом зрілої системи планування є прозорість і підзвітність. Хоча оборонна сфера традиційно закрита, це не означає, що її планування має бути повністю непрозорим для суспільства. Йдеться не про розкриття секретних деталей, а про регулярну публікацію звітів, подібних до "Білої книги Міністерства оборони України", з оцінкою результатів реалізації стратегічних документів, виконання програм і використання ресурсів.

Крім того, необхідно посилити внутрішній аудит і парламентський контроль за ефективністю оборонного планування, що сприятиме підвищенню довіри громадян до оборонних інституцій і забезпечить ефективніше використання бюджетних коштів.

Отже удосконалення системи оборонного планування має відбуватися не тільки шляхом формального оновлення документів, а через осмислене реформування самої логіки процесу – від закону до практики (нове законодавство, спільна методика, інституційна взаємодія, цифровізація та прозорість – це п'ять кроків, які зроблять українське оборонне планування сучасним, стійким і здатним оперативно реагувати на загрози у воєнний час).

Висновки

Сучасна система нормативно-правового забезпечення оборонного планування в Україні свідчить про помітну еволюцію та якісне оновлення, особливо протягом останніх п'яти років. Якщо раніше правове регулювання у цій сфері носило переважно декларативний характер і відставало від потреб практики, то нині воно поступово трансформується у цілісну, структуровану модель, наближену до підходів держав – членів НАТО, що проявляється у переході від планування "за завданнями" до планування "на основі спроможностей", уніфікації процедур оцінювання ресурсів, а також у створенні комплексної вертикалі стратегічних і програмних документів – від Стратегії воєнної безпеки до оперативних планів Міністерства оборони. Водночас, попри суттєвий прогрес, нинішня нормативно-правова база ще не може вважатися завершеною чи стабільною, її подальший розвиток потребує законодавчого оновлення, зокрема ухвалення сучасного базового закону про оборонне планування, який би системно врегулював взаємозв'язок між стратегічними, програмними та фінансовими документами. Окремої уваги потребує скорочення надмірних бюрократичних процедур, що уповільнюють процес ухвалення рішень і знижують гнучкість системи, особливо в умовах воєнного стану.

Не менш важливим напрямом є впровадження сучасних методів оцінювання спроможностей, які б дозволили об'єктивно вимірювати ефективність сил оборони, прогнозувати потреби у ресурсах і своєчасно коригувати плани. Для цього необхідна інтеграція єдиної інформаційно-аналітичної платформи оборонного планування, здатної поєднувати дані про загрози, ресурси, стан військових формувань і результати операцій. Крім того, важливо посилити міжвідомчу координацію між Міністерством оборони, Генеральним штабом, Радою національної безпеки і оборони, Кабінетом Міністрів та іншими структурами, які беруть участь у формуванні політики безпеки. На практиці саме слабка взаємодія між цими суб'єктами часто стає причиною дублювання документів, розривів у термінах та неузгодженості планів.

Загалом можна стверджувати, що Україна впевнено рухається у напрямі створення повноцінної, сучасної системи оборонного планування, здатної ефективно реагувати на реальні та потенційні загрози. Ця система поступово набуває рис гнучкої, адаптивної

структури, яка поєднує стратегічну далекоглядність із оперативною здатністю діяти в умовах невизначеності. Успішне завершення реформ у цій сфері стане запорукою не лише підвищення обороноздатності, а й утвердження України як прогнозованого та відповідального партнера у спільному євроатлантичному безпековому просторі.

Подальші дослідження доцільно зосередити на розробленні уніфікованої моделі нормативно-правового забезпечення оборонного планування, яка б поєднувала стратегічні, програмно-планові та методичні документи в єдину систему державного управління. Перспективним напрямом є наукове обґрунтування нового базового закону про оборонне планування, що узгоджував би національні підходи зі стандартами НАТО та ЄС. Окремої уваги потребують дослідження механізмів цифровізації процесів планування, інтеграції фінансового й оперативного компонентів, а також формування інституційної моделі міжвідомчої координації у секторі безпеки та оборони.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Верховна Рада України. (1991). Закон України “Про оборону України” №1932-XII. Київ: Верховна Рада України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12
2. Верховна Рада України. (2018). Закон України “Про національну безпеку України” №2469-VIII. Київ: Верховна Рада України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19
3. Президент України. (2020). Стратегія національної безпеки України. Київ: Офіс Президента України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020
4. Президент України. (2021). Стратегія воєнної безпеки України (Указ №121/2021). Київ: Офіс Президента України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021
5. Президент України. (2021). Стратегічний оборонний бюлетень України (Указ №473/2021). Київ: Офіс Президента України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021
6. Президент України / Рада національної безпеки і оборони України. (2016). Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України (Указ №92/2016). Київ: РНБО України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/92/2016
7. Кабінет Міністрів України. (2020). Стратегія розвитку оборонно-промислового комплексу України (Постанова №1184/2020). Київ: Кабінет Міністрів України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1184-2020-%D0%BF
8. Президент України. (2021). Стратегія розвитку кібербезпеки України (Указ №447/2021). Київ: Офіс Президента України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021
9. Кабінет Міністрів України. (2017). Постанова №333 “Про затвердження Порядку стратегічного планування у секторі безпеки і оборони”. Київ: КМУ. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2017-%D0%BF
10. Кабінет Міністрів України. (2021). Державна програма розвитку Збройних Сил України на 2021–2025 роки. Київ: Міністерство оборони України.
11. Кабінет Міністрів України / Міністерство оборони України. (2021). Державна програма розвитку озброєння та військової техніки. Київ: МОУ.
12. Президент України / Генеральний штаб Збройних Сил України. (2021). План оборони України.
131. Міністерство оборони України. (2020, 22 грудня). Наказ №484 “Про затвердження Порядку організації та здійснення оборонного планування”. Київ: МОУ.

https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0134-21
14. Міністерство оборони України. (2021). Наказ №190 “Про порядок підготовки стратегічних документів оборонного планування”. Київ: МОУ.
15. Міністерство оборони України. (2024). Наказ №226 “Інструкція з планування оборонних закупівель”. Київ: МОУ.
16. Кабінет Міністрів України. (2023). Постанова №3338 “Порядок оборонного планування у сфері державного оборонного замовлення”. Київ: КМУ.
17. Кабінет Міністрів України. (2022, 8 липня). Постанова №826 “Про порядок організації та фінансування стратегічного планування у сфері оборони”. Київ: КМУ.
18. Міністерство оборони України. (2021). Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей. Київ: МОУ.
19. Міністерство оборони України. (2023). Наказ №480 “Методика оцінювання спроможностей сил оборони”. Київ: МОУ.
20. Генеральний штаб Збройних Сил України. (2022). Методичні рекомендації з планування та організації бою за стандартами НАТО (ВП-75-001103.01). Київ: ГШ ЗСУ.
21. Міністерство оборони України / Генеральний штаб Збройних Сил України. (2023). Програма підготовки сил оборони (військ). Київ: МОУ.
22. Міністерство оборони України. (2023). Біла книга Міністерства оборони України. Київ: МОУ. https://www.mil.gov.ua
23. Президент України / Рада національної безпеки і оборони України. (2022, 20 травня). Указ №240/2022 “Про рішення РНБО щодо удосконалення системи оборонного планування”. Київ: Офіс Президента України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/240/2022
24. Верховна Рада України. (2020). Закон України “Про розвідку” №912-IX. Київ: Верховна Рада України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/912-20
25. Міністерство оборони України / Національна гвардія України / Кабінет Міністрів України. (2022). Стратегія розвитку сил територіальної оборони України. Київ: МОУ.
26. Генеральний штаб Збройних Сил України. (2023). Стратегія розвитку сил спеціальних операцій Збройних Сил України. Київ: ГШ ЗСУ.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991). *Law of Ukraine “On the Defense of Ukraine” No. 1932-XII.* Kyiv: Verkhovna Rada of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12
2. Verkhovna Rada of Ukraine. (2018). *Law of Ukraine “On National Security of Ukraine” No. 2469-VIII.* Kyiv: Verkhovna Rada of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19
3. President of Ukraine. (2020). *National Security Strategy of Ukraine.* Kyiv: Office of the President of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020
4. President of Ukraine. (2021). *Military Security Strategy of Ukraine (Decree No. 121/2021).* Kyiv: Office of the President of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021
5. President of Ukraine. (2021). *Strategic Defense Bulletin of Ukraine (Decree No. 473/2021).* Kyiv: Office of the President of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021
6. President of Ukraine / National Security and Defense Council of Ukraine. (2016). *Concept of Development of the Security and Defense Sector of Ukraine (Decree No. 92/2016).* Kyiv: NSDC of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/92/2016
7. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2020). *Strategy for the Development of the Defense-Industrial Complex of Ukraine (Resolution No. 1184/2020).* Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1184-2020-%D0%BF
8. President of Ukraine. (2021). *Cybersecurity Development Strategy of Ukraine (Decree No. 447/2021).* Kyiv: Office of the President of Ukraine.

https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/447/2021
9. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2017). *Resolution No. 333 "On Approval of the Procedure for Strategic Planning in the Security and Defense Sector."* Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/333-2017-%D0%BF
10. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). *State Program for the Development of the Armed Forces of Ukraine for 2021–2025.* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
11. Cabinet of Ministers of Ukraine / Ministry of Defense of Ukraine. (2021). *State Program for the Development of Armaments and Military Equipment.* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
12. President of Ukraine / General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2021). *Defense Plan of Ukraine.*
13. Ministry of Defense of Ukraine. (2020, December 22). *Order No. 484 "On Approval of the Procedure for Organization and Implementation of Defense Planning."* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0134-21
14. Ministry of Defense of Ukraine. (2021). *Order No. 190 "On the Procedure for Preparing Strategic Defense Planning Documents."* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
15. Ministry of Defense of Ukraine. (2024). *Order No. 226 "Instruction on Defense Procurement Planning."* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
16. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023). *Resolution No. 3338 "On the Procedure for Defense Planning in the Field of State Defense Procurement."* Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine.
17. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, July 8). *Resolution No. 826 "On the Procedure for Organization and Financing of Strategic Planning in the Field of Defense."* Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine.
18. Ministry of Defense of Ukraine. (2021). *Recommendations on Capability-Based Defense Planning.* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
19. Ministry of Defense of Ukraine. (2023). *Order No. 480 "Methodology for Assessing the Capabilities of the Defense Forces."* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
20. General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2022). *Methodological Recommendations on Planning and Conducting Battle According to NATO Standards (VP-75-001103.01).* Kyiv: General Staff of the Armed Forces of Ukraine.
21. Ministry of Defense of Ukraine / General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2023). *Training Program for the Defense Forces (Troops).* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
22. Ministry of Defense of Ukraine. (2023). *White Book of the Ministry of Defense of Ukraine.* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine. https://www.mil.gov.ua
23. President of Ukraine / National Security and Defense Council of Ukraine. (2022, May 20). *Decree No. 240/2022 "On the NSDC Decision on Improving the Defense Planning System."* Kyiv: Office of the President of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/240/2022
24. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020). *Law of Ukraine "On Intelligence" No. 912-IX.* Kyiv: Verkhovna Rada of Ukraine. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/912-20
25. Ministry of Defense of Ukraine / National Guard of Ukraine / Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022). *Strategy for the Development of the Territorial Defense Forces of Ukraine.* Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine.
26. General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2023). *Strategy for the Development of the Special Operations Forces of the Armed Forces of Ukraine.* Kyiv: General Staff of the Armed Forces of Ukraine.

Застосування безпілотних авіаційних комплексів для вогневого ураження противника у воєнних конфліктах кінця XX – першої чверті XXI століть

The Usage of Unmanned Aerial Systems for Enemy Destruction During Armed Conflicts in the Late XX and First Quarter of XXI Centuries

Володимир Рєзнік
Corresponding author: кандидат історичних наук, старший науковий співробітник, e-mail: vreznik907@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1479-4852

Фурман Ігор
доктор історичних наук, професор, e-mail: fi2005@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3594-5499

Татаренко Катерина
магістрант, e-mail: za_wdw@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-7694-8607

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

Volodymyr Rieznik
Corresponding author: Candidate of Historical Sciences, Senior Researcher, e-mail: vreznik907@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1479-4852

Ihor Furman
Doctor of Historical Sciences, Professor, e-mail: fi2005@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-3594-5499

Kateryna Tatarenko
Master's Degree, e-mail: za_wdw@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-7694-8607

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: September 23, 2025 | Revised: October 19, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.5

Мета роботи. Розкрити досвід застосування безпілотних авіаційних комплексів як засобів вогневого ураження в конфліктах кінця XX — першої чверті XXI століття та встановити форми й способи їх застосування.

Метод. Застосовано аналіз, синтез, дедукцію, індукцію та історико-генетичний і проблемно-хронологічний підходи.

Результати дослідження. Простежено генезу й еволюцію безпілотних комплексів, класифіковано основні форми застосування для ураження противника, виявлено тенденції їх розвитку, сильні й слабкі сторони.

Теоретична цінність дослідження. Уточнення впливу ключових факторів на формування тактик застосування БПЛА та запропоновано вдосконалені визначення окремих форм їх використання.

Практична цінність дослідження. Результати можуть бути використані в навчальному процесі вищих військових закладів і при доопрацюванні доктринальних документів Сил безпілотних систем ЗСУ.

Оригінальність. На широку джерельну базу вперше систематизовано бойовий досвід застосування безпілотних комплексів і уточнено їх оперативно-бойові функції. Особлива увага приділена процесу формування у Збройних Силах України нового роду військ — Сил безпілотних систем, що набуває практичної значущості під час відсічі широкомасштабної агресії Росії; наголошено на протиріччі між необхідністю підвищення автономності систем та етичними й правовими обмеженнями щодо права прийняття рішення про застосування летальної сили автономними машинами.

Обмеження: Дослідження базується переважно на відкритих джерелах; подальші праці мають охопити комплексне застосування сил БПЛА та методи протидії противника.

Тип статті. Теоретичний, практичний.

Purpose. To analyze experience in employing unmanned aerial systems (UAS) as instruments of firepower against adversaries from the late twentieth century to the first quarter of the twenty-first century, and to identify principal forms and methods of operational use.

Method. Analysis, synthesis, deduction, induction, and historical approaches (historical-genetic; problem-chronological).

Findings. The study traces UAS genesis and evolution, classifies main forms and methods for striking targets, and identifies development trends, strengths and weaknesses.

Theoretical implications. The research clarifies key factors shaping UAS employment, refines definitions of certain operational forms, and records the emergence of a new military art and branch — the Unmanned Systems Forces of the Armed Forces of Ukraine — which gained practical importance during resistance to large-scale Russian aggression; it highlights the tension between increasing UAS autonomy and ethical and legal limits on permitting machines to make lethal decisions.

Practical implications. Results are applicable in curricula for higher military education and for refining doctrinal documents governing the Unmanned Systems Forces.

Originality. On a broad historiographical basis, the authors systematically analyse combat experience of UAS employment. Limitations — reliance on open sources; further research should examine full-spectrum UAS tasking and counter-UAS methods.

Paper type. Theoretical and practical.

Ключові слова: Сили безпілотних систем, безпілотний літальний апарат, боєприпаси, вогневе ураження, дрон-камікадзе, війна.

Key words: Unmanned Systems Forces, unmanned aerial vehicle, munitions, fire engagement, loitering munition, war.

Вступ

Починаючи з другої половини XX ст. роль безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) у збройній боротьбі постійно зростала. Розширювалось коло завдань, що покладалися на них, зростали

просторові характеристики їх застосування, зародилися і продовжують бурхливий розвиток форми і способи їх застосування. Починаючи з другої декади ХХ ст., як свідчить досвід воєнних конфліктів, БпАК стали дедалі ширше залучатися до вогневого ураження противника в операціях угруповань сухопутних військ. Активну роль ці системи відіграли під час воєнних конфліктів у Сирії, Лівії, Нагірному Карабаху. Безпрецедентну роль ударні БпАК відіграють у російсько-українській війні починаючи з 2014 року. Масштаб завдань і обсяги застосування БпАК під час російсько-української війни розширилися настільки, що у 2024 році вищим військово-політичним керівництвом України було прийняте рішення про створення у складі Збройних Сил (ЗС) України окремого роду військ – Сил безпілотних систем [19].

Ця подія стала унікальною у військовому будівництві, адже Україна стала першою державою за всю історію людства, яка створила такий унікальний рід військ, спроможний виконувати завдання у всіх середовищах: на суходолі, у повітрі та на морі [12]. Застосування БпАК стало, поруч з іншими, найвагомішим чинником, що забезпечив стійкість Сил оборони України під час відсічі повномасштабної агресії Російської Федерації, та не дав їй змогу у визначені терміни реалізувати свої стратегічні наміри. Отже, застосування БпАС стало принципово новим явищем у збройній боротьбі, що докорінним чином змінило її зміст та результати, а тому це нове явище потребує досліджень в інтересах підвищення спроможності ЗС України до результативної відсічі агресії противника зі значно більшим військовим потенціалом. Тому у найближчій перспективі подібні дослідження будуть вкрай актуальними.

Проблематика застосування БпАК доволі тривалий час була предметом наукових досліджень українських та іноземних фахівців у різних галузях науки. Праці таких українських авторів, як С. Мосов, А. Фещенко, вже можна вважати класичними [3; 9]. Варто також відмітити праці таких українських авторів, як І. Серяков, М. Ракунова та В.Колійко [18, с. 227–232], А. Саковський, С. Науменко, С. Кравченко, І. Єфіменко [13], В. Рєзніка, А. Ремеза та вже згаданого вище І. Серякова [17, с. 81–86.]. Досліджуючи різні аспекти, пов’язані із застосуванням БпАС, названі автори не виділяли цей напрям в окрему тему, до того ж, деякі праці вийшли раніше, аніж почалося повномасштабне російське вторгнення, тому досвід останніх потребує більш детального дослідження.

Важлива інформація для кращого розуміння процесів застосування БпАК та способів протидії ним міститься у низці праць іноземних фахівців, зокрема В. Хоанга і К. Фама [31, с. 10–20], Т. Хамфриса [32], Дж. Діаса та Л. Сеневіранте [26, с. 175–195] тощо. Отже, наявність значного масиву публікацій свідчить, що тема застосування БпАК як засобів вогневого ураження противника залишається достатньо актуальною.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичні основи дослідження включають кілька ключових аспектів, які допомагають зрозуміти та аналізувати процеси, пов’язані з розвитком нового озброєння і військової техніки та його впливом на розвиток теоретичної і практичної складових воєнного мистецтва. Ця проблематика розглядається окремими галузями воєнно-історичної науки. Дослідження проводилося в рамках наступних галузей воєнної історії, при цьому провідну роль відігравали наступні:

історія війн, яка є фактологічною основою воєнно-історичної науки в цілому. Вона досліджує соціальну сутність війн як особливого суспільного явища, розкриває причини та умови її виникнення, політичні, військово-стратегічні цілі, характер і особливості конкретних війн, оцінює сили і плани сторін, розглядає загальний хід воєнних дій, окремих кампаній, операцій, битв, боїв, аналізує їх підсумки, визначає вплив даної війни на розвиток суспільства. В контексті проведеного дослідження автори наводять окремі факти із досвіду воєнних конфліктів, що відбувалися у досліджуваний період.

історія воєнного мистецтва досліджує процес виникнення і еволюції форм і способів ведення збройної боротьби, виявляє тенденції, закономірності, принципи розвитку стратегії, оперативного мистецтва і тактики.

історія озброєння і військової техніки вивчає процес виникнення і удосконалення різних озброєнь і зразків військової техніки, його тенденції і закономірності, розкриває процеси впровадження та освоєння нової зброї і техніки у війська, їх застосування в практиці бойової підготовки і бойових дій, ступінь і характер їхнього впливу на будівництво збройних сил і воєнне мистецтво.

історія воєнної думки вивчає розвиток воєнно-теоретичних поглядів під впливом економічних, соціально-політичних та інших факторів на природу і характер війн, їх підготовку і ведення, на проблеми будівництва збройних сил і воєнного мистецтва. Якщо історія воєнного мистецтва орієнтована більше на вивчення практичного аспекту розвитку форм і способів ведення збройної боротьби, то історія воєнної думки вивчає розвиток теоретичної складової всіх галузей воєнного мистецтва.

історія будівництва збройних сил досліджує виникнення і розвиток збройних сил, їх видів і родів військ. Історія військового будівництва вивчає розвиток організаційних структур військових формувань, їх вплив на застосування військ (сил) та зворотній вплив досвіду, набутого на війні, на структурні зміни у збройних силах. В контексті нашого дослідження наголошено на пріоритеті України у створенні принципово нового роду військ – Сил безпілотних систем, що неодмінно потягнуло за собою розвиток теоретичної і практичної складової воєнного мистецтва нового роду військ та прискорений розвиток його специфічних озброєння і військової техніки [5, с. 13].

Постановка проблеми

Аналізуючи стан висвітлення у вітчизняній та іноземній історіографії проблематики застосування БпАК для вогневого ураження противника, автори констатують, що ця тема, незважаючи на її актуальність висвітлена доволі фрагментарно. Це обумовлено її відносною новизною та безпрецедентним масштабом застосування БпАК саме як засобів вогневого ураження або носіїв озброєння, що проявилося під час відсічі повномасштабної російської агресії проти України, розпочатої у 2022 році. Зародження форм, способів застосування БпАК для вогневого ураження противника, їх еволюція, теоретична інтерпретація не набули необхідного висвітлення в науковій літературі та недостатньо відображені у доктринальних документах.

Виходячи із зазначеного, метою статті є розкриття досвіду застосування безпілотних авіаційних комплексів як засобів вогневого ураження противника у воєнних конфліктах кінця XX – першої чверті XXI століття, встановлення форм і способів їх застосування.

Методологія дослідження

Для досягнення мети дослідження автори застосували ряд логічних загальнонаукових методів (дедукція, індукція, аналіз, синтез, застосування яких дало змогу виявити сутнісні риси досліджених явищ, розглянути їх окремі складові та зробити відповідні узагальнення) та низку спеціальних історичних методів наукового пізнання, зокрема:

емпіричний аналіз – використання офіційних інформаційних джерел, керівних документів, інформації від виробників озброєння і військової техніки;

кейс-стаді – детальний аналіз конкретних випадків або подій, що мають значення для досліджуваної теми;

теоретичний аналіз – аналіз наукових статей, теоретичних робіт, що стосуються теми дослідження, для визначення теоретичної бази та ідентифікації прогалин у наявних знаннях;

історико-генетичний метод – для встановлення причинно-наслідкових зв’язків, тенденцій та закономірностей історичного розвитку форм і способів застосування БпАК.

проблемно-хронологічний – для виділення окремих складових проблемної ситуації та дослідження процесів її розв'язання у хронологічній послідовності.

Результати

Насамперед вважаємо доцільним уточнити термінологію. Під терміном безпілотна авіаційна системами розуміємо сукупність безпілотних авіаційних комплексів та окремих безпілотних літальних апаратів (БпЛА) різного призначення взаємопов'язаних єдиними принципами застосування, побудови, управління та контролю за їх функціонуванням. Як можна побачити із наведеного визначення, складовими БпАС є як БпЛА, так і безпілотні авіаційні комплекси, як інтегрована структура нижчого порядку по відношенні до системи. Під безпілотним авіаційним комплексом (БпАК) розуміється безпілотний літальний апарат, пов'язані з ним пункти дистанційного пілотування (станції наземного керування)необхідні лінії керування і контролю та інші елементи, які забезпечують його функціонування. Зазвичай до складу БпАК входить декілька однотипних БпЛА. При цьому ми маємо на увазі, що безпілотний літальний апарат (безпілотне повітряне судно) – літальний апарат (повітряне судно), керування польотом якого і контроль за яким здійснюються дистанційно за допомогою пункту дистанційного пілотування(станції наземного керування), або повітряне судно, яке здійснює політ автономно за відповідною програмою [12, с. 13.].

У Доктрині "Застосування безпілотних систем у силах оборони України" (далі – Доктрина) представлена класифікація БпЛА, що спирається на прийняті у світі підходи (Таблиця 1).

Таблиця – Класифікація безпілотних літальних апаратів

<table>
<tr><td rowspan="2">Клас</td><td colspan="4">Характеристики БпЛА, що входять до складу БпАС</td><td rowspan="2">Категорія БпЛА держав – членів НАТО</td></tr>
<tr><td>Злітна маса</td><td colspan="2">Рівень застосування</td><td>Радіус дії</td></tr>
<tr><td rowspan="3">I</td><td>до 2 кг</td><td rowspan="3">так-тичні</td><td>мікро</td><td>до 5 км</td><td>micro</td></tr>
<tr><td>від 2 кг до 15 кг</td><td>міні (поля бою)</td><td>більше 5 км</td><td>mini</td></tr>
<tr><td>від 15 кг до 150 кг</td><td>малі</td><td>більше 25 км</td><td>small</td></tr>
<tr><td>II</td><td>від 150 кг до 600 кг</td><td colspan="2">тактичні (оперативно-тактичні)</td><td>більше 50 км</td><td>tactical</td></tr>
<tr><td rowspan="2">III</td><td rowspan="2">понад 600 кг</td><td colspan="2">оперативні</td><td rowspan="2">понад 200 км (поза зоною прямої радіовидимості)</td><td>MALE</td></tr>
<tr><td colspan="2">стратегічні</td><td>HALE</td></tr>
</table>

Джерело: [12, с. 15]

Безпілотні літальні апарати зі складу БпАС I класу зазвичай не потребують спеціальних злітних майданчиків, запускаються з руки (або за допомогою катапульти) та застосовуються на висотах до 1500 м.

Безпілотні літальні апарати БпЛА зі складу БпАС II класу зазвичай запускаються за допомогою катапульти, пускових установок, стартових платформ з ракетним прискорювачем або з використанням злітно-посадкових смуг (майданчиків) зі штучним покриттям та застосовуються на висотах до 5500 м.

Безпілотні літальні апарати БпЛА зі складу БпАС III класу зазвичай потребують злітно-посадкових смуг (майданчиків) зі штучним покриттям. Вони поділяються на дві категорії: оперативні (MALE – середньої висоти та довгої тривалості польоту). Застосовуються на висотах

до 13700 м; стратегічні (HALE – великої висоти та довгої тривалості польоту). Застосовуються до висоти 19800 м [12, с. 15].

Аналіз таблиці та положень Доктрини дає змогу зробити висновок, що українська класифікація БпЛА дещо відрізняється від прийнятої у державах – членах НАТО. Насправді це не зовсім так, адже єдиною відмінністю вітчизняної класифікації є менша кількість груп апаратів (три замість шести) [17, с. 83.]. З одного боку, це достатньо зручно з огляду на підпорядкування БпАС органам управління різного рівня: стратегічного, оперативного і тактичного. З іншого, класифікація НАТО більш гнучка, адже завдяки у ній закладена можливість використання різних систем в інтересах виконання завдань незалежно від рівня органу військового управління, тобто в інтересах бригади або дивізії за рішенням відповідного командувача можуть бути застосовані будь-які засоби до стратегічних (HALE) включно. На нашу думку, доцільність того або іншого підходу визначається конкретною обстановкою, насамперед характером завдань, співвідношенням сил, спроможностями системи протиповітряної оборони (ППО) та радіоелектронної боротьби (РЕБ) противника і може бути встановлена лише за досвідом бойового застосування.

Необхідність створення БпЛА, здатних виконувати завдання вогневого ураження противника була обумовлена кількома обставинами. Важливу роль відігравала тенденція до зростання вартості пілотованої авіаційної техніки (рис. 1).

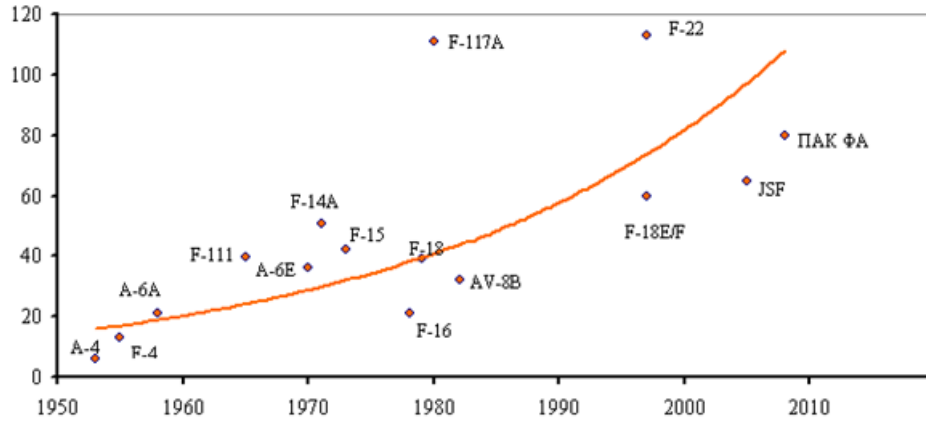


Рисунок 1 – Динаміка зростання вартості літаків тактичної (палубної) авіації [3, с. 180]

Як можна побачити з наведеної діаграми, упродовж 50 років вартість багатофункціональних винищувачів зросла майже у п’ять разів. Через це загроза втрати літака та екіпажу під час виконання завдання, навіть у разі досягнення успіху, ні завжди виправдовувалась шкодою, що була завдана противнику. Натомість вартість БпЛА, що застосовуються у тактичній ланці, не виходить за межі кількох сотень доларів США [27]. Низька вартість БпЛА, обумовлена простотою їх конструкції, призвела до того, що у воєнних конфліктах XXI століття вони застосовувались не лише легітимними державними силовими структурами, але й парамілітарними військовими формуваннями, зокрема чисельними приватними військовими кампаніями. Так, відомо, що під час боїв за Бахмут БпЛА різного призначення активно використовували не лише відповідні підрозділи ЗС України та РФ, але й штурмові групи приватної військової кампанії “Вагнер”[16, с. 92]. Особливого значення це набувало у разі, коли одна сторона вела воєнні дії проти кількісно переважаючого противника. Саме така ситуація спонукала південноафриканських конструкторів із компанії Kentron наприкінці 1980-х років розробити на базі розвідувального БпЛА ARD-10ударну версію – баражуючий боєприпас за тим самим індексом. Основним призначенням БпЛА було боротьба із засобами ППО противника, оснащеними радіолокаційними станціями (РЛС). Для цього апарат був обладнаний пасивною радіолокаційною головкою самонаведення, здатною

виявляти та спрямовувати апарат на об’єкт, що випромінює електромагнітні хвилі відповідного діапазону. Проте, припинення конфлікту в Намібії, де ангольські війська створили за допомогою СРСР потужну ешелоновану систему ППО та подальша нестабільність в ПАР не дали розвинути цей проєкт [33].

На нашу думку, не менш вагоме значення мають міркування скорочення часу між виявленням цілі, прийняттям рішення та її ураження. Переважна більшість БпЛА під час виконання завдання транслюють зображення на пункт управління, що дає змогу оператору у разі виявлення та ідентифікації цілі негайно віддати команду на її ураження баражуючим боєприпасом або встановленим на БпЛА авіаційним засобом ураження (бомбою або керованою ракетою). При цьому удар завдається прицільно, ціль уражається прямим влученням, а менша, у порівнянні з засобами пілотованої авіації бойова частина сприяє мінімізації шкоди цивільним об’єктам та не комбатантам, що можуть перебувати поруч. До того ж, тримати у певному районі у повітрі чергові сили пілотованої авіації у рази дорожче, ніж дешевші БпЛА, що теж є важливим у сучасних умовах.

Менша швидкість БпЛА та більша маневреність, ніж у пілотованих літаків, може бути у ряді ситуацій скоріш перевагою, аніж недоліком. Наприклад, під час виконання завдань авіаційної підтримки військ, що діють в умовах мінімальної відстані від противника швидкісна та потужна пілотована авіація може під час завдання удару уразити і свої війська. Це міркування суттєво обмежує можливості авіації здійснювати авіаційну підтримку військ під час боїв у місті. Натомість, малогабаритний БпЛА може проникнути через отвори або двері чи вікна всередину будівлі і уразити противника з ювелірною точністю, не створюючи зайвих руйнувань.

Проте, найголовнішим чинником розвитку ударних БпЛА є значна віддаленість оператора із зони вогневого контакту. В разі знищення БпЛА оператор не втрачається. І це найважливіша властивість озброєння такого класу. Крім того, варто також згадати, що підготовка льотного складу пілотованої авіації триває роками, цінність висококласних льотчиків для держави надзвичайно велика, натомість операторів БпАС можна підготувати за лічені тижні, а загроза їх життю, як вже стверджувалось, прямо залежить від їх віддалення від лінії бойового зіткнення, яка може досягати кілометрів і більше, в залежності від типу застосованого БпЛА [3, с. 61].

Такі міркування, а також значні успіхи в розробленні систем управління БпЛА розвідувального призначення стали причинами того, що тематикою баражуючих боєприпасів першим зацікавився Ізраїль. Вже у 1990-х роках група конструкторів ізраїльського оборонного концерну Israel Aerospace Industries (IAI) розробила перший баражуючий боєприпас Harpy [33].

Поєднуючи в собі характеристики БпЛА та протирадіолокаційної ракети, Harpy можна було запускати без попередньої інформації про координати цілі, адже її пошук відбувався під час патрулювання визначеної зони способом “вільного полювання”. Harpy був призначений для придушення протиповітряної оборони противника знищення його радіолокаційних засобів. Harpy запускався з наземних пускових установок або морських платформ. Тривалість польоту Harpy досягала 9 годин, комплекс був всепогодний і міг використовуватись у складній тактичній і радіоелектронній обстановці. Апарат відрізнявся високою маневреністю і міг атакувати цілі з великими перевантаженнями [30].

Бойове застосування Harpy відбувалось наступним чином. Запуск відбувався з наземної пускової установки за допомогою малогабаритного твердопаливного прискорювача, після чого баражуючий боєприпас у повністю автономному режимі за заздалегідь розробленим маршрутом прямував у призначений район і також в автономному режимі здійснював виявлення РЛС системи ППО противника, насамперед РЛС зенітних ракетних комплексів (ЗРК), її захоплення пасивною радіолокаційною головкою самонаведення (ГСН),після чого уражав її з пікірування. У разі вимкнення сигналу ворожої РЛС до переходу БпЛА в атаку, боєприпас

переходив у режим пошуку, продовжуючи патрулювання. У базовому варіанті до складу однієї батареї комплексу з баражуючими боєприпасами Harpy входили три мобільні, змонтовані на шасі автомобіля підвищеної прохідності, бойові машини-пускові установки, кожна з яких мала 18 боєприпасів, розміщених у транспортно-пускових контейнерах [25]. Отже, суттєвим недоліком Harpy була вузька функціональність, адже цей апарат міг атакувати виключно РЛС, які працювали в активному режимі. Проте як засіб придушення ППО ізраїльський комплекс зарекомендував себе відмінно, що обумовило його експортний успіх так подальший розвиток цього класу озброєння у всьому світі.

Подальшим розвитком ідей, закладених у комплекс Harpy, став БпАК Harop. На відміну від Harpy, цей БпЛА був оснащений оптико-електронною ГСН, що давало змогу атакувати широку номенклатуру цілей, як стаціонарних, так і рухомих [29]. Суттєвим недоліком було те, що рішення на ураження приймалось оператором, зв'язок з яким відбувався по командній радіолінії управління (КРУ), що створювало потенційну загрозу її радіоелектронного придушення. Проте, досвід застосування БпЛА Harop ЗС Азербайджану під час Другої карабаської війни у 2020 році підтвердив його високі характеристики, правда слід відзначити, що вірменські війська не вели активної РЕБ, а отже комплекс застосовувався у сприятливій тактичній обстановці [6].

Такий напрям розвитку безпілотних ударних засобів виявився досить перспективним і у перші роки XXI столітті такі БпЛА, що одержали назву баражуючі боєприпаси або дрони-камікадзе почали розроблятися у багатьох країнах світу. При цьому такі боєприпаси створювались для завдання ударів по об'єктах у тактичній, оперативній та стратегічній глибині. Спільними рисами таких БпЛА були дешевизна (у порівнянні з керованими ракетами), відносно невелика швидкість (максимальна до 250 км/год), велика тривалість польоту (до 8–9 год), осколково-фугасна бойова частина, поршневий авіаційний двигун потужністю до 50 к.с. [1].

Проте, були і суттєві відмінності. Для ураження цілей у стратегічній та оперативній глибині застосовувались БпЛА, у системі управління яких поєднувались інерційна система управління з корекцією від космічної радіонавігаційної системи (ГЛОНАСС або NAVSTAR). Такі апарати будували за аеродинамічною схемою "літаюче крило", або за схемою "качка" (рис. 2–3) [23; 24]. Такі апарати були автономні, тобто здійснювали політ по запрограмованому під час підготовки до вильоту маршруту, що забезпечувало їх високу завадостійкість. Водночас, суттєвим їх тактичним недоліком було те, що сфера їх застосування обмежувалась ураженням наземних цілей, координати яких відомі завчасно. Ураження подібними БпЛА цілей під час руху було неможливим. Досвід бойового застосування таких апаратів показав, що найбільшу ефективність вони демонструють у разі завдання зосередженого удару по цілі з кількох напрямків, одночасно, рухаючись на різних висотах. Це підвищувало ймовірність пориву до цілі, навіть прикритої сильною системою ППО, адже її зусилля розпорошуються за напрямками і висотами.

Рисунок 2 – Баражуючий далекобійний боєприпас Shahed-136 (Іран), побудований за схемою "літаюче крило"

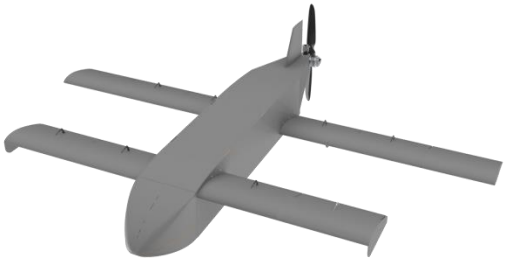


Рисунок 3 – Баражуючий далекобійний боєприпас AQ-400 Scythe (Україна), побудований за схемою "качка"

Водночас, залежність таких БпЛА від зовнішніх джерел навігаційної інформації створює сприятливі умови для збиття їх з траєкторії польоту засобами РЕБ, а їх проста конструкція, неможливість здійснення протизенітних маневрів, політ на малих і гранично малих висотах дає змогу уражати їх не лише вогнем ЗРК, вартість ракет яких у рази перевищує вартість БпЛА, але й вогнем стрілецької зброї та малокаліберної зенітної артилерії (МЗА), що входить до комплекту засобів об'єктової ППО або перебуває на озброєнні мобільних вогневих груп. Досвід боротьби з такими БпЛА свідчить про те, що ефективна реалізація технологій спуфінгу, у нашому випадку – підміна корегую чого сигналу космічної радіонавігаційної системи хибним, здатна збити з бойового курсу такі БпЛА, що є доволі результативним способом протидії ним [32].

Для вогневого ураження цілей в оперативній (десятки кілометрів від лінії бойового зіткнення сторін) покладалося на спеціально створені дрони-камікадзе. Такі БпАС складалися з пунктів управління, зазвичай розташованих на мобільній базі, пускових установок катапультного або газогенераторного типу та кількох БпЛА. Для управління такими БпЛА застосовувались завадозахищені КРУ, по яким на апарат передавалися команди управління, а оператор отримував відеоінформацію від встановленої на БпЛА камери та передавальної апаратури у реальному масштабі часу. Деякі БпЛА оснащувались електричними двигунами, які живилися від акумуляторної батареї. Завдяки цьому такі БпЛА відрізнялися меншою акустичною помітністю, адже у порівнянні з двигуном внутрішнього згоряння електричний двигун майже безшумний. Це суттєво підвищувало прихованість його польоту по маршруту та атаки цілі. Водночас, менша потужність двигуна та обмежена ємність батареї призводила до зменшення швидкості і часу перебування у повітрі у порівнянні з розглянутими вище, проте цього часу, як свідчить досвід, вистачало для виконання завдань. Суттєвою перевагою таких БпЛА була їх здатність атакувати не лише стаціонарні, але й рухомі цілі, такі, як бронетехніка всіх типів, артилерійські системи та ЗРК на марші і на вогневій позиції, автомобілі тощо. Ця властивість суттєво підвищувала тактичну гнучкість підрозділів БпАС. Крім того, відносно малі габарити таких БпЛА, мала помітність у інфрачервоному та радіолокаційному діапазонах, низький рівень акустичного шуму ускладнювали їх виявлення та вогневе ураження.

Недоліками таких систем були і залишаються одноканальність (один оператор може керувати одним БпЛА), обмежена завадостійкість КРУ. Відносно мала швидкість (в середньому до 150 км/год) давала змогу застосовувати для захисту від цих БпЛА відносно прості та дешеві засоби, зокрема різноманітні сітчасті екрани.

З початком повномасштабної російської агресії БпЛА такого типу надзвичайно активно застосовувались російськими військами. Найбільш відомим з них був БпЛА типу "Ланцет", розроблений напередодні вторгнення російською приватною кампанією Zala Aero. Побудований по аеродинамічній схемі з хрестоподібним крилом, оснащений електричним двигуном такий апарат був спроможний вести розвідку та уражати цілі на відстані до кількох десятків кілометрів від лінії бойового зіткнення і створив чимало проблем українським військам. При цьому цей зразок вже був прийнятий на озброєння ЗС РФ та перебував у серійному виробництві з 2019 року (рис. 4) [8].

Рисунок 4 – БпЛА "Ланцет" (ZalaAero, РФ)

Рисунок 5 – БпЛА Switchblade600 (AeroVironment, США)

В умовах браку далекобійної артилерії потреба в аналогічних апаратах виникла у ЗС України. З цією метою з самого початку повномасштабної російської агресії українськими військами застосовувався американський БпАК Switchblade виробництва компанії AeroVironment (рис. 5) [35; 36]. В останні роки в Україні відмічається небачений прогрес у розробленні БпАК різних типів, зокрема й баражуючих боєприпасів. Одним з таких боєприпасів був БпЛА RAM II, створений за участі кількох державних та приватних підприємств під загальним керівництвом Державного підприємства Спецтехноекспорт (рис. 6) [34].

Рисунок 6 – БпЛА RAM II (Спецтехноекспорт, Україна)

Застосування таких БпЛА відбувалось за доволі простою схемою. Після запуску апарату він здійснював політ у визначеному районі. Виявлення наземної цілі відбувалось за допомогою встановленої на борту оптико електронній системі. Рішення про атаку приймав оператор. Зазвичай після переходу в атаку БпЛА переходив у автономний режим і зрив атаки шляхом постановки завад результату не давав. Водночас, всі розглянуті вище комплекси належали до спеціально створених комплексів військового призначення, достатньо дорогих, прийняття на озброєння, розгортання виробництва та постачання у війська яких потребувало проходження спеціальних процедур, визначених чинним законодавством, що часто призводило до втрат абсолютно безповоротного ресурсу на війні – часу.

Певним паліативним рішенням цієї проблеми стало використання в інтересах вогневого ураження противника БпЛА цивільного призначення. У воєнних конфліктах XXI століття неодноразово відмічалося застосування саморобних БпЛА-камікадзе або оснащених саморобними вибуховими пристроями або підготовленими гранатометними пострілами (наприклад типу ПГ-7В) цивільних БпЛА зазвичай мультікоптерного типу. Такі апарати застосовувались для ураження наземних рухомих і нерухомих цілей у тактичній глибині. Випадки застосування таких БпЛА відмічались у воєнних конфліктах на Близькому Сході, зокрема у Сирії, Ємені, Лівії тощо [22]. Проте найбільшого розповсюдження їх застосування набуло з початку російської агресії проти України починаючи з 2014 року. Широке застосування мультікоптерних БпЛА як засобів вогневого ураження противника обумовлювалось різними причинами. Насамперед це був брак далекобійної артилерії у учасників конфлікту. При цьому кількість вогневих завдань аж ніяк не зменшувалась. Виходом стало застосування дешевих БпЛА, на які закріплювались саморобні вибухові пристрої або боєприпаси від ручних протитанкових гранатометів. Такі засоби давали змогу прицільно, прямим влученням уражати цілі, часто в найбільш вразливі місця, наприклад танки – згори у башту або моторно-трансмісійне відділення. Такий спосіб атаки виявився надзвичайно економічним, адже ці БпЛА були в рази дешевші за ракети протитанкових ракетних комплексів, а у порівнянні з артилерією не потребували великої витрати боєприпасів для насичення одиниці площі снарядами з певною ймовірністю прямого влучення у рухому ціль.

Щодо України, слід згадати, що внаслідок Мінських угод 2014 – 2015 років сторони зобов'язались відвести артилерійські системи від лінії бойового зіткнення на відстань, що унеможливлювала їх бойове застосування [7]. Незважаючи на постійні порушення, це все ж-таки було суттєвим обмеженням, при тому, що потреба у прицільному ураженні рухомих і нерухомих цілей, насамперед бойової та іншої техніки, зберігалась. Виходом стали саме такі апарати, застосування яких не обмежувалось згаданими угодами, а довести їх державну належність через їх вільний обіг на цивільному ринку було неможливо.

Важливою перевагою таких засобів була їх надзвичайно мала вартість у порівнянні зі спеціальними БпЛА. Наприклад, якщо вартість БпЛА типу Switchbladeоцінюється у 8 тис. доларів, то звичайний цивільний мультікоптер коштує приблизно від кількох сотень до двох-трьох тисяч доларів [28].

З початком повномасштабної російської агресії у ЗС України набули широкого розповсюдження т. зв. FPV-дрони, зазвичай оснащені підготовленими гранатометними пострілами типу ПГ-7. Їх застосування було обумовлено необхідністю підвищення точності і оперативності вогневого ураження завдяки застосуванню технології FPV (від англ.First Person View, скор. FPV – вид від першої особи), сутність якої полягає в управлінні БпЛА оператором, що використовує спеціальні окуляри або монітор для спостереження за обстановкою. Глибина вогневого впливу таких засобів обмежувалась кількома кілометрами і визначалась ємністю батареї та дальністю, на якій зберігався стійкий радіообмін між пунктом управління та БпЛА. Щодо останнього показника, його вдавалося збільшувати завдяки підняттю антени над поверхнею за допомогою телескопічних щогл або застосування БпЛА, що здійснювали ретрансляцію. Водночас, принциповими недоліками таких систем залишались їх одноканальність та недостатня завадостійкість, адже виявлення противником робочих частот КРУ зазвичай призводило до їх придушення.

Іншим глобальним напрямом застосування БпЛА для вогневого ураження противника стало створення спеціальних повноцінних безпілотних багатоцільових літаків, оснащених розвідувальною апаратурою та авіаційними засобами ураження. На початку XXI століття застосування розвідувальних БпЛА вже не було неймовірним ноу-хау, адже у воєнних конфліктах другої половини XX століття такі апарати застосовувались надзвичайно активно і результативно. Можна згадати застосування американських розвідувальних БпЛА ізраїльських IAI Scout під час арабо-ізраїльської війни 1982 року, американських розвідувальних БпЛА MQ-1 Predator у багатьох воєнних конфліктах і операціях 1990-х років. Проте, їх роль у складі розвідувально-ударного комплексу (РУК) обмежувалась лише функцією розвідки, під час якої інформація передавалась на пункт управління у режимі реального часу, після чого приймалось рішення на ураження цілі, яке передавалося на пілотовані літаки, о перебували у повітрі у зоні чергування. Недоліками такого підходу були витрата часу, необхідного для проходження всієї інформації, висока вартість часу польоту пілотованого літака, яка постійно зростала по мірі прогресу в авіаційній галузі (рис. 7) [3, с. 181].

Крім того зберігалась потенційна загроза втрати ударного літака і екіпажу від засобів ППО противника, ймовірність чого залежала від тактичної обстановки в районі виконання завдання. Однак, по мірі розвитку інформаційно-комунікативних технологій виникла можливість об'єднати на одній платформі виконання функцій як розвідки, так і вогневого ураження. Вперше БпЛА був застосований для завдання удару авіаційними засобами ураження у жовтні 2001 року в Афганістані. Група БпЛА MQ-1 Predator, оснащених протитанковими керованими ракетами AGM-114 Hellfire завдала удар по виявленим цілям. При цьому підсвічування цілей лазерним променем здійснювалось з борту самих БпЛА, окремі апарати для виконання цього завдання не виділялись [3, с. 141].

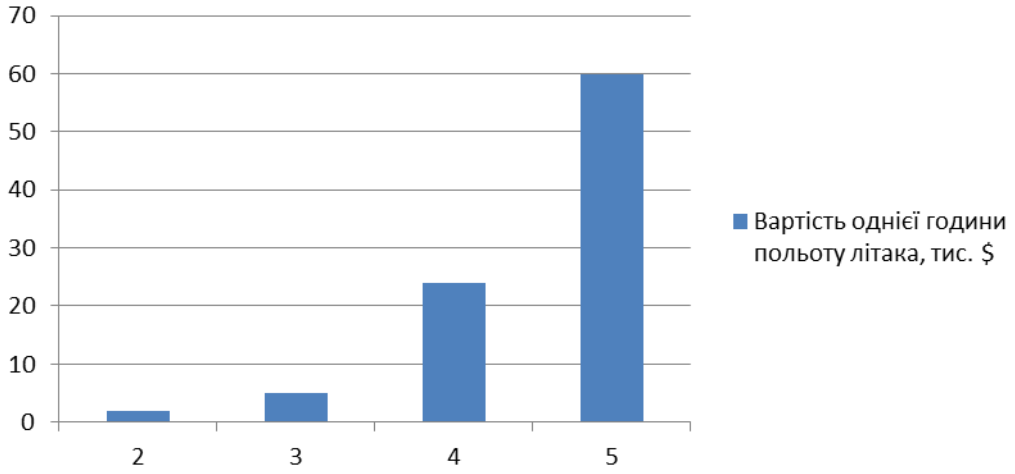


Рисунок 7 – Вартість однієї години польоту літака 2-5 поколінь, тис. $

Таким чином, вперше серійний розвідувальний БпЛА виконав завдання не лише виявлення та забезпечення удару авіації, але й вогневого ураження наземної цілі. Цей приклад підштовхнув розвиток розвідувально-ударних БпАК у багатьох країнах. Крім США та Ізраїлю – визнаних у світі лідерів у галузі безпілотної авіації, такі системи стали розробляти у Туреччині, Китаї, Ірані, Росії, навіть у Північній Кореї (рис. 8) [10].

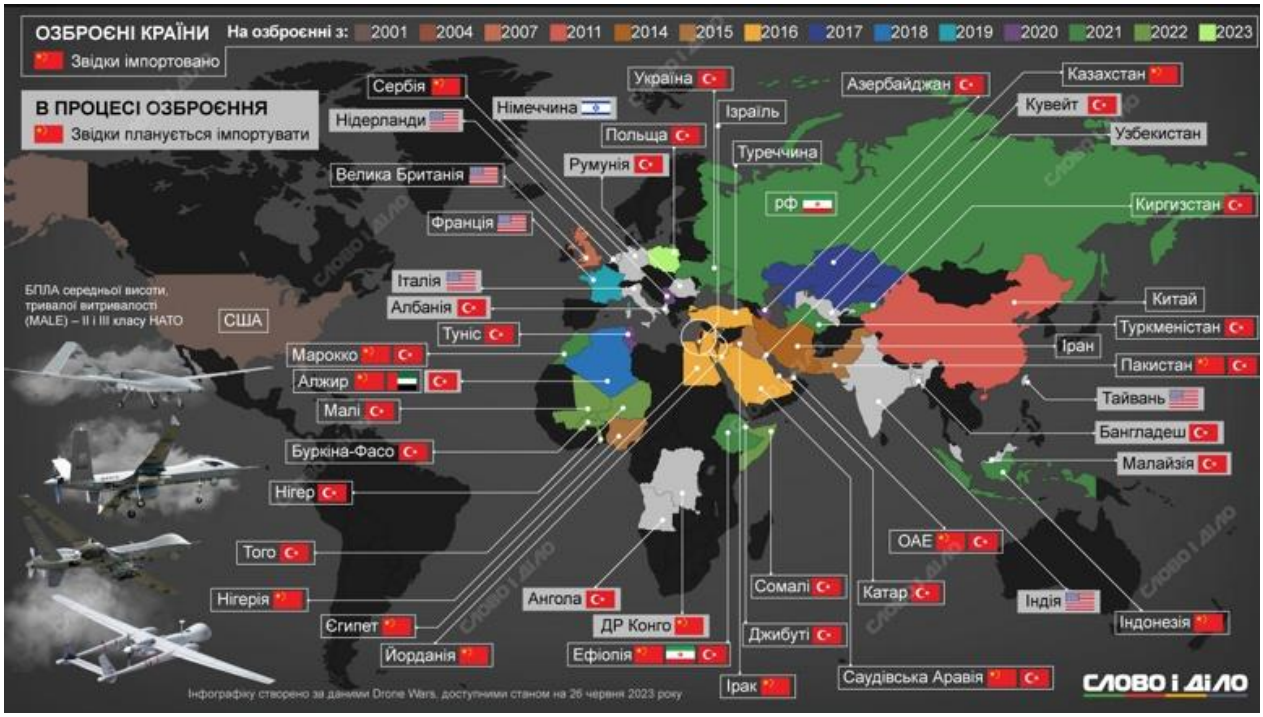


Рисунок 8 – Держави, що мають на озброєнні розвідувально-ударні БпЛА

Одними із найбільш відомих розвідувально-ударних БпАК стали турецькі комплекси фірми Baykar Makina у складі пункту управління та шести БпЛА Bayraktar TB2. Цей комплекс неодноразово і успішно застосовувався у чисельних воєнних конфліктах. Перше масоване застосування БпЛА Bayraktar TB2 відбулось під час громадянської війни у Сирії під час операції турецьких військ проти проасадівських сил, підтриманих Росією. Операція тривала з 27 лютого по 6 березня 2020 року. Турецька армія використала нову концепцію повітряно-наземного бою, за якою наступ військ забезпечувався масованою атакою БПЛА типу Bayraktar TB2 і Anka-S, що несли спеціальні високоточні боєприпаси, розроблені саме для БпЛА. Застосування

дронів відбувалося за підтримки систем РЕБ та сучасних засобів ураження (ствольної та реактивної артилерії). До ключових рис операції в Ідлібі експерти зараховують такі: використання фактора раптовості (противник був вражений масштабом і ефективністю турецької операції, особливо масовим використанням ударних БпЛА у районі, де спочатку не було жодних систем ППО); використання різних видів зброї за єдиним планом; застосування дронів як основного засобу. Найефективнішим елементом операції «Весняний щит» були повітряні атаки БпЛА з використанням високоточних керованих боєприпасів (зокрема ракет MAM-L і MAM-C). Водночас ці БпЛА (переважно Bayraktar TB2 і Anka-S) залучалися до виконання й інших завдань, як-от розвідка, спостереження, наведення й коригування вогню артилерії. БПЛА Anka-S мав значні можливості щодо розвідки, зокрема й радіоелектронної. Зазвичай БпЛА виконували атаки з-поза меж досяжності легких систем протиповітряної оборони з надзвичайною точністю. Прикладом може бути використання 27 лютого Bayraktar TB2 проти армійської колони на шосе в районі Кафранбель. Із висоти 6845 м було знищено танк, що стояв між БМП і вантажівкою [2]. В цілому, за даними незалежної моніторингової групи Oryx, втрати сирійських урядових сил склали 50 танків, 38 артилерійських гармат, 21 БМП та 31 одиниць іншої техніки [37].

Ще більш вражаючими були результати застосування турецьких БпЛА під час Другої карабаської війни в осені 2020 року. Саме за допомогою насамперед безпілотної авіації Азербайджан реалізував безспірне локальне панування в повітрі під час бойових дій. Підрозділи БпЛА ЗС Азербайджану опанували в Другій карабаській війні тактику зграї, коли дрони різного призначення виконують в одному районі різні завдання комплексно: перші викривають цілі, другі здійснюють їх підсвічування, треті – ураження. За допомогою майже півтисячі БпЛА і баражуючих боєприпасів азербайджанці забезпечили ізоляцію поля бою, роздовбуючи колони постачання і ротації вірмен. Завдяки використанню ударних БпЛА Bayraktar TB2, Orbiter-1K і безпілотників-камікадзе типа Harop із потужною 23-кілограмовою боєголовкою, а також SkyStriker Азербайджан зміг нав’язати свій сценарій розвитку конфлікту [15, с. 81]. Справедливості раді варто зазначити, що ані сирійські, ані вірменські війська не мали системи ППО, адаптованої до протидії таким засобам повітряного нападу.

З початку повномасштабної російської агресії ЗС України також активно застосовували БпЛАBayraktar TB2 саме для виконання ударних завдань. Потреба у використанні саме БпЛА обумовлювалась як фактором раптовості, так і браком сил української авіації та ракетних військ і артилерії. Зважаючи на результати, можна стверджувати, що для противника такі удари виявилися певною несподіванкою. Упродовж перших тижнів агресії українські БпЛА завдавали відчутних втрат противнику, спрямувавши свої удари насамперед по колонах бронетехніки, що розтягнулись від українсько-білоруського кордону в напрямку Києва. Успішним діям українських підрозділів безпілотних систем сприяли відсутність у противника можливостей для маневру і укриття техніки, відсутність системи ППО. Щойно така система була розгорнута, у противника з’явились можливості для ефективної відсічі ударів українських безпілотних сил і засобів, проте у подальшому за сприятливих умов БпЛА Bayraktar TB2 використовувались як ударні засоби з доволі високою результативністю [11].

Досвід застосування іноземних БпЛА призвів до логічного рішення збільшити їх кількість у складі ЗС України завдяки власному виробництву. Це завдання виконувалось як державними, так і приватними підприємствами. Внаслідок їх зусиль було створено декілька розвідувально-ударних БпАК, зокрема UJ-22 (рис. 9), певний інтерес становить проєкт Державного конструкторського бюро “Луч” Сокіл-300 (рис. 10) тощо [14; 20].

Рисунок 9 – Розвідувально-ударних БпЛА UJ-22

Рисунок 10 – Розвідувально-ударних БпЛА Сокіл-300

Досвід застосування розвідувально-ударних БпЛА дає змогу зробити висновок, що найбільшу ефективність вони демонстрували у разі комплексного застосування з іншими пілотованими та безпілотними засобами. Так, під час Другої карабаської війни саме об'єднання в єдиному бойовому порядку розвідувальних, розвідувально-ударних БпЛА та баражуючи боєприпасів суттєво сприяли успішному виконанню завдань. Водночас, потужна, ешелонована по дуальностях і висотах система ППО, до складу якої включена підсистема РЕБ можуть суттєво зменшити ефективність застосування безпілотної авіації. Одна з основних причин – потреба зв'язку між БпЛА та оператором, що дає змогу противнику придушити канал управління, втрутитись у цей процес або виявити місце розташування пункту управління і завдати по ньому вогневий удар. Внаслідок цього у багатьох країнах ведуться роботи щодо створення автономних БпАК, у яких БпЛА не має двостороннього зв'язку з оператором, а лише передає на пункт управління розвідувальну інформацію. При цьому у разі виявлення цілі прицільно-навігаційний комплекс БпЛА здійснює її ідентифікацію і згідно с закладеним алгоритмом приймає рішення на її вогневе ураження. Реалізація автономного застосування має багато переваг. Зокрема виникне справжня можливість завдання ударів "думаючою зграєю", у якій декілька розвідувально-ударних БпЛА або баражуючих боєприпасів завдаватимуть удари з кількох напрямків і висот, самостійно розподіляючи цілі між собою. Суттєвих технологічних перешкод для цього на сьогодні немає. Проте виникає проблема філософського характеру: чи готово людство віддати хай навіть дуже досконалій електронно-обчислювальній машині право прийняття рішення вбивати людину. Як уникнути помилкової ідентифікації цілі машинним розумом, адже в минулому неодноразово траплялись випадки ударів з БпЛА по цивільним об'єктам або групам цивільних осіб, помилково визнаних оператором військовими.

Щодо форм і способів застосування БпАС, слід зауважити наступне. Проведений аналіз свідчить, що основними формами застосування ударних та розвідувально-ударних БпАС були удари, систематичні бойові дії та операції. Водночас, у згаданій вище Доктрині стверджується, що основними формами застосування БпАС під час виконання завдань вогневого ураження противника є скид (пуск) засобів ураження, удар БпЛА,авіаційний (повітряний) удар [12, с. 22]. На нашу думку, такий підхід не повністю розкриває розмаїття форм застосування БпАС, адже досвід воєнних конфліктів останніх десятиліть, а особливо досвід застосування БпАС, набутий в Україні починаючи з 2022 року свідчить, що сили БпАС спроможні брати участь у повітряній операції та проводити такі операції самостійно. Крім того, віднесення до окремої форми скиду (пуску) засобів ураження є, на наш погляд, суттєвою методологічною помилкою, адже скид або пуск засобів ураження, удар баражуючим боєприпасам – це різновиди удару як форми застосування БпАС, а не окрема форма. Так само і у пілотованій авіації бомбовий, ракетно-бомбовий, бомбо-штурмовий удари не є окремими формами. При такій класифікації форм дещо втрачає сенс масштабування ударів на масовані, групові та одиночні, адже стає не зовсім зрозумілим, як, наприклад, класифікувати масований удар великою групою баражуючих

боєприпасів, адже кожен такий дар є окремою формою застосування БпАС. Тому, на нашу думку, доцільно переглянути положення Доктрини та доповнити її п. 3.4.1 такою формою застосування сил БпАС як операція та уточнити поняття ударів.

Обговорення

Наукова новизна результатів дослідження та їх практичне значення підтримані у ході дискусії між науково-педагогічними працівниками кафедри історії війн і воєнного мистецтва навчально-наукового інституту воєнної історії, права та соціальних наук Національного університету оборони України, серед яких: Сидоров С.В. – доктор історичних наук, професор; Макаров В.Д. – кандидат історичних наук, доцент.

Висновки

Таким чином, наприкінці XX – на початку XXI століть склалися сприятливі умови для появи на арені збройної боротьби принципово нових засобів – ударних та розвідувально-ударних безпілотних авіаційних систем. Їх виникнення було обумовлено тактичними, воєнно-економічними та науково-технологічними факторами. Проявились тенденції до розширення кола завдань і тактичних прийомів вогневого ураження наземних (морських) цілей за допомогою БпЛА різних видів і класів; збільшення просторового розмаху їх застосування: від тактичного до стратегічного; набуття силами, що застосовують безпілотне (безекіпажне) озброєння і військову техніку статусу окремого роду військ, пріоритет у чому належить Україні та її Збройним Силам. Визначені у доктринальних документах форми та способи застосування БпАС в цілому достатньо докладно описують процес організації і ведення ними збройної боротьби, водночас, вони потребують подальшого уточнення.

Системними проблемами, що притаманні ударним і розвідувально-ударним БпАС були низька точність автономних засобів, недостатня завадостійкість дистанційно керованих БпАК, відносно мале корисне навантаження, швидкість і дальність. Проблему підвищення автономності та усунення оператора від управління БпЛА можна вирішити з технічної точки зору, проте виникає невирішена на сьогодні етична проблема делегування машині права приймати рішення щодо знищення людини.

Незважаючи на це, БпАС як засіб вогневого ураження набувають все більшого значення, можна стверджувати, що на наших очах розпочався процес розвитку воєнного мистецтва принципово нового роду військ – Сил безпілотних систем. Внаслідок цього наукові дослідження досвіду застосування безпілотних (безекіпажних) засобів як основи для вироблення пропозицій щодо підвищення ефективності застосування військових частин та підрозділів Сил безпілотних систем, визначення їх ролі і місця у системі застосування ЗС України на різних рівнях у найближчій час продовжать залишатись вкрай актуальними.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Голишевська, А. (2025). Дрон-камікадзе: характеристики и как работает беспилотник [Електронний ресурс]. Вікна. Режим доступу: https://vikna.tv/ru/styl-zhyttya/dron-kamikadze-shahed-136-harakteristiki/ (дата звернення: 11.09.2025).

2. Заблоцький, В. (2020). Дроноцентричний удар. Які особливості мала турецька операція "Весняний щит" у Сирії [Електронний ресурс]. Український тиждень. Режим доступу: https://tyzhden.ua/dronotsentrychnyj-udar/ (дата звернення: 13.09.2025).
3. Мосов, С. П., Зіатдінов, Ю. К., Куклінський, М. В., Фещенко, А. Л., Чубіна, Т. Д. та ін. (2013). Застосування безпілотних літальних апаратів у воєнних конфліктах сучасності : кол. монографія. Київ : Видавничий дім «Києво-Могилянська академія».
4. Мосов, С. П., Слюсаренко, А. В., Сєлюков, О. В., Сальник, Ю. П., Пащук, Ю. М., Фещенко, А. Л. (2020). Застосування безпілотної авіації у бойових діях : кол. монографія. Львів : НАСВ.
5. Фурман, І. І., Сидоров, С. В., Пилявець, Р. І. та ін. (2020). Історія воєнного мистецтва : підручник. Київ : НУОУ ім. Івана Черняховського.
6. Катков, О. (2020). Полювання на танки: Азербайджан показав ефективність баражуючих боєприпасів (відео) [Електронний ресурс]. Defence Express. Режим доступу: https://defence-ua.com/army_and_war/poljuvannja_za_tankami_azerbajdzhan_pokazav_efektivnist_barazhujuchih_bojepripasiv_video-1740.html (дата звернення: 12.09.2025).
7. Organization for Security and Co-operation in Europe. (2015). Комплекс мер по выполнению Минских соглашений [PDF] [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.osce.org/files/f/documents/5/b/140221.pdf (дата звернення: 15.09.2025).
8. Militarnyi. (2023). Ланцет: застосування та протидія [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mil.in.ua/uk/articles/lantset-1/ (дата звернення: 10.09.2025).
9. Мосов, С. П. (2008). Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития : монографія. Київ : Румб.
10. Слово і діло. (2023). На озброєнні армій яких країн є бойові безпілотними [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.slovoidilo.ua/2023/06/26/infografika/svit/ozbroyenni-armij-yakyx-krayin-ye-bojovi-bezpilotnyky (дата звернення: 14.09.2025).
11. Defence Express. (2022). На що здатні турецькі БПЛА Bayraktar TB2 і як їх використовує Україна у війні з рашистами [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/smert_z_neba_vijskovi_eksperti_pro_mozhlivosti_bayraktar_tb2_u_borotbi_z_rosijeju-7062.html (дата звернення: 12.09.2025).
12. Головнокомандувач ЗСУ. (2024). ОР 3-0(46). Застосування безпілотних систем у силах оборони України: Доктрина Головнокомандувача ЗС України від 01 січ. 2024 р. № 49/НВГШ. Київ : ГШ ЗСУ.
13. Саковський, А. А., Науменко, С. М., Кравченко, С. І., Єфіменко, І. М. та ін. (2022). Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та підрозділами поліції : методичні рекомендації. Київ : Нац. акад. внутр. справ.
14. Militarnyi. (2021). Переваги Сокіл-300 над Bayraktar TB2 – Коростельов розкрив подробиці [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mil.in.ua/uk/news/perevagy-sokil-300-nad-bayraktar-tb2-korostelov-rozkryv-podrobytsi/ (дата звернення: 11.09.2025).
15. Поплавський, О. (2020). Військовий складник загального успіху Азербайджану у «Другій карабаській війні». Літопис Волині. Всеукраїнський науковий часопис, (23), 77–85.
16. Слюсаренко, А. В., Фурман, І. І., Печенюк, І. С. та ін.; за заг. ред. Коваль, М. В. (2023). Приватна військова кампанія «Вагнер»: від створення до сьогодення : монографія. Київ : НУОУ.
17. Рєзнік, В., Ремез, А., Серяков, І. (2024). Напрями розвитку безпілотних літальних апаратів наприкінці XX – у першій чверті XXI століть. Повітряна міць України, 1(6), 81–86.

18. Серяков, І. І., Рокунова, М. А., Коліко, В. Р. (2022). Застосування комплексів озброєння з авіаційними баражуючими боєприпасами у сучасних та майбутніх військових конфліктах. Збірник наукових праць Державного НДІ авіації, 18(25), 227–232.
19. Президент України. (2024). Указ Президента України № 51/2024 від 6 лютого 2024 р. «Про нарощування спроможностей сил оборони» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.president.gov.ua/documents/512024-49625 (дата звернення: 15.09.2025).
20. Newssky. (2023). Український дрон, що майже долетів до Москви, та що ще є в арсеналі ЗСУ [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://newssky.com.ua/ukraïnskij-dron-shho-majzhe-doletiv-do-moskvi-ta-shho-shhe-є-v-arsenali-zsu/ (дата звернення: 13.09.2025).
21. Militarnyi. (2023). Українські БПЛА RAM II уразили два ЗРК «Тор-М2» [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mil.in.ua/uk/news/ukrayinski-bpla-ram-ii-ur1azyly-dva-zrk-tor-m2/ (дата звернення: 10.09.2025).
22. Interfax-Україна. (2021). Хусити з 2015 року запустили в бік Саудівської Аравії більш ніж 400 ракет, понад 850 безпілотників [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://interfax.com.ua/news/general/788445.html (дата звернення: 14.09.2025).
23. Defence Express. (2023). Чорні Shahed-136: у РФ пофарбували дрони-камікадзе для нічної атаки по Києву [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://defence-ua.com/news/chorni_shahed_136_u_rf_pofarbuvali_droni_kamikadze_dlja_nichnoji_ataki_po_kijevu-13608.html (дата звернення: 11.09.2025).
24. Militarnyi. (2023). Українські військові отримали далекобійні БПЛА-камікадзе AQ 400 Scythe [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mil.in.ua/uk/news/ukrayinski-vijskovi-otrymaly-dalekobijni-bpla-kamikadze-aq-400-scythe/ (дата звернення: 15.09.2025).
25. Щербаков, В. (2022). Барражирующие боеприпасы: оружие нового века [Електронний ресурс]. Flibusta. Режим доступу: http://flibusta.site/b/685834/read.
26. Dias, J., & Seneviratne, L. (2014). A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends. Unmanned Systems, 2(2), 175–195.
27. Dron Tech. (n.d.). FPV Дрони [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://drontech.com.ua/kvadrokptery/fpv-droni (дата звернення: 12.09.2025).
28. Hambling, D. (2023). Could Small Drones Really Replace Artillery? Forbes [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2023/08/16/could-small-drones-really-replace-artillery/ (дата звернення: 10.09.2025).
29. Israel Aerospace Industries. (n.d.). HAROP Long Range Loitering Munition [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.iai.co.il/p/harop (дата звернення: 14.09.2025).
30. Israel Aerospace Industries. (n.d.). HARPY Anti-Radiation Loitering Munition [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.iai.co.il/p/harpy (дата звернення: 12.09.2025).
31. Hoang, V. T., & Pham, Q. H. (2023). Path planning for multi-copter UAVs using tutorial training and self learning inspired teaching-learning-based optimization. Journal of Military Science and Technology, 1(1), 10–20.
32. Humphreys, T. (2008). Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer. In Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite (2008).
33. Deep State. (2023). IAI Harop: за десятиліття до Шахедів [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://deepstateua.com/iai-harop-kamikadze/ (дата звернення: 11.09.2025).
34. Spetstechnoexport. (n.d.). RAM II Unmanned Aerial System [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://spetstechnoexport.com/product/ram-ii-uas.
35. AeroVironment. (n.d.). Switchblade 600 Loitering Munition [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.avinc.com/lms/switchblade-600 (дата звернення: 10.09.2025).
36. Sketchfab. (n.d.). Loitering Munition Switchblade 600 [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://sketchfab.com/3d-models/loitering-munition-switchblade-600-696c14e4354846858a16381fd8679ad0 (дата звернення: 14.09.2025).

37. Oryx. (2020). The Idlib Turkey Shoot: The Destruction and Capture of Vehicles and Equipment by Turkish and Rebel Forces [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://oryxspioenkop.com/2020/02/the-idlib-turkey-shoot-destruction-and.html (дата звернення: 13.09.2025).

References

1. Holyshevska, A. (2025). Drone-kamikaze: Characteristics and how the UAV works. Vikna. https://vikna.tv/ru/styl-zhyttya/dron-kamikadze-shahed-136-harakteristiki/
2. Zablotskyi, V. (2020). Drone-centric strike: The features of Turkey's 'Spring Shield' operation in Syria. Ukrainskyi Tyzhden. https://tyzhden.ua/dronotsentrychnyj-udar/
3. Mosov, S. P., Ziatdinov, Yu. K., Kuklinskyi, M. V., Feshchenko, A. L., Chubina, T. D., et al. (2013). The use of unmanned aerial vehicles in modern military conflicts. Kyiv: Kyiv-Mohyla Academy Publishing House.
4. Mosov, S. P., Sliusarenko, A. V., Seliukov, O. V., Salnyk, Yu. P., Pashchuk, Yu. M., & Feshchenko, A. L. (2020). The use of unmanned aviation in combat operations. Lviv: NASV.
5. Furman, I. I., Sydorov, S. V., Pyliavets, R. I., et al. (2020). History of military art. Kyiv: National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi.
6. Katkov, O. (2020). Hunting tanks: Azerbaijan demonstrated the effectiveness of loitering munitions. Defence Express. https://defence-ua.com/army_and_war/poljuvannja_za_tankami_azerbajdzhan_pokazav_efektivnist_barazhujuchih_bojepripasiv_video-1740.html
7. Organization for Security and Co-operation in Europe. (2015). Package of measures for the implementation of the Minsk agreements [PDF]. https://www.osce.org/files/f/documents/5/b/140221.pdf
8. Militarnyi. (2023). Lancet: Application and counteraction. https://mil.in.ua/uk/articles/lantset-1/
9. Mosov, S. P. (2008). Unmanned reconnaissance aviation of the world: History of creation, combat experience, current state, prospects of development. Kyiv: Rumb.
10. Slovo i Dilo. (2023). Which countries' armies are armed with combat UAVs. https://www.slovoidilo.ua/2023/06/26/infografika/svit/ozbroyenni-armij-yakyx-krayin-ye-bojovi-bezpilotnyky
11. Defence Express. (2022). What Turkish Bayraktar TB2 UAVs are capable of and how Ukraine uses them in the war. https://defence-ua.com/weapon_and_tech/smert_z_neba_vijskovi_eksperti_pro_mozhlivosti_bayraktar_tb2_u_borotbi_z_rosijeju-7062.html
12. Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine. (2024). OP 3-0(46): The use of unmanned systems in the Defence Forces of Ukraine: Doctrine. Kyiv: General Staff of the AFU.
13. Sakovskyi, A. A., Naumenko, S. M., Kravchenko, S. I., Yefimenko, I. M., et al. (2022). Features of the use of UAVs by police units: Methodical recommendations. Kyiv: National Academy of Internal Affairs.
14. Militarnyi. (2021). Sokil-300 advantages over Bayraktar TB2 – Korosteliov revealed details. https://mil.in.ua/uk/news/perevagy-sokil-300-nad-bayraktar-tb2-korostelov-rozkryv-podrobytsi/
15. Poplavskyi, O. (2020). The military component of Azerbaijan's overall success in the 'Second Karabakh War'. Litopys Volyni, (23), 77–85.
16. Sliusarenko, A. V., Furman, I. I., Pecheniuk, I. S., et al. (Eds. Koval, M. V.) (2023). Private Military Company 'Wagner': From creation to the present. Kyiv: NDUU.
17. Rieznik, V., Remez, A., & Seryakov, I. (2024). Directions of UAV development at the end of the 20th – first quarter of the 21st century. Air Power of Ukraine, 1(6), 81–86.

18. Seryakov, I. I., Rokunova, M. A., & Koliko, V. R. (2022). The use of loitering munition weapon complexes in current and future conflicts. State Aviation Research Institute Bulletin, 18(25), 227–232.
19. President of Ukraine. (2024). Decree No. 51/2024 "On strengthening the capabilities of the Defence Forces." https://www.president.gov.ua/documents/512024-49625
20. Newssky. (2023). The Ukrainian drone that almost reached Moscow and other UAVs in the AFU arsenal. https://newssky.com.ua/ukraïnskij-dron-shho-majzhe-doletiv-do-moskvi-ta-shho-shhe-ϵ-v-arsenali-zsu/
21. Militarnyi. (2023). Ukrainian RAM II UAVs destroyed two Tor-M2 SAM systems. https://mil.in.ua/uk/news/ukrayinski-bpla-ram-ii-ur1azyly-dva-zrk-tor-m2/
22. Interfax-Ukraine. (2021). Since 2015, Houthis launched more than 400 missiles and 850 drones towards Saudi Arabia. https://interfax.com.ua/news/general/788445.html
23. Defence Express. (2023). Black Shahed-136: Russia painted kamikaze drones for night attacks on Kyiv. https://defence-ua.com/news/chorni_shahed_136_u_rf_pofarbuvali_droni_kamikadze_dlja_nichnoji_ataki_po_kijevu-13608.html
24. Militarnyi. (2023). Ukrainian military received long-range kamikaze UAV AQ 400 Scythe. https://mil.in.ua/uk/news/ukrayinski-vijskovi-otrymaly-dalekobijni-bpla-kamikadze-aq-400-scythe/
25. Shcherbakov, V. (2022). Loitering munitions: Weapons of the new century. Flibusta. http://flibusta.site/b/685834/read
26. Dias, J., & Seneviratne, L. (2014). A survey of small-scale unmanned aerial vehicles: Recent advances and future development trends. Unmanned Systems, 2(2), 175–195.
27. Dron Tech. (n.d.). FPV drones. https://drontech.com.ua/kvadrokptery/fpv-droni
28. Hambling, D. (2023). Could small drones really replace artillery? Forbes. https://www.forbes.com/sites/davidhambling/2023/08/16/could-small-drones-really-replace-artillery/
29. Israel Aerospace Industries. (n.d.). HAROP long-range loitering munition. https://www.iai.co.il/p/harop
30. Israel Aerospace Industries. (n.d.). HARPY anti-radiation loitering munition. https://www.iai.co.il/p/harpy
31. Hoang, V. T., & Pham, Q. H. (2023). Path planning for multi-copter UAVs using tutorial training and self learning inspired teaching-learning-based optimization. Journal of Military Science and Technology, 1(1), 10–20.
32. Humphreys, T. (2008). Assessing the spoofing threat: Development of a portable GPS civilian spoofer. In Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation.
33. Deep State. (2023). IAI Harop: A decade before the Shaheds. https://deepstateua.com/iai-harop-kamikadze/
34. Spetstechnoexport. (n.d.). RAM II unmanned aerial system. https://spetstechnoexport.com/product/ram-ii-uas
35. AeroVironment. (n.d.). Switchblade 600 loitering munition. https://www.avinc.com/lms/switchblade-600
36. Sketchfab. (n.d.). Loitering munition Switchblade 600. https://sketchfab.com/3d-models/loitering-munition-switchblade-600-696c14e4354846858a16381fd8679ad0
37. Oryx. (2020). The Idlib Turkey shoot: The destruction and capture of vehicles and equipment by Turkish and rebel forces. https://oryxspioenkop.com/2020/02/the-idlib-turkey-shoot-destruction-and.html

Базова підготовка громадян України до національного спротиву в Силах Територіальної оборони

The basic training of Ukrainian citizens for national resistance in the framework of the Territorial Defense Forces

Євген Камалов
Доктор філософії, доцент, докторант, e-mail: kamalov_evgen@ukr.net

Evgen Kamalov
PhD, Associate Professor, Doctoral Researcher, e-mail: kamalov_evgen@ukr.net

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2025 | Revised: October 20, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.6

Мета роботи. Підвищення ефективності базової підготовки громадян України до національного спротиву до рівня, який забезпечує формування патріотичної та оборонної свідомості, набуття громадянами необхідних знань і практичних навичок для захисту держави.

Метод дослідження. Застосовано аналіз нормативно-правових актів, наукових праць, досвіду російсько-української війни 2022 р., а також метод порівняльного та системного аналізу ефективності підготовки громадян до національного спротиву в межах Сил територіальної оборони.

Результати дослідження. Виявлено недоліки у системі базової підготовки громадян: низьку залученість населення, недостатнє укомплектування інструкторсько-викладацького складу, нестачу матеріально-технічної бази, а також слабку координацію між силовими відомствами. Запропоновано шляхи вдосконалення – розвиток навчальних центрів підготовки громадян до національного спротиву, підвищення якості навчальних програм та взаємодії між органами влади, Збройними Силами та місцевими громадами.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження поглиблює наукове розуміння концепту національного спротиву як інтегрованої системи військових, владних і громадських інституцій у забезпеченні всеохоплюючої оборони держави.

Практична цінність дослідження. Розроблені рекомендації сприятимуть підвищенню обороноздатності України через ефективну підготовку мобілізаційного ресурсу та вдосконалення діяльності центрів підготовки громадян.

Тип статті. Науково-аналітична, прикладного спрямування.

Purpose. To enhance the effectiveness of the basic training of Ukrainian citizens for national resistance to a level that ensures the formation of patriotic and defense awareness, as well as the acquisition of the necessary knowledge and practical skills for the defense of the state.

Method. The research applies the analysis of legal and regulatory acts, scientific works, and the experience of the Russian-Ukrainian war of 2022, along with comparative and systemic analysis methods to assess the effectiveness of citizens' training for national resistance within the Territorial Defense Forces.

Findings. The study identifies shortcomings in the current system of basic training, including low citizen engagement, insufficient staffing of instructors, inadequate material and technical support, and weak interagency coordination. The author proposes solutions such as developing training centers for citizens' preparation for national resistance, improving educational programs, and strengthening cooperation between governmental authorities, the Armed Forces, and local communities.

Theoretical implications. The research deepens the scientific understanding of the concept of national resistance as an integrated system that unites military, governmental, and civil institutions in ensuring comprehensive national defense.

Practical implications. The proposed recommendations can enhance Ukraine's defense capability through effective mobilization training and improved operation of citizen training centers.

Paper type. Scientific and analytical, applied research.

Ключові слова: національний спротив, базова підготовка, територіальна оборона, мобілізаційний ресурс, громадяни України, всеохоплююча оборона.

Key words: national resistance, basic training, territorial defense, mobilization resource, Ukrainian citizens, comprehensive defense.

Вступ

Концепт національного спротиву являє собою систему, що об'єднує зусилля військових, цивільних органів влади та громадян у боротьбі за незалежність України. Повномасштабне вторгнення російської федерації на територію України у 2022 році визначило основні тенденції розвитку та підвищення ефективності підготовки громадян України до національного спротиву, а також створення всеохоплюючої оборони держави.

Законом України "Про основи національного спротиву" [1] визначено складові національного спротиву, а саме: територіальну оборону, рух опору та підготовку громадян

України. Ці складові закону тісно взаємопов'язані між собою й утворюють єдину систему національного спротиву.

Нормативно-правові акти міністерств і відомств відповідних структур визначають один із ключових напрямів — підготовку громадян України до національного спротиву, формування мобілізаційного ресурсу та забезпечення готовності держави до всеохоплюючої оборони.

Теоретичні основи дослідження

Аналіз "Збірника матеріалів вивчення бойового досвіду російсько-української війни 2022 року" [2] демонструє, що військові частини Сил територіальної оборони (далі — ТрО) не встигли набути необхідних спроможностей для розгортання у максимально короткі терміни до початку збройної агресії. Основною причиною непідготовленості військових частин ТрО до бойового застосування була слабка базова підготовка мобілізаційного ресурсу. Це негативно вплинуло на готовність частин до виконання бойових завдань, зумовило витрачання додаткових ресурсів і часу.

Яскравим прикладом підготовки мобілізаційного ресурсу для служби у Силах безпеки та оборони України є наукова праця Баргилевича А. [3]. У своїй роботі автор розкриває основні проблеми готовності військових частин Сил ТрО до виконання бойових завдань у зоні бойових дій, зокрема відсутність практичних умінь і навичок базової підготовки мобілізаційного ресурсу до проведення мобілізації. Слабким місцем базової підготовки стала вогнева підготовка та навченість особового складу діяти й виживати на полі бою. Аналіз дослідження Баргилевича дає чітке розуміння необхідності підвищення ефективності базової підготовки мобілізаційного ресурсу до мобілізації громадян України у Сили безпеки та оборони держави.

У зв'язку з цим керівництво держави та Кабінет Міністрів України провели аналіз виявлених проблем, що стало підґрунтям для ухвалення постанови "Про функціонування центрів підготовки громадян до національного спротиву" [4]. Вказана постанова регламентує взаємодію між центрами підготовки, органами державної влади, органами місцевого самоврядування, Силами територіальної оборони Збройних Сил України, Силами спеціальних операцій, громадськими об'єднаннями, інститутами громадянського суспільства та іншими суб'єктами національного спротиву з метою забезпечення якісної організації підготовки громадян до захисту Вітчизни.

Однак результати базової підготовки громадян України у новостворених центрах поки що не можуть бути повною мірою підтверджені та оцінені у зв'язку з відсутністю відкритої системи обліку особового складу і недостатньо ефективною взаємодією між силовими міністерствами та відомствами.

Виходячи з аналізу останніх досліджень і публікацій, окреслюється наукове завдання проведення нового комплексного дослідження та оцінювання стану базової підготовки громадян України до національного спротиву в навчальних центрах підготовки громадян до національного спротиву.

Постановка проблеми

Закон України "Про основи національного спротиву" [1], Розділ II "Загальні засади та організація національного спротиву", стаття 3.3, визначає, що завданнями територіальної оборони є:

1. своєчасне реагування та вжиття необхідних заходів щодо оборони території та захисту населення на визначеній місцевості;
2. участь у посиленні охорони та захисті державного кордону;
3. участь у захисті населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, ліквідації наслідків ведення воєнних (бойових) дій;
4. участь у підготовці громадян України до національного спротиву;

5. участь у забезпеченні умов для безпечного функціонування органів державної влади, інших державних органів, органів місцевого самоврядування та органів військового управління.

Теоретичною та практичною проблемою у виконанні завдань територіальної оборони наразі є участь у підготовці громадян України до національного спротиву. Це питання залишається актуальним і становить об'єкт наукових досліджень, оскільки виявляє недосконаліть методологічних основ, що визначають організаційні засади, принципи та методи базової підготовки населення до дій у межах системи національного спротиву.

Метою статті є підвищення ефективності базової підготовки громадян України до рівня, що забезпечує формування патріотичної й оборонної свідомості, набуття необхідних знань і практичних навичок для захисту України.

Результати

Досвід російсько-української війни показав, що, незважаючи на чисельність професійної армії воюючої держави, у процесі затяжного конфлікту її склад необхідно постійно поповнювати. Відсутність підготовленого людського ресурсу та мотивації населення до участі в національному спротиві не лише на "економічному фронті", а й безпосередньо у строю військових частин, які виконують завдання з відбиття нападу противника на території нашої держави, залишається невирішеною проблемою.

Актуальність підготовки громадян України до національного спротиву зумовлена також викликами, які постали перед суспільством, державою, Силами безпеки та оборони України із початком широкомасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України, а саме: потребою забезпечення готовності Збройних Сил України до відсічі збройній агресії; необхідністю формування стійкого, мотивованого резерву за рахунок удосконалення підготовки громадян України до національного спротиву шляхом запровадження нових підходів до організації та проведення початкової й базової підготовки; потребою у створенні системної моделі підготовки громадян України до національного спротиву з урахуванням вимог сучасної освітньої парадигми та стандартів держав-членів НАТО.

Основою підготовки громадян України до національного спротиву є проведення загальновійськової підготовки, яка організовується за територіально-зональним принципом, ґрунтується на засадах високої мотиваційної привабливості та узгоджується з процесом трансформації системи комплектування за призовом відповідно до принципів і найкращих практик держав-членів НАТО [5]. Загальновійськова підготовка громадян України до національного спротиву [6] полягає у володінні базовими загальновійськовими знаннями, практичними вміннями і навичками та поділяється на початкову і базову підготовку.

Початкова підготовка організовується центральним органом виконавчої влади, який забезпечує її формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, спільно з Міністерством оборони України (далі — МО України), і проводиться у закладах загальної середньої освіти. У літній період у таборах здійснюється військово-патріотична підготовка в ігровій формі.

Базова підготовка організовується МО України разом з іншими зацікавленими центральними органами виконавчої влади та проводиться серед громадян України призовного віку, військовозобов'язаних і резервістів, які не проходили військову службу, а також інших громадян, які не виконують військового обов'язку в запасі. Базова підготовка здійснюється у формі навчальних занять із загальновійськових дисциплін і навчальних зборів, що проводяться у Збройних Силах України та інших військових формуваннях, створених відповідно до законодавства, за затвердженими програмами.

Ця підготовка проводиться відповідно до вимог Закону України "Про основи національного спротиву" та Порядку, визначеного Генеральним штабом Збройних Сил України

[6]. Відповідно до цього закону навчальні центри ТрО отримали завдання з підготовки громадян України до національного спротиву за Програмою “Базової загальновійськової підготовки”, затвердженою начальником Генерального штабу — Головнокомандувачем Збройних Сил України [7].

Аналіз проведення базової підготовки громадян України до національного спротиву за зазначеною програмою виявив низку недоліків, а саме: низьку залученість громадян України; недостатнє укомплектування інструкторсько-викладацьким складом навчальних центрів ТрО; відсутність сучасних мультимедійних тренажерів для підготовки; низький рівень використання інфраструктури (фондів) складових Сил безпеки та Сил оборони України, а також ресурсів органів місцевого самоврядування.

У зв’язку з низькою ефективністю підготовки громадян до національного спротиву, керівництвом Сил ТрО, керуючись абзацом третім частини другої статті 8 Закону України [1], розроблено покроковий алгоритм створення добровольчих формувань територіальних громад (далі — ДФТГ) №1654 від 05.03.2022. Зазначений алгоритм дає можливість у всіх без винятку містах, населених пунктах і селах, на добровільній основі, із числа громадян України, які проживають у межах відповідної територіальної громади, сформувати воєнізовані підрозділи (далі — добровольчі формування) [8].

У межах завдань територіальної оборони, визначених законом, добровольчі формування мають можливість:

1. своєчасно реагувати та вживати необхідних заходів для оборони території і захисту населення на визначеній місцевості до моменту розгортання в межах цієї території угруповань військ (сил) або угруповань об’єднаних сил, призначених для ведення бойових дій із відсічі збройної агресії проти України;
2. брати участь у посиленні охорони та захисті державного кордону у порядку, визначеному Законом України “Про участь громадян в охороні громадського порядку і державного кордону”;
3. брати участь у захисті населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, ліквідації наслідків воєнних (бойових) дій;
4. брати участь у підготовці громадян України до національного спротиву — відповідно до вимог чинного законодавства.

Дії керівництва Сил ТрО, спрямовані на виконання пункту 4 цього закону, дають змогу підготувати сотні тисяч цивільних громадян, які знатимуть свій маневр за територіальним принципом і зможуть у найкоротший термін вийти на позиції, що, у свою чергу, створить нову якість всеохоплюючої оборони.

Керівники ДФТГ, з метою забезпечення підготовки громадян України до національного спротиву, використовують “Інструкцію з організації та проведення базової підготовки громадян України до національного спротиву” [9]. Вивчення процесу підготовки громадян у межах ДФТГ свідчить про низку проблем, серед яких: недосконалість правового забезпечення функціонування центрів ДФТГ; низька якість підготовки інструкторсько-викладацького складу, який має право здійснювати навчання громадян України; недостатнє забезпечення навчально-бойовим озброєнням та технікою; низький рівень захисту під час ракетної небезпеки; відсутність системи інформування громадян щодо проведення відповідної підготовки [10].

Враховуючи зазначені недоліки у системі підготовки громадян України до національного спротиву [2; 10] у Силах ТрО, керівництво держави здійснює подальші кроки з метою підвищення ефективності підготовки громадян України, зокрема через впровадження системи навчання у центрах підготовки громадян до національного спротиву [4] під керівництвом органів місцевого самоврядування.

25 вересня 2025 року Кабінет Міністрів України ухвалив постанову, якою внесено зміни до Порядку вилучення і передачі військового майна Збройних Сил України. Метою змін стало

нормативне врегулювання порядку передачі навчальної (нейтралізованої) зброї від військових частин до центрів підготовки громадян до національного спротиву та осередків викладання предмета “Захист України”. Проєкт постанови розроблено Міністерством оборони України з метою забезпечення якісної підготовки громадян до національного спротиву відповідно до типових навчальних програм.

Висновки

Максимальне залучення підготовлених громадян України до національного спротиву забезпечить готовність населення України до збройної відсічі та створить передумови для недопущення війни. Базова підготовка громадян України до національного спротиву у Силах територіальної оборони є одним із ключових показників підвищення обороноздатності держави та надання обороні України всеохоплюючого характеру.

Підвищення якості базової підготовки громадян до національного спротиву сприятиме зміцненню воєнно-економічного потенціалу держави, розвитку патріотичної свідомості населення та формуванню стійкого мобілізаційного ресурсу, здатного ефективно реагувати на загрози національній безпеці.

Питання теоретичних і практичних аспектів підготовки громадян України до національного спротиву залишаються відкритими та потребують подальших наукових досліджень, розроблення методичних підходів до вдосконалення системи базової підготовки, а також розбудови інституційних механізмів взаємодії між державними структурами, органами місцевого самоврядування, Силами безпеки та оборони й інститутами громадянського суспільства.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Закон України Про основи національного спротиву: від 16 лип. 2021 р. № 1702-IX. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1702-20#Text (дата звернення: 23.09.2025).
2. Збірник матеріалів вивчення бойового досвіду російсько-української війни 2022 року. Київ: ГУДіП ГШ ЗСУ, 2022. 337 с. (НУОУ. № 3. С. 182).
3. Баргилевич, А. (2020). Удосконалена комплексна методики оцінювання ефективності підготовки окремої бригади територіальної оборони. *Social Development and Security*, *10*(5), 144-153. https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.5.13
4. Постанова Кабінету Міністрів України Про функціонування центрів підготовки громадян до національного спротиву: від 18 квіт. 2025 р. № 478. Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/478-2025-%D0%BF#Text (дата звернення: 24.09.2025).
5. Вавілова Н. Стандарти якості професійної військової освіти в закладах військової освіти НАТО. Військова освіта. 2023. № 1(47). С. 28–34.
6. Постанова Кабінету Міністрів України Про затвердження Порядку організації та здійснення загальновійськової підготовки громадян України до національного спротиву: від 29 груд. 2021 р. № 1443. Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1443-2021-%D0%BF#Text (дата звернення: 24.09.2025).

7. Програма Базової загальновійськової підготовки: затв. начальником Генерального штабу — Головнокомандувачем Збройних Сил України 1 черв. 2018 р.; зі змінами від 21 верес. 2018 р. № 24038/С.
8. Постанова Кабінету Міністрів України Про затвердження Положення про добровольчі формування територіальних громад: від 29 груд. 2021 р. № 1449. Кабінет Міністрів України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/478-2025-%D0%BF#Text (дата звернення: 25.09.2025).
9. Інструкція з організації та проведення базової підготовки громадян України до національного спротиву: затв. наказом Головнокомандувача Збройних Сил України від 13 січ. 2023 р. № 13.
10. Збірник матеріалів вивчення бойового досвіду російсько-української війни 2022 року. Київ: ГУДіП ГШ ЗСУ, 2022. 337 с. (НУОУ. № 2. С. 47–54).

References

1. Law of Ukraine “On the Foundations of National Resistance” (July 16, 2021, No. 1702-IX). Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved September 23, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1702-20#Text
2. Collected materials on the study of combat experience of the Russian-Ukrainian war of 2022 (2022). Kyiv: Main Directorate of Doctrine and Training of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine (GUDiP GS AFU). Vol. 3, p. 182.
3. Bargylevych, A. V. (2020). Improved comprehensive methodology for assessing the effectiveness of training of a separate territorial defense brigade. *Social Development and Security*, 10(5), 144–153. https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.5.13
4. Cabinet of Ministers of Ukraine (April 18, 2025). Resolution No. 478 on the functioning of training centers for citizens’ preparation for national resistance. Retrieved September 24, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/478-2025-%D0%BF#Text
5. Vavilova, N. (2023). Quality standards of professional military education in NATO military educational institutions. *Military Education*, 1(47), 28–34.
6. Cabinet of Ministers of Ukraine (December 29, 2021). Resolution No. 1443 on approval of the Procedure for the organization and implementation of general military training of citizens of Ukraine for national resistance. Retrieved September 24, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1443-2021-%D0%BF#Text
7. Program of Basic General Military Training (approved by the Chief of the General Staff – Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine on June 1, 2018; as amended on September 21, 2018, No. 24038/C). Kyiv: General Staff of the AF of Ukraine.
8. Cabinet of Ministers of Ukraine (December 29, 2021). Resolution No. 1449 on approval of the Regulation on voluntary formations of territorial communities. Retrieved September 25, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/478-2025-%D0%BF#Text
9. Instruction on the organization and conduct of basic training of citizens of Ukraine for national resistance (January 13, 2023, Order of the Commander-in-Chief of the Armed Forces of Ukraine No. 13).
10. Collected materials on the study of combat experience of the Russian-Ukrainian war of 2022 (2022). Kyiv: Main Directorate of Doctrine and Training of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine (GUDiP GS AFU). Vol. 2, pp. 47–54.

Ефективність використання короткоствольної зброї в сучасних умовах ведення бойових дій

The Effectiveness of Short-Barreled Weapons in Modern Combat Conditions

Павло Опенько
кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник кафедри Повітряних Сил, e-mail: pavel.openko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-7777-5101

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

Pavlo Openko
PhD (Technical Sciences), Senior Researcher, Honored Inventor of Ukraine, Head of the Air Force Department, e-mail: pavel.openko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-7777-5101

National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2025 | Revised: October 20, 2025 | Accepted: October 31, 2025

УДК 623.44:355.48

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.7

Мета роботи. Комплексний техніко-тактичний аналіз ефективності використання короткоствольної зброї в специфічних умовах сучасного бою з урахуванням балістичних, ергономічних та психофізіологічних факторів і розробленні науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення програм тактичної підготовки та критеріїв вибору оптимальних моделей зброї.

Метод дослідження. Балістично-технічний аналіз.

Результати дослідження. Дослідження виявило, що короткоствольна зброя забезпечує ефективність ураження цілей до 94,3% на дистанціях до 15 метрів при оптимальному калібрі 9×19 мм Parabellum, що зумовлено балансом між початковою швидкістю, енергією та стабільністю траєкторії. Встановлено суттєві ергономічні переваги в місцях обмеженого руху: швидкість витягування зброї на 187,5% вища, швидкість зміни позиції на 164,3% вища, точність стрільби однією рукою досягає 91,2% порівняно з 34,6% для довгоствольної зброї. Виявлено сильну кореляцію між ергономічними характеристиками зброї та швидкістю реакції стрільця в обмеженому просторі. Систематизовано дев'ять тактичних сценаріїв застосування, серед яких домінують ближній бій у приміщеннях, оборона окопних позицій та робота всередині бронетранспортерів. Спеціалізована підготовка з урахуванням реалістичних умов підвищує ефективність на 30-79% за різними критеріями.

Практична цінність дослідження. Розроблення комплексних науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору оптимальних моделей короткоствольної зброї, модернізації програм тактичної підготовки з акцентом на реалістичні сценарії урбанізованого середовища та обмеженого простору, а також формулюванні критеріїв оцінки бойової ефективності стрілецької зброї для різних тактичних ситуацій.

Тип статті. Емпіричне дослідження.

Purpose. To conduct a comprehensive technical and tactical analysis of the effectiveness of the use of short-barreled weapons in specific conditions of modern combat, considering ballistic, ergonomic and psychophysiological factors and develop scientifically based recommendations for improving tactical training programs and criteria for selecting optimal weapon models.

Method. Ballistic and technical analysis.

Findings. The study found that short-barreled weapons provide target engagement efficiency of up to 94.3% at distances of up to 15 meters with the optimal caliber of 9×19 mm Parabellum, which is due to the balance between initial velocity, energy, and trajectory stability. Significant ergonomic advantages have been established in places of limited movement: the speed of drawing the weapon is 187.5% higher, the speed of changing the position is 164.3% higher, the accuracy of shooting with one hand reaches 91.2% compared to 34.6% for long-barreled weapons. A strong correlation has been found between the ergonomic characteristics of the weapon and the speed of the shooter's reaction in a limited space. Nine tactical scenarios of use have been systematized, among which close combat in rooms, defense of trench positions and work inside armored personnel carriers dominate. Specialized training considering realistic conditions increases efficiency by 30-79% according to various criteria.

Practical implications. Development of comprehensive, scientifically grounded recommendations for the selection of optimal models of short-barreled weapons, modernization of tactical training programs with an emphasis on realistic scenarios of urban environments and confined spaces, and formulation of criteria for assessing the combat effectiveness of small arms for various tactical situations.

Paper type. Empirical research.

Ключові слова: стрілецька зброя, місця обмеженого руху стрільця, ціль, короткоствольна зброя, програми підготовки, урбанізоване середовище, балістика, ергономіка зброї.

Key words: small arms, restricted shooter movement areas, targets, short-barreled weapons, training programs, urban environments, ballistics, weapon ergonomics.

Вступ

Сучасні збройні конфлікти характеризуються суттєвою трансформацією тактики ведення бойових дій, що безпосередньо впливає на вимоги до стрілецької зброї. Зростання частки бойових зіткнень в урбанізованому середовищі, де обмежений простір маневру та короткі дистанції вогневого контакту стають домінуючими факторами, актуалізує питання оптимального підбору озброєння для різних тактичних сценаріїв (Felde, 2023; Zaluzhnyi, 2025).

Короткоствольна зброя, яка спочатку розглядалася як один з допоміжних аспектів індивідуальної зброї, досягає нового тактичного рішення в ближньому бою, коли швидкість і точність ураження цілі залежать від балістичних характеристик та ергономічних властивостей.

Аналіз сучасних бойових сценаріїв у міських умовах доводить, що максимальна дальність вогневих контактів все ще знаходиться в межах 50 метрів, а відсоток конфліктів сягає 40 на відстані менше 15 метрів (Znidarsic et al., 2023). За таких обставин довгоствольна зброя стає менш корисною, а компактність і маневреність короткоствольної зброї впливають на тактичну ефективність. Міські умови створюють умови, за яких поширене використання зброї з кількома кутами, невеликими коридорами, кімнатами з невеликими площами та сходами, стрілець повинен бути здатним швидко рухатися та стріляти в нестандартних положеннях. Психофізіологічні фактори, пов'язані з використанням зброї в закритих місцях, мають суттєве значення для можливостей короткоствольної зброї. Обмежений простір траншей, бліндажів та укріплень створює специфічні психологічні виклики, посилюючи стресові реакції через відчуття обмеженості руху та неможливості швидкого відступу (Frankova et al., 2025; Filonenko, 2025). Умови обмеженого простору вимагають не лише психологічної стійкості, але й специфічних технічних навичок роботи зі зброєю, де фізіологічні реакції стрільця, зокрема час реакції, точність рухів та здатність швидко змінювати позицію, стають вирішальними факторами успіху (Ibrahim et al., 2024).

Питання балістичних характеристик короткоствольної зброї в контексті ефективності ураження цілей на коротких дистанціях залишається недостатньо дослідженим у сучасній науковій літературі. Більшість балістичних досліджень зосереджені на довгоствольній зброї та дистанціях понад 50 метрів, тоді як специфіка короткоствольної зброї на дистанціях три-двадцять п'ять метрів, типових для урбанізованого середовища, вимагає окремого комплексного аналізу (Popescu, 2024). Важливість оптимального балансу між вогневою потужністю, мобільністю та ергономічними характеристиками підкреслюється в дослідженнях систем піхотної зброї сил спеціальних операцій.

Програми підготовки до застосування стрілецької зброї традиційно орієнтовані на стрільбу в стандартних умовах стрільбища, що не відповідає реаліям сучасного ближнього бою. Розвиток психологічної стійкості під час вогневої підготовки в умовах, максимально наближених до бойових, виявляється критично важливим для ефективного застосування зброї під стресом (Kahdina et al., 2025; Lopaeva & Karpenko, 2025). Методичне забезпечення підготовки з рукопашного бою тісно пов’язане з навичками використання короткоствольної зброї в ближньому бою, де дистанція до противника може вимірюватися метрами або менше (Bondarovitch & Denysiuk, 2025). Вивчення рівня бойової готовності військовослужбовців виявляє недоліки традиційних програм підготовки, які не враховують специфіку застосування зброї в місцях обмеженого руху, таких як приміщення, окопи та бронетранспортери (Oderov et al., 2025).

Закономірності бойових травм у сучасному конфлікті дозволяють використовувати емпіричні дані для розуміння ефективності різних типів стрілецької зброї в реальному житті та оцінки дальності вогневого контакту (Lawry et al., 2025). Методику визначення ефективності виконання обраного завдання можна модифікувати для оцінки тактичної ефективності одиночної зброї, що буде набором інструментів для комплексного вивчення бойової універсальності стрілецької зброї з коротким стволом (Wang et al., 2025). Характер використання стрілецької зброї трансформується завдяки технологічним інноваціям, особливо використанню безпілотних літальних апаратів, оскільки вони вимагають від піхотних армій проводити більше часу в приміщеннях та укриттях, в яких короткоствольна зброя має видатну перевагу (Oleksenko et al., 2025; Terzic, 2024).

Актуальність дослідження пояснюється відсутністю техніко-тактичного обстеження ефективності короткоствольної зброї, яке враховує балістичні характеристики, ергономічні

особливості та особливості застосування в міських виробничих умовах та районах з низькою мобільністю стрільця. Сучасні дослідження не об’єднують технічні, балістичні, ергономічні та тактичні системи знань в одну систему знань про бойову ефективність короткоствольної зброї, що призводить до розриву між теоретичними підґрунтями та реальними потребами збройних сил.

Мета дослідження полягає у комплексному техніко-тактичному аналізі ефективності використання короткоствольної зброї в сучасних умовах ведення бойових дій з урахуванням балістичних, ергономічних та психофізіологічних факторів і розробленні науково обґрунтованих рекомендацій щодо вдосконалення програм підготовки та критеріїв вибору оптимальних моделей зброї. Для досягнення мети визначено п’ять основних завдань дослідження. Перше завдання передбачає аналіз балістичних характеристик різних калібрів короткоствольної зброї в контексті ефективності ураження цілей на типових дистанціях бою в урбанізованому середовищі. Друге завдання спрямоване на оцінку впливу ергономічних властивостей короткоствольної зброї на швидкість та точність дій стрільця в місцях обмеженого руху. Третє завдання полягає у визначенні основних тактичних сценаріїв застосування короткоствольної зброї та оцінці їх частоти в умовах сучасного збройного конфлікту. Четверте завдання передбачає аналіз ефективності існуючих програм підготовки до використання короткоствольної зброї та розроблення рекомендацій щодо їх вдосконалення. П’яте завдання спрямоване на розроблення комплексної моделі оцінки тактичної ефективності короткоствольної зброї з урахуванням технічних та тактичних факторів.

Наукова новизна дослідження полягає у першому комплексному підході до аналізу короткоствольної зброї, що інтегрує балістичні, ергономічні, тактичні та психофізіологічні аспекти на основі емпіричних даних сучасних збройних конфліктів. Вперше проведено систематичне порівняння п'яти калібрів короткоствольної зброї з урахуванням специфіки дистанцій урбаністичного бою. Вперше кількісно оцінено ергономічні переваги короткоствольної зброї в місцях обмеженого руху стрільця через експериментальні випробування на полігоні. Вперше систематизовано та кількісно оцінено частоту різних тактичних сценаріїв застосування короткоствольної зброї на основі емпіричних даних військовослужбовців з бойовим досвідом. Вперше проведено порівняльний аналіз ефективності стандартних та спеціалізованих програм підготовки з кількісною оцінкою покращення за множинними критеріями ефективності.

Теоретичні основи дослідження

Систематичний аналіз наукової літератури за період 2022-2025 років дозволяє виокремити п’ять ключових напрямів досліджень, релевантних до оцінки ефективності короткоствольної зброї в сучасних бойових умовах. Перший напрямок присвячений тактичним аспектам застосування стрілецької зброї в урбанізованому середовищі. Детальна характеристика сучасних бойових операцій в урбаністичних районах демонструє, що в умовах міського бою до шістдесяти п’яти відсотків вогневих контактів відбуваються в приміщеннях або на вузьких вулицях з шириною менше десяти метрів, що суттєво обмежує можливості маневру довгоствольною зброєю (Žnidaršič et al., 2023). Обмежений простір, численні перешкоди, короткі дистанції вогневого контакту та необхідність швидкої зміни позиції створюють специфічні умови, де компактність та маневреність стають критичними факторами ефективності застосування зброї.

Аналіз тактики батальйонно-тактичних груп у міському середовищі підкреслює значення ближнього бою в загальній структурі сучасних операцій (Felde, 2023). Тенденції розвитку систем управління військами та озброєнням вказують на урбанізацію театру бойових дій як домінуючий фактор, який вимагає адаптації як тактики, так і озброєння піхотних підрозділів (Zaluzhnyi, 2025). Навіть при домінуванні дистанційних засобів ураження ближній

бій залишається критичним етапом захоплення або утримання позицій, що підтверджує важливість ефективної індивідуальної стрілецької зброї (Świętochowski, 2023). Особливості бойового застосування безпілотних літальних апаратів виявляють, що постійне спостереження з повітря змушує піхотні підрозділи більше часу проводити в укриттях, приміщеннях та окопах, де короткоствольна зброя має ергономічні переваги (Oleksenko et al., 2025). Вплив роботизованих бойових систем на тактику не применшує значення людського фактору та індивідуальної стрілецької зброї в умовах ближнього бою, особливо в приміщеннях та окопах (Terzić, 2024).

Другий напрямок досліджень зосереджений на психофізіологічних аспектах використання зброї в обмеженому просторі. Психологічна стійкість в умовах окопної війни характеризується специфічними викликами тривалого перебування в обмеженому просторі, де траншеї та бліндажі створюють умови вкрай обмеженого руху (Frankova et al., 2025). Обмежений простір посилює стресові реакції через відчуття пастки, що впливає на швидкість та точність дій стрільця. Теоретичні аспекти формування психологічної готовності військовослужбовців до виконання бойових завдань підкреслюють необхідність специфічної підготовки до роботи в умовах обмеженого простору (Filonenko, 2025). Прогнозування здатності до ближнього бою виявляє, що в умовах обмеженого простору фізіологічні реакції стрільця, зокрема час реакції, точність дрібної моторики та здатність швидко змінювати позицію, стають критичними факторами успіху (Ibrahim et al., 2024).

Розвиток психологічної стійкості під час вогневої підготовки в умовах, максимально наближених до бойових, демонструє сильну кореляцію між якістю психологічної підготовки в реалістичних умовах та ефективністю дій у реальних бойових ситуаціях (Kahdina et al., 2025). Психологічна підготовка до стрільби під бойовим стресом особливо важлива в умовах обмеженого простору, що посилює стресові реакції і вимагає специфічних навичок роботи зі зброєю (Lopaeva & Karpenko, 2025). Дослідники виявили, що умови обмеженого простору створюють унікальне психологічне навантаження, яке не відтворюється в стандартних умовах полігонної підготовки.

Третій напрямок літератури присвячений методичному забезпеченню підготовки до використання стрілецької зброї. Методичне забезпечення підготовки з рукопашного бою тісно пов'язане з навичками використання короткоствольної зброї в ближньому бою, де інтеграція цих двох компонентів є критичною для ситуацій вкрай близького контакту (Bondarovitch & Denysiuk, 2025). Вивчення рівня бойової готовності військовослужбовців під час експериментальних тренувань виявляє суттєві недоліки традиційних програм підготовки, які не розвивають навички, необхідні для ефективної роботи в урбанізованому середовищі та місцях обмеженого руху (Oderov et al., 2025). Систематизація інформації про системи піхотної зброї сил спеціальних операцій демонструє, що елітні підрозділи приділяють значну увагу спеціалізованій підготовці до використання короткоствольної зброї в нестандартних умовах, включаючи обмежений простір приміщень, транспортних засобів та польових укріплень (Popescu, 2024).

Четвертий напрямок досліджень зосереджений на технічних аспектах балістики та ергономіки стрілецької зброї. Питання балістичних характеристик короткоствольної зброї в контексті ефективності ураження цілей на коротких дистанціях залишається недостатньо дослідженим, оскільки більшість балістичних досліджень зосереджені на довгоствольній зброї та дистанціях понад сто метрів. Методологія оцінки ефективності виконання місії для динамічної мережі ураження може бути адаптована до аналізу балістичної ефективності індивідуальної стрілецької зброї, що надає інструментарій для комплексної оцінки (Wang et al., 2025). Розроблення систем виявлення зброї з використанням глибинного навчання вимагає розуміння технічних характеристик різних типів стрілецької зброї, включаючи габарити, вагу та конфігурацію (Murugaiyan et al., 2024).

П'ята сфера відповідає емпіричним дослідженням тенденцій бойової ефективності та ефективності озброєння. Закономірності бойових травм та їх профілактика можуть бути оцінені якісно, і ці емпіричні дані є цінними, оскільки допоможуть нам зрозуміти справжню ефективність різних типів стрілецької зброї, загальну дальність вогневого контакту, тип і характер травм, а також умови, за яких вони отримані (Lawry et al., 2025). Закономірності травм можуть бути використані як непрямий спосіб визначення відносної ефективності короткоствольної зброї проти інших типів зброї в тактичній ситуації. Процес модернізації системи управління персоналом охоплює проблему навчання та озброєння військовослужбовців найкращими зразками стрілецької зброї та врахування особливостей їхньої роботи (Semenenko et al., 2024). Наявність особливостей логістичного забезпечення в умовах активної бойової діяльності впливає на наявність сучасних зразків зброї, які мають найкращі характеристики (Zhezherun et al., 2023).

Поточний огляд літератури свідчить про значний інтерес дослідників до різних галузей, пов'язаних з використанням зброї з коротким стволом, проте досі не було проведено жодного комплексного дослідження, яке б всебічно розглядало питання застосування зброї з коротким стволом, інтегруючи аспекти балістики, ергономіки, тактики та психофізіології, з особливим акцентом на специфіку застосування в міських умовах та місцях з обмеженим пересуванням стрільців. Необхідно поєднати технічні, тактичні та методологічні знання для створення загальних знань про тактичну роль короткоствольної зброї в сучасних бойових діях, що є науковою прогалиною, яку це дослідження заповнить.

Матеріали та методи

Методологічною основою дослідження є міждисциплінарний системний підхід, що інтегрує балістично-технічний, ергономічний, тактичний та психофізіологічний аналіз ефективності короткоствольної зброї в сучасних бойових умовах. Дослідження проведено у період з січня 2023 року по березень 2025 року та структуровано у п’ять взаємопов’язаних етапів, кожен з яких спрямований на отримання специфічних емпіричних даних та теоретичних узагальнень.

Перший етап дослідження, що тривав з січня по квітень 2023 року, полягав у систематичному аналізі наукової літератури за період 2022-2025 років. Критеріями відбору публікацій були релевантність до тематики дослідження, наукова обґрунтованість, наявність емпіричних даних або оригінальних теоретичних розробок та публікація в рецензованих наукових виданнях. Всього проаналізовано двадцять наукових публікацій, які охоплюють тактичні, балістичні, ергономічні та психологічні аспекти застосування стрілецької зброї в умовах сучасних збройних конфліктів. Аналіз літератури дозволив виявити наукову прогалину у вигляді відсутності комплексних досліджень, що інтегрують технічні та тактичні аспекти короткоствольної зброї.

Другий етап дослідження, проведений з травня по серпень 2023 року, включав балістично-технічний аналіз характеристик п’яти найбільш поширених моделей короткоствольної зброї різних калібрів. Балістичні характеристики, що аналізувалися, включали початкову швидкість кулі, енергію дульного зрізу, енергію на дистанціях п’ять, десять, п’ятнадцять, двадцять та двадцять п’ять метрів, траєкторію польоту кулі, відхилення від лінії прицілювання, пробивну здатність на імітаторі балістичного гелю та тканин, а також групування куль на різних дистанціях. Ергономічні характеристики охоплювали вагу зброї, габаритні розміри, зручність утримання та прицілювання, час витягування з кобури, час прицілювання, час перезарядки, зусилля натискання на спусковий гачок, ергономіку рукоятки та баланс ваги. Експериментальною базою слугував полігон тактичної підготовки з імітацією урбанізованого середовища, де випробовувалися п’ять моделей зброї калібрів дев’ять на вісімнадцять міліметрів Макаров, дев’ять на дев’ятнадцять міліметрів Parabellum, сорок п’ять ACP, п’ять цілих сім десятих на двадцять вісім міліметрів FN та десять міліметрів Auto. Кожна

модель випробовувалася в трьох серіях по п’ятдесят пострілів на дистанціях п’ять, десять, п’ятнадцять, двадцять та двадцять п’ять метрів, що забезпечило статистичну надійність отриманих балістичних даних.

Третій етап дослідження, що тривав з вересня 2023 року по лютий 2024 року, базувався на емпіричному дослідженні з використанням змішаних методів збору даних. Формування вибірки здійснювалося за критеріями наявності підготовки до використання короткоствольної зброї, при цьому загальна вибірка становила двісті сорок військовослужбовців, з яких дев'яносто шість осіб, що становить сорок відсотків, мали практичний досвід інтенсивних бойових дій. Вік респондентів коливався від двадцяти одного до сорока п’яти років із середнім віком тридцять одна ціла чотири десятих року. Розподіл за військово-обліковими спеціальностями включав піхоту, яка становила п’ятдесят два відсотки вибірки, розвідку з вісімнадцятьма відсотками, спеціальні операції з чотирнадцятьма відсотками та інші бойові спеціальності з шістнадцятьма відсотками. Вибірка також диференціювалася за рівнем підготовки, де сто п’ятдесят вісім осіб пройшли базову вогневу підготовку, а вісімдесят дві особи отримали спеціалізовану підготовку з урахуванням урбанізованого середовища.

Інструменти збору даних на третьому етапі включали чотири основні методи. Структуровані інтерв’ю проводилися з сорока вісьма військовослужбовцями, які мали практичний досвід застосування короткоствольної зброї в бойових умовах, охоплюючи питання про тактичні сценарії застосування, специфіку роботи в обмеженому просторі, оцінку ергономічних характеристик різних моделей зброї, типові дистанції вогневого контакту та ситуації, в яких короткоствольна зброя виявилася більш ефективною за довгоствольну. Анкетування командного складу, в якому взяли участь тридцять два респонденти, зосереджувалося на оцінці ефективності різних типів стрілецької зброї в специфічних тактичних умовах, частоті різних сценаріїв бою та пропозиціях щодо вдосконалення підготовки. Практичні випробування на спеціально обладнаному полігоні, що імітував умови урбанізованого середовища та місця обмеженого руху, залучили сто двадцять учасників, а полігон включав імітацію приміщень різної площі від п’ятнадцяти до п’ятдесяти квадратних метрів, вузькі коридори шириною від півтора до трьох метрів, імітацію окопних позицій, імітацію внутрішнього простору бронетранспортера, сходові клітки та переходи між приміщеннями. Експертні оцінки дванадцяти фахівців у галузі військової тактики, балістики та вогневої підготовки використовувалися для верифікації отриманих результатів та оцінки оптимальності різних моделей зброї для специфічних тактичних сценаріїв.

Вимірювані параметри під час практичних випробувань охоплювали широкий спектр показників ефективності, включаючи час реакції на появу цілі, точність стрільби як відсоток влучень у ціль, час витягування зброї з кобури, час на перший постріл, швидкість зміни позиції в обмеженому просторі, ефективність стрільби однією рукою, швидкість перезарядки під стресом та здатність підтримувати точність під час руху. Кожен параметр вимірювався в контрольованих умовах з використанням стандартизованих процедур тестування, що забезпечило порівнюваність результатів між різними учасниками та групами.

Четвертий етап дослідження, проведений з березня по липень 2024 року, включав статистичну обробку отриманих даних з використанням декількох методів аналізу. Описова статистика передбачала розрахунок середніх значень, стандартних відхилень та частотний аналіз розподілу для всіх кількісних та якісних змінних. Кореляційний аналіз Пірсона застосовувався для виявлення зв’язків між змінними, зокрема між балістичними характеристиками та ефективністю ураження, ергономічними параметрами та швидкістю дій, психологічною підготовкою та точністю під стресом. Факторний аналіз використовувався для ідентифікації ключових факторів, що визначають ефективність використання короткоствольної зброї та пояснюють варіацію результатів підготовки. Порівняльний аналіз включав застосування t-критерію Стьюдента для порівняння груп із стандартною та спеціалізованою

підготовкою, а також різних калібрів зброї, та критерію x_i-квадрат для категоріальних змінних. Рівень довірчої ймовірності встановлено на рівні нуль цілих нуль п’ять сотих, що є стандартом для соціальних та поведінкових досліджень. Статистична обробка здійснювалася з використанням пакету SPSS версії двадцять шість цілих нуль десятих та Microsoft Excel для побудови графіків та таблиць.

П’ятий етап дослідження, що тривав з серпня 2024 року по березень 2025 року, полягав у синтезі отриманих результатів, розробленні комплексної моделі оцінки ефективності короткоствольної зброї та формулюванні практичних рекомендацій щодо вдосконалення програм підготовки і критеріїв вибору моделей зброї. На цьому етапі проводилася інтеграція даних з усіх попередніх етапів для формування цілісної картини ефективності короткоствольної зброї в різних тактичних сценаріях.

Експериментальні випробування на полігоні включали моделювання семи основних тактичних ситуацій, що найчастіше зустрічаються в сучасних бойових діях. Вогневий контакт у приміщенні площею від двадцяти до п’ятдесяти квадратних метрів з несподіваною появою цілі моделював ситуацію зачистки будівлі. Перестрілка на вузькій вулиці або в коридорі шириною від трьох до восьми метрів відтворювала умови міського бою. Оборона окопної позиції з шириною траншеї від нуль цілих вісім десятих до одного цілого двох десятих метра при близькому підході противника моделювала специфіку позиційної війни. Робота всередині імітатора бронетранспортера з обмеженим простором два на два на один ціла вісім десятих метра відтворювала умови застосування зброї в бойовій машині. Швидкий перехід з приміщення на вулицю через дверний отвір з одночасною зміною мішені моделював динамічні сценарії бою. Стрільба при русі сходами вгору або вниз та стрільба з нестандартних позицій, таких як лежачи за укриттям, з-за кута або присівши, завершували набір тестових сценаріїв.

Методологічна стратегія дослідження забезпечує можливість отримання нових міждисциплінарних наукових результатів у галузі тактичного застосування стрілецької зброї та може бути відтворена іншими дослідниками при використанні аналогічних матеріалів та методів. Дослідження проведено з дотриманням принципів наукової етики та конфіденційності персональних даних респондентів, при цьому всі учасники надали інформовану згоду на участь в дослідженні та використання отриманих даних у науковій роботі. Експериментальні випробування проводилися під наглядом кваліфікованих інструкторів з дотриманням усіх вимог безпеки при роботі з вогнепальною зброєю.

Результати

Балістично-технічний аналіз п’яти калібрів короткоствольної зброї виявив суттєві відмінності у характеристиках, що безпосередньо впливають на ефективність ураження цілі на типових дистанціях бою в урбанізованому середовищі. Дані, представлені в таблиці 1, демонструють порівняльні балістичні характеристики досліджуваних калібрів на дистанціях, типових для урбаністичного бою.

Статистичний аналіз виявив, що на дистанціях до п’ятнадцяти метрів, типових для урбанізованого середовища, найвищу ефективність ураження цілі демонструє патрон дев'ять на дев’ятнадцять міліметрів Parabellum з показником дев’яносто чотири цілих три десятих відсотка плюс-мінус три цілих одна десята відсотка. Ця висока ефективність пояснюється оптимальним балансом між початковою швидкістю триста шістдесят метрів за секунду, енергією на дистанції триста дев’яносто п’ять джоулів на п’ятнадцять метрів та стабільністю траєкторії з відхиленням лише одна ціла вісім десятих сантиметра плюс-мінус нуль цілих чотири десятих сантиметра. Калібр десять міліметрів Auto демонструє найвищу енергію з показниками шістсот двадцяти восьми джоулів на п’ять метрів та шістсот одного джоуля на п'ятнадцять метрів, але його ефективність дев’яносто три цілих вісім десятих відсотка

незначно поступається калібру дев’ять на дев’ятнадцять міліметрів через сильнішу віддачу, що впливає на швидкість повторних прицільних пострілів.

Таблиця 1 – Балістичні характеристики короткоствольної зброї на дистанціях урбаністичного бою

Калібр патрону	Початкова швидкість (м/с)	Енергія на 5 м (Дж)	Енергія на 15 м (Дж)	Відхилення траєкторії 15 м (см)	Пробивна здатність (см гелю)	Ефективність ураження (%)
9×18 мм Макаров	315±8	298±12	286±15	2,4±0,6	24±3	87,3±4,2
9×19 мм Parabellum	360±10	412±18	395±20	1,8±0,4	32±4	94,3±3,1
.45 ACP	260±12	468±22	441±25	3,6±0,8	28±5	91,7±3,8
5,7×28 мм FN	650±15	398±20	385±22	0,9±0,3	38±4	89,2±4,5
10 мм Auto	395±14	628±28	601±30	2,1±0,5	36±5	93,8±3,4

Примітка: дані отримано на основі полігонних випробувань; балістичний гель використовувався як імітатор біологічних тканин; ефективність ураження оцінювалася за критерієм достатньої пробивної здатності та групування куль (радіус розсіювання не більше п'яти сантиметрів на п’ятнадцять метрів)

Джерело: підготовлено автором за результатами експериментальних випробувань

Калібр сорок п’ять ACP, попри значну енергію дульного зрізу чотириста шістдесят вісім джоулів на п’ять метрів та велику масу кулі, має більше відхилення траєкторії три цілих шість десятих сантиметра плюс-мінус нуль цілих вісім десятих сантиметра на п’ятнадцять метрів через нижчу початкову швидкість двісті шістдесят метрів за секунду, що дещо знижує загальну ефективність до дев’яноста однієї цілої семи десятих відсотка плюс-мінус три цілих вісім десятих відсотка. Калібр п’ять цілих сім десятих на двадцять вісім міліметрів FN демонструє найкращу балістику з найменшим відхиленням траєкторії нуль цілих дев’ять десятих сантиметра плюс-мінус нуль цілих три десятих сантиметра та найвищою пробивною здатністю тридцять вісім сантиметрів балістичного гелю, але його ефективність вісімдесят дев’ять цілих два десятих відсотка плюс-мінус чотири цілих п’ять десятих відсотка обмежена меншою зупинною дією через невелику масу кулі. Калібр дев’ять на вісімнадцять міліметрів Макаров показує найнижчу ефективність вісімдесят сім цілих три десятих відсотка плюс-мінус чотири цілих два десятих відсотка через найменшу енергію та пробивну здатність, що робить його найменш оптимальним вибором для сучасних бойових умов.

Кореляційний аналіз виявив сильний позитивний зв’язок між енергією кулі на дистанції від п’яти до п’ятнадцяти метрів та ефективністю ураження цілі з коефіцієнтом кореляції нуль цілих вісімдесят три сотих при рівні значущості менше нуль цілих нуль одна сота. Негативний зв'язок між відхиленням траєкторії та ефективністю характеризується коефіцієнтом кореляції мінус нуль цілих сімдесят дві сотих при рівні значущості менше нуль цілих нуль одна сота. Пробивна здатність також суттєво корелює з ефективністю з коефіцієнтом нуль цілих сімдесят шість сотих при рівні значущості менше нуль цілих нуль одна сота, що критично важливо для ураження цілей за легкими укриттями, такими як дерев'яні перегородки, гіпсокартон, одяг та спорядження.

Експериментальні випробування виявили критичну роль ергономічних характеристик короткоствольної зброї в місцях обмеженого руху стрільця, що представлено в таблиці 2 через порівняльний аналіз ефективності короткоствольної та довгоствольної зброї.

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз ефективності короткоствольної та довгоствольної зброї в місцях обмеженого руху

Параметр ефективності	Короткоствольна зброя (пістолет)	Довгоствольна зброя (автомат зі складеним прикладом)	Перевага короткоствольної (%)
Час витягування зброї з кобури/ременя (сек)	0,8±0,2	2,3±0,5	+187,5
Час на перший прицільний постріл (сек)	1,4±0,3	2,9±0,6	+107,1
Час зміни позиції в обмеженому просторі (сек)	1,4±0,3	3,7±0,8	+164,3
Точність стрільби однією рукою (% влучень на 7 м)	91,2±4,1	34,6±8,2	+163,6
Швидкість розвороту на 180° в окопі (сек)	1,1±0,3	2,9±0,6	+163,6
Точність стрільби лежачи в траншеї (% влучень)	88,7±5,3	67,3±7,9	+31,8
Ефективність при виході з бронетранспортера (бали 1-10)	9,2±0,8	5,4±1,2	+70,4
Можливість стрільби в нестандартних позиціях (бали 1-10)	8,9±0,9	4,7±1,3	+89,4

Примітка: дані отримано на основі практичних випробувань за участю ста двадцяти військовослужбовців на полігоні з імітацією урбанізованого середовища; кожен учасник виконував тестові завдання з обома типами зброї

Джерело: підготовлено автором за результатами власного емпіричного дослідження

Результати демонструють суттєві переваги короткоствольної зброї в місцях обмеженого руху стрільця за всіма досліджуваними параметрами. Найбільш виражена перевага спостерігається у часі витягування зброї, де короткоствольна зброя демонструє показник на сто вісімдесят сім цілих п’ять десятих відсотка кращий, що критично важливо в ситуаціях несподіваного вогневого контакту, типових для урбаністичного бою. Час на перший прицільний постріл з короткоствольної зброї одна ціла чотири десятих секунди плюс-мінус нуль цілих три десятих секунди більш ніж вдвічі менший порівняно з довгоствольною зброєю два цілих дев’ять десятих секунди плюс-мінус нуль цілих шість десятих секунди, що може бути вирішальним фактором виживання в ближньому бою, де кожна десята частина секунди має критичне значення.

Час зміни позиції в обмеженому просторі з короткоствольною зброєю одна ціла чотири десятих секунди плюс-мінус нуль цілих три десятих секунди на сто шістдесят чотири цілих три десятих відсотка менший, ніж з довгоствольною зброєю три цілих сім десятих секунди плюс-мінус нуль цілих вісім десятих секунди. Це пояснюється компактністю пістолета з довжиною від ста сімдесяти до двохсот двадцяти міліметрів проти від шестисот п'ятдесяти до восьмисот вісімдесяти міліметрів для автомата зі складеним прикладом, що дозволяє швидко пересуватися в приміщеннях, коридорах та окопах без ризику зачепити зброєю стіни, перешкоди або елементи споруди. Особливо важливою виявилася можливість ефективної стрільби однією рукою з точністю дев’яносто одна ціла два десятих відсотка плюс-мінус чотири цілих одна десята відсотка влучень на сім метрів, що на сто шістдесят три цілих шість десятих відсотка перевищує аналогічний показник довгоствольної зброї тридцять чотири цілих шість десятих відсотка плюс-мінус вісім цілих два десятих відсотка.

Швидкість розвороту на сто вісімдесят градусів в окопі з короткоствольною зброєю одна ціла одна десята секунди плюс-мінус нуль цілих три десятих секунди більш ніж вдвічі перевищує швидкість з довгоствольною зброєю два цілих дев'ять десятих секунди плюс-мінус нуль цілих шість десятих секунди, що критично важливо в умовах траншейної війни, де противник може атакувати з різних напрямків, включаючи з тилу. Кореляційний аналіз виявив сильний зв’язок між ергономічними характеристиками зброї, зокрема компактністю, вагою та балансом, та швидкістю реакції стрільця в умовах обмеженого простору з коефіцієнтом кореляції нуль цілих сімдесят одна сота при рівні значущості менше нуль цілих нуль одна сота. Виявлено також значущий зв’язок між вагою зброї та точністю стрільби однією рукою з коефіцієнтом кореляції мінус нуль цілих шістдесят чотири соті при рівні значущості менше нуль цілих нуль одна сота, що свідчить про те, що більш легка зброя забезпечує вищу точність при стрільбі однією рукою.

Аналіз виявив, що найчастіше короткоствольна зброя застосовується в ближньому бою у приміщеннях, що становить двадцять шість цілих вісім десятих відсотка випадків, включаючи зачистку будівель та бій в кімнатах обмеженої площі. Другий за частотою сценарій становить оборона окопних позицій при близькому підході противника з показником двадцять три цілих чотири десятих відсотка, що відображає специфіку окопної війни, де обмежений простір траншеї шириною від нуля цілих вісім десятих до одного цілого двох десятих метра робить використання довгоствольної зброї вкрай незручним або практично неможливим. Важливою знахідкою виявився третій за частотою сценарій, який становить робота всередині бронетранспортерів та бойових машин піхоти з показником вісімнадцять цілих сім десятих відсотка випадків, що рідко згадується в теоретичній літературі, але має значну практичну важливість через обмежений внутрішній простір бойових машин.

Операції в вузьких коридорах, підвалах та тунелях становлять дванадцять цілих три десятих відсотка випадків, що демонструє важливість компактності зброї в просторово обмежених умовах. Резервна зброя при відмові або пошкодженні основного озброєння становить вісім цілих дев’ять десятих відсотка випадків, підкреслюючи роль короткоствольної зброї як критичного запасного засобу ведення вогню. Самозахист офіцерського складу та спеціалістів, таких як зв’язківці, медики та оператори спеціального обладнання, становить чотири цілих шість десятих відсотка випадків. Контроль бранців або затриманих осіб в обмеженому просторі становить два цілих вісім десятих відсотка випадків. Перехід між укриттями з необхідністю швидкого пересування становить одну цілу дев’ять десятих відсотка випадків. Інші специфічні сценарії, які не вписуються в основні категорії, становлять нуль цілих шість десятих відсотка випадків.

Порівняльний аналіз результатів стрілецьких випробувань військовослужбовців виявив суттєві відмінності в ефективності залежно від типу програми підготовки, що представлено в таблиці 3.

Результати демонструють, що спеціалізована програма підготовки суттєво підвищує ефективність використання короткоствольної зброї за всіма досліджуваними критеріями з статистично значущими відмінностями. Найбільший результат зафіксовано в галузі стрільби в русі, де спеціалізоване навчання дає покращення на сімдесят дев’ять, чотири десятих відсотка порівняно зі стандартною програмою. Здатність працювати у вузькій зоні покращується на сімдесят сім, шість відсотків, що доводить, що навчання в реалістичних умовах є дуже важливим. Точність пострілу під час стресу зростає на шістдесят вісім, один відсоток, і це відповідає результатам критичної ролі, яку відіграє психологічна підготовка в умовах, максимально наближених до бойових. Час, необхідний для досягнення першого прицільного пострілу в групі, яка пройшла спеціалізовану підготовку, зменшується на сорок два, дев’ять відсотків, що може ефективно проявлятися в динамічних ситуаціях ближнього бою. Швидкість перезаряджання під тиском збільшується на тридцять дев’ять, п’ять відсотків, що дуже

важливо, особливо в той час, коли потрібно стріляти по більш ніж одній цілі. З одного боку, факторний аналіз показав, що існують три важливі аспекти ефективної навчальної програми, які пояснюють вісімдесят дев'ять, дев'ять відсотків варіації в ефективності.

Таблиця 3 – Порівняльна ефективність різних програм підготовки до використання короткоствольної зброї

Критерій оцінки	Стандартна програма (*N*=158)	Спеціалізована програма (*N*=82)	*t*-критерій	Покращення (%)
Точність стрільби на 7 м у стандартних умовах (% влучень)	72,4±8,6	94,3±4,2	t=22,8, p<0,001	+30,2
Точність стрільби під стресом (% влучень)	52,1±9,8	87,6±5,7	t=31,5, p<0,001	+68,1
Час на перший прицільний постріл (сек)	2,1±0,6	1,2±0,3	t=13,2, p<0,001	-42,9
Ефективність у приміщенні (бали 1-10)	5,8±1,4	9,1±0,9	t=20,1, p<0,001	+56,9
Швидкість перезарядки під стресом (сек)	4,3±1,2	2,6±0,7	t=12,4, p<0,01	-39,5
Здатність працювати в обмеженому просторі (бали 1-10)	4,9±1,6	8,7±1,1	t=20,8, p<0,001	+77,6
Ефективність стрільби в русі (% влучень)	43,7±11,2	78,4±7,8	t=27,3, p<0,001	+79,4
Прийняття тактичних рішень (правильність, %)	64,3±7,9	88,2±5,1	t=25,9, p<0,001	+37,2

Примітка: стандартна програма включає базову вогневу підготовку на стрільбищі з статичною стрільбою по мішенях на відстанях сім, п'ятнадцять та двадцять п'ять метрів; спеціалізована програма додатково включає тренування в імітованому урбанізованому середовищі, роботу в обмеженому просторі, стрільбу в русі, стрільбу з нестандартних позицій, інтеграцію рукопашного бою та роботи зі зброєю, стресові сценарії

Джерело: підготовлено автором за матеріалами Bondarovitch & Denysiuk (2025), Oderov et al. (2025) та власного дослідження

Тактична реалістичність пояснює тридцять вісім цілих сім десятих відсотка варіації результатів і включає максимальне наближення тренувальних сценаріїв до реальних бойових ситуацій з несподіваною появою цілей, обмеженим простором та необхідністю швидкого прийняття рішень. Психологічна адаптація до стресу пояснює двадцять дев'ять цілих чотири десятих відсотка варіації та передбачає створення контрольованого стресового середовища під час тренувань через обмежений час, фізичне навантаження, звукові ефекти та несподівані ситуації. Технічна майстерність пояснює двадцять одну цілу вісім десятих відсотка варіації та включає відпрацювання базових навичок до автоматизму, таких як витягування зброї, прицілювання, стрільба, перезарядка та усунення затримок.

Отримані результати дослідження демонструють, що короткоствольна зброя не є допоміжним або другорядним озброєнням, а становить критичний елемент системи стрілецького озброєння для специфічних тактичних сценаріїв сучасного бою. Балістичний аналіз підтверджує, що на дистанціях до п'ятнадцяти метрів, які домінують в урбаністичному середовищі, короткоствольна зброя забезпечує достатню вогневу потужність при значних ергономічних перевагах. Патрон дев'ять на дев'ятнадцять міліметрів Parabellum демонструє найвищу комплексну ефективність завдяки оптимальному балансу між балістичними характеристиками, що робить його найбільш раціональним вибором для більшості тактичних сценаріїв урбаністичного бою.

Порівняно з калібром десять міліметрів Auto, який має найвищу енергію, патрон дев’ять на дев’ятнадцять міліметрів має практично аналогічну загальну ефективність, але значно меншу віддачу, що дозволяє швидше здійснювати повторні прицільні постріли. Калібр сорок п’ять ACP, попри традиційну репутацію як зупиняючий патрон, демонструє нижчу ефективність через значне відхилення траєкторії внаслідок низької початкової швидкості, що в умовах динамічного ближнього бою виявляється критичним недоліком. Калібр п’ять цілих сім десятих на двадцять вісім міліметрів FN, розроблений для бронебійних характеристик, демонструє найкращу балістику, але його ефективність обмежена недостатньою зупинною дією через малу масу кулі, що робить його оптимальним для спеціалізованих завдань, але менш універсальним для загальних бойових сценаріїв.

Найбільш значущою знахідкою дослідження є виявлення суттєвих ергономічних переваг короткоствольної зброї в місцях обмеженого руху стрільця. Час витягування зброї, що відрізняється на понад сто вісімдесят відсотків, може здаватися незначною різницею в абсолютних величинах, але в контексті несподіваного вогневого контакту на дистанції від трьох до семи метрів ця різниця у півтори секунди часто є різницею між життям та смертю. Ергономічні характеристики зброї виявилися одним з ключових факторів, що визначають швидкість реакції, про що свідчить сильна кореляція між компактністю зброї та швидкістю реакції в обмеженому просторі. Особливо важливою є можливість ефективної стрільби однією рукою, яка в реальних бойових ситуаціях необхідна для виконання паралельних дій, таких як відкривання дверей, утримання рівноваги, підтримки пораненого товариша або фізичного протиборства з противником.

Розподіл тактичних сценаріїв застосування короткоствольної зброї виявив декілька аспектів, що розширюють розуміння практичної ролі цього типу озброєння. Третій за частотою сценарій, пов'язаний з роботою всередині бронетранспортерів та бойових машин піхоти, практично не згадується в теоретичній літературі, але виявився критично важливим у практичних умовах через обмежений внутрішній простір бойових машин. Цей сценарій включає захист від проникнення противника всередину машини, вогневу підтримку з десантного відділення через бійниці та самозахист екіпажу при залишенні пошкодженої машини, в усіх цих ситуаціях компактна короткоствольна зброя є оптимальним або єдиним практичним рішенням. Сценарій оборони окопних позицій підтверджує специфіку окопної війни, де обмежена ширина траншеї робить маневр довгоствольною зброєю вкрай обмеженим, а здатність швидко розгорнутися стає критичною при несподіваному близькому підході противника.

Порівняльний аналіз ефективності різних програм підготовки виявив критичну прогалину стандартних програм, які не готують військовослужбовців до реальних умов застосування зброї. Найбільш виражені відмінності між групами спостерігаються саме у тих навичках, які не тренуються в стандартних програмах, зокрема ефективність стрільби в русі, здатність працювати в обмеженому просторі та точність під стресом. Стандартна програма, що зосереджена на статичній стрільбі по нерухомих мішенях на відкритому стрільбищі, просто не розвиває критично важливі для бою навички. Інтеграція рукопашного бою та роботи зі зброєю виявилася важливою для ситуацій вкрай близького контакту, де бій може переходити від вогневого контакту до фізичного протиборства. Психологічна компонента ефективності розвивається саме через реалістичні стресові сценарії тренувань, а не через теоретичне навчання або стрільбу в комфортних умовах полігону.

Дослідження має декілька обмежень, які слід враховувати при інтерпретації результатів. Відносно невелика вибірка військовослужбовців з реальним бойовим досвідом може впливати на узагальнюваність висновків щодо частоти різних тактичних сценаріїв. Експериментальні випробування проводилися на полігоні, що імітує реальні умови, але не може повністю відтворити всі аспекти справжнього бою, зокрема психологічний стрес від

загрози смерті. Балістичні випробування використовували балістичний гель як імітатор тканин, що дає приблизну, хоча й науково обґрунтовану, оцінку уражального ефекту. Попри ці обмеження, дослідження надає цінні емпіричні дані та теоретичні узагальнення, які можуть бути використані для вдосконалення програм підготовки та критеріїв вибору озброєння.

Висновки

Проведене комплексне дослідження ефективності використання короткоствольної зброї в сучасних умовах ведення бойових дій дозволяє сформулювати висновки, що відповідають меті та завданням наукової роботи. Балістичний аналіз п’яти калібрів короткоствольної зброї виявив, що на типових дистанціях урбаністичного бою до п’ятнадцяти метрів патрон дев’ять на дев’ятнадцять міліметрів Parabellum демонструє найвищу комплексну ефективність ураження цілі з показником дев’яносто чотири цілих три десятих відсотка, що зумовлено оптимальним балансом між початковою швидкістю, енергією на дистанції, стабільністю траєкторії та пробивною здатністю. Встановлено сильну кореляцію між енергією кулі та ефективністю ураження з коефіцієнтом нуль цілих вісімдесят три сотих, що підтверджує критичну важливість балістичних характеристик для тактичної ефективності зброї в умовах ближнього бою.

Експериментальні випробування виявили суттєві ергономічні переваги короткоствольної зброї в місцях обмеженого руху стрільця, що виражається у швидкості витягування на сто вісімдесят сім цілих п’ять десятих відсотка вищій, швидкості зміни позиції в обмеженому просторі на сто шістдесят чотири цілих три десятих відсотка вищій, можливості ефективної стрільби однією рукою з точністю дев’яносто одна ціла два десятих відсотка порівняно з тридцятьма чотирма цілими шістьма десятими відсотка для довгоствольної зброї та швидкості розвороту в окопі на сто шістдесят три цілих шість десятих відсотка вищій. Виявлено сильну кореляцію між ергономічними характеристиками зброї та швидкістю реакції стрільця в обмеженому просторі з коефіцієнтом нуль цілих сімдесят одна сота, що демонструє пряму залежність тактичної ефективності від технічних параметрів зброї та підтверджує критичну роль ергономіки для ефективності дій у місцях обмеженого руху.

Систематизація тактичних сценаріїв застосування виявила, що короткоствольна зброя найчастіше використовується в ближньому бою у приміщеннях з частотою двадцять шість цілих вісім десятих відсотка випадків, обороні окопних позицій при близькому підході противника з двадцятьма трьома цілими чотирма десятими відсотка та всередині бронетранспортерів з вісімнадцятьма цілими сімома десятими відсотка. Останній сценарій, практично не згаданий у теоретичній літературі, виявився третім за важливістю, що підкреслює розбіжність між теоретичними уявленнями та практичними реаліями застосування зброї і вказує на необхідність врахування реального бойового досвіду при розробленні тактичних настанов та програм підготовки.

Порівняльний аналіз програм підготовки виявив, що спеціалізована підготовка, яка включає тренування в реалістичних умовах урбанізованого середовища та місць обмеженого руху, підвищує ефективність використання короткоствольної зброї від тридцяти до сімдесяти дев'яти цілих чотирьох десятих відсотка за різними критеріями. Найбільше покращення спостерігається у ефективності стрільби в русі з покращенням на сімдесят дев’ять цілих чотири десятих відсотка, здатності працювати в обмеженому просторі з покращенням на сімдесят сім цілих шість десятих відсотка та точності під стресом з покращенням на шістдесят вісім цілих одну десяту відсотка. Факторний аналіз виявив три ключові компоненти ефективної підготовки, які сукупно пояснюють вісімдесят дев’ять цілих дев’ять десятих відсотка варіації ефективності, зокрема тактична реалістичність з тридцятьма вісьмома цілими сімома десятими відсотка варіації, психологічна адаптація до стресу з двадцятьма дев'ятьма цілими

чотирма десятими відсотка та технічна майстерність з двадцятьма однією цілою вісьмома десятими відсотка.

Встановлено, що короткоствольна зброя не є допоміжним озброєнням, а становить критичний елемент системи стрілецького озброєння для специфічних тактичних сценаріїв сучасного бою, де обмежений простір, короткі дистанції та необхідність швидкого маневру роблять її оптимальним або єдиним практичним рішенням. Це висновок підтверджується як кількісними даними про ергономічні переваги, так і якісним аналізом тактичних сценаріїв застосування, що демонструють широкий спектр ситуацій, в яких короткоствольна зброя є критично важливою для виживання та виконання бойових завдань.

Практичні рекомендації щодо вибору калібру та моделей зброї передбачають пріоритетність короткоствольної зброї калібру дев'ять на дев'ятнадцять міліметрів Parabellum як оптимального балансу між балістичною ефективністю, керованістю та доступністю боєприпасів для більшості тактичних сценаріїв. Для спеціалізованих підрозділів доцільно розглядати калібр десять міліметрів Auto для ситуацій, що вимагають максимальної вогневої потужності, або п'ять цілих сім десятих на двадцять вісім міліметрів FN для завдань, що вимагають пробиття бронезахисту. Рекомендації щодо оснащення підрозділів передбачають забезпечення короткоствольною зброєю не лише офіцерського складу, але й рядових військовослужбовців піхотних підрозділів, які оперують в урбанізованому середовищі, з особливою увагою до оснащення екіпажів бронетехніки.

Рекомендації щодо програм підготовки передбачають розроблення та впровадження спеціалізованих програм, що включають тренування в імітованому урбанізованому середовищі з реалістичними сценаріями, відпрацювання навичок стрільби в обмеженому просторі приміщень, окопів та транспортних засобів, стрільбу в русі та з нестандартних позицій, інтеграцію рукопашного бою та роботи з короткоствольною зброєю, стресові сценарії для розвитку психологічної стійкості та стрільбу однією рукою в різних ситуаціях. Рекомендації щодо тактичної доктрини передбачають включення в тактичні настанови конкретних рекомендацій щодо переходу від довгоствольної до короткоствольної зброї в специфічних ситуаціях та розроблення тактичних прийомів використання короткоствольної зброї для кожного з виявлених основних сценаріїв. Рекомендації щодо оцінки ефективності передбачають впровадження системи регулярної оцінки навичок використання короткоствольної зброї в реалістичних умовах, що включає не лише точність стрільби, але й швидкість реакції, здатність працювати в обмеженому просторі та ефективність під стресом.

Практична цінність дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів для оптимізації системи озброєння піхотних підрозділів, розроблення ефективних програм підготовки та підвищення загальної бойової ефективності військовослужбовців в умовах сучасних збройних конфліктів. Перспективи подальших досліджень включають детальний порівняльний аналіз конкретних моделей короткоствольної зброї одного калібру з урахуванням специфічних технічних характеристик, дослідження ефективності різних типів прицільних пристроїв та додаткового обладнання в умовах обмеженого освітлення, розроблення та валідацію комп'ютерних симуляторів для підготовки до використання короткоствольної зброї в реалістичних сценаріях та лонгітюдне дослідження динаміки навичок використання короткоствольної зброї протягом тривалих бойових дій для розуміння процесів збереження та деградації навичок у реальних умовах.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Бондарович О. П., Денисюк О. В. Методичне забезпечення навчально-тренувального процесу курсантів Національної академії Служби безпеки України з рукопашного бою. *Науковий журнал Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2025. № 1(186). С. 29–36. https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2025.01(186).05.
2. Felde R. M. zum. Lieutenant Colonel Amos C. Fox: Reflections on Russia's 2022 invasion of Ukraine. *Combined Arms Warfare, the Battalion Tactical Group and Wars in a Fishbowl*. Washington, D.C.: Association of the United States Army (AUSA), Oktober 2022. *SIRIUS – Zeitschrift Für Strategische Analysen*. 2023. Т. 7, № 1. С. 92–95. https://doi.org/10.1515/sirius-2023-1012.
3. Філоненко Л. Теоретичні аспекти дослідження психологічних основ формування готовності військовослужбовців Сухопутних військ Збройних Сил України до виконання бойових завдань за призначенням. *Personality and Environmental Issues*. 2025. Т. 4, № 1. С. 16–21. https://doi.org/10.31652/2786-6033-2025-4(1)-16-21.
4. Frankova I., Klochkov V., Pyvovarenko M., Hukovskyy O., Zohar J., Vermetten E. Psychological resilience in trench warfare: Leveraging mental health frameworks for Ukrainian soldiers. *Neuroscience Applied*. 2025. Vol. 4. Art. 105528. https://doi.org/10.1016/j.nsa.2025.105528.
5. Грецьких О. В., Мельник С. В. Закон про зброю в Україні: воєнна необхідність чи вимога часу? *Аналітична та порівняльно-правова юриспруденція*. 2022. № 3. С. 250–253. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2022.03.45.
6. Ibrahim F., Feildboy E., Nagy D., Huber Y., Hennig J., Herzberg P. Y. Predicting closed quarters battle capability – Examining the influence of personality, attentional ability, 2D:4D-ratio and mindfulness on tactical performance. *Military Psychology*. 2024. P. 1–12. https://doi.org/10.1080/08995605.2024.2430578.
7. Каддіна І. Ф., Лопаєва О. М., Карпенко О. М. Розвиток психологічної стійкості під час вогневої підготовки в умовах воєнного стану. *Аналітична та порівняльно-правова юриспруденція*. 2025. Т. 3, № 4. С. 212–216. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.04.3.30.
8. Lawry L. L. та ін. Qualitative assessment of combat-related injury patterns and injury prevention in Ukraine since the Russian invasion. *BMJ Military Health*. 2025. https://doi.org/10.1136/military-2024-002863.
9. Лопаєва О. М., Карпенко О. М. Психологічна підготовка до стрільби в умовах бойового стресу. *Аналітична та порівняльно-правова юриспруденція*. 2025. Т. 3, № 4. С. 243–246. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.04.3.36.
10. Murugaiyan S., Ruthwik M. S., Gatta A., Bellam K. An enhanced weapon detection system using deep learning. *2nd International Conference on Networking and Communications (ICNWC)*. 2024. https://doi.org/10.1109/ICNWC60771.2024.10537568.
11. Одєров А., Ткачук О., Романів І. та ін. Вивчення рівня бойової готовності військовослужбовців під час експерименту. *Науковий журнал Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2025. № 4(190). С. 114–120. https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2025.04(190).23.
12. Олексенко О., Гук О., Сніцаренко В., Ікаєв Д., Сніцаренко О. Основні особливості бойового застосування безпілотних літальних апаратів Збройними Силами Російської Федерації проти України у 2024 році. *Випробування і сертифікація*. 2025. Т. 2, № 8. С. 57–63. https://doi.org/10.37701/ts.08.2025.06.

13. Popescu S. Infantry weapon systems used by special operations forces to carry out assigned missions. *Land Forces Academy Review*. 2024. Vol. 29, No. 3. P. 340–350. https://doi.org/10.2478/raft-2024-0036.
14. Семененко О., Семененко Л., Сірченко Р., Ярмолчук М., Кострач В. Модернізація системи управління персоналом Збройних Сил України в контексті триваючого воєнного конфлікту з Росією. *Systemy Logistyczne Wojsk*. 2024. Т. 60, № 1. С. 101–116. https://doi.org/10.37055/slw/193852.
15. Świętochowski N. Field artillery in the defensive war of Ukraine 2022–2023 Part I. Combat potential, tasks and tactics. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*. 2023. Т. 210, № 4. С. 341–358. https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.1631.
16. Terzić M. R. Effects of the use of robotized combat systems during the conflict in Ukraine from 24.02.2022. *Baština*. 2024. Т. 62. С. 363–381. https://doi.org/10.5937/bastina34-49656.
17. Wang J., Yang P., Yan P. Evaluation of mission effectiveness for dynamic kill network. *Operational Research*. 2025. Т. 25, № 4. https://doi.org/10.1007/s12351-025-00983-5.
18. Залужний В. Системи управління військами та озброєнням: тенденції розвитку в умовах сучасних збройних конфліктів. *Електронне моделювання*. 2025. Т. 47, № 2. С. 67–80. https://doi.org/10.15407/emodel.47.02.067.
19. Жежерун Ю., Запорожець С., Походенко А., Пінчук А., Міщенко Р., Паращенко Т. Особливості державного фінансування озброєння та військової техніки Збройних Сил України в умовах воєнного стану. *Випробування і сертифікація*. 2023. Т. 1, № 1. С. 80–92. https://doi.org/10.37701/ts.01.2023.11.
20. Žnidaršič V., Petrovski A., Radovanović M. Characteristics of contemporary combat operations in urban areas. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference GEOBALCANICA 2023*. 2023. P. 149–158. https://doi.org/10.18509/GBP23149zh.

References

1. Bondarovych, O. P., & Denysiuk, O. V. (2025). Methodological support of the educational and training process of cadets of the National Academy of the Security Service of Ukraine in hand-to-hand combat. *Naukovyi zhurnal Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriia 15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (Fizychna kultura i sport)*, 1(186), 29–36. https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2025.01(186).05
2. Felde, R. M. zum. (2023). Lieutenant Colonel Amos C. Fox: Reflections on Russia's 2022 invasion of Ukraine – *Combined Arms Warfare, the Battalion Tactical Group and Wars in a Fishbowl. SIRIUS – Zeitschrift für Strategische Analysen*, 7(1), 92–95. https://doi.org/10.1515/sirius-2023-1012
3. Filonenko, L. (2025). Theoretical aspects of studying the psychological foundations of readiness of the Armed Forces of Ukraine servicemen to perform combat missions. *Personality and Environmental Issues*, 4(1), 16–21. https://doi.org/10.31652/2786-6033-2025-4(1)-16-21
4. Frankova, I., Klochkov, V., Pyvovarenko, M., Hukovskyy, O., Zohar, J., & Vermetten, E. (2025). Psychological resilience in trench warfare: Leveraging mental-health frameworks for Ukrainian soldiers. *Neuroscience Applied*, 4, Article 105528. https://doi.org/10.1016/j.nsa.2025.105528
5. Hretskykh, O. V., & Melnyk, S. V. (2022). Law on weapons in Ukraine: Military necessity or demand of the time? *Analitychna ta porivnialno-pravova iurysprudentsiia*, 3, 250–253. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2022.03.45
6. Ibrahim, F., Feildboy, E., Nagy, D., Huber, Y., Hennig, J., & Herzberg, P. Y. (2024). Predicting closed-quarters-battle capability: Examining the influence of personality, attentional ability, 2D:4D ratio and mindfulness on tactical performance. *Military Psychology*, 1–12. https://doi.org/10.1080/08995605.2024.2430578

7. Kaddina, I. F., Lopaieva, O. M., & Karpenko, O. M. (2025). Development of psychological resilience during firearms training under martial-law conditions. *Analitychna ta porivnialno-pravova iurysprudentsiia*, 3(4), 212–216. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.04.3.30
8. Lawry, L. L., et al. (2025). Qualitative assessment of combat-related injury patterns and injury prevention in Ukraine since the Russian invasion. *BMJ Military Health.* https://doi.org/10.1136/military-2024-002863
9. Lopaieva, O. M., & Karpenko, O. M. (2025). Psychological preparation for shooting under combat-stress conditions. *Analitychna ta porivnialno-pravova iurysprudentsiia*, 3(4), 243–246. https://doi.org/10.24144/2788-6018.2025.04.3.36
10. Murugaiyan, S., Ruthwik, M. S., Gatta, A., & Bellam, K. (2024). An enhanced weapon-detection system using deep learning. *2nd International Conference on Networking and Communications (ICNWC).* https://doi.org/10.1109/ICNWC60771.2024.10537568
11. Odierov, A., Tkachuk, O., Romaniv, I., et al. (2025). Studying the level of combat readiness of servicemen during the experiment. *Naukovyi zhurnal Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriia 15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (Fizychna kultura i sport)*, 4(190), 114–120. https://doi.org/10.31392/udu-nc.series15.2025.04(190).23
12. Oleksenko, O., Huk, O., Snitsarenko, V., Ikaiev, D., & Snitsarenko, O. (2025). Main features of the combat use of unmanned aerial vehicles by the Armed Forces of the Russian Federation against Ukraine in 2024. *Vyprobuvannia i sertyfikatsiia*, 2(8), 57–63. https://doi.org/10.37701/ts.08.2025.06
13. Popescu, S. (2024). Infantry weapon systems used by special operations forces to carry out assigned missions. *Land Forces Academy Review*, 29(3), 340–350. https://doi.org/10.2478/raft-2024-0036
14. Semenenko, O., Semenenko, L., Sirchenko, R., & Yarmolchuk, M. (2024). Modernization of the personnel-management system of the Armed Forces of Ukraine in the context of the ongoing military conflict with Russia. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 60(1), 101–116. https://doi.org/10.37055/slw/193852
15. Świętochowski, N. (2023). Field artillery in the defensive war of Ukraine 2022–2023 Part I: Combat potential, tasks and tactics. *Scientific Journal of the Military University of Land Forces*, 210(4), 341–358. https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.1631
16. Terzić, M. R. (2024). Effects of the use of robotized combat systems during the conflict in Ukraine from 24 February 2022. *Baština*, 62, 363–381. https://doi.org/10.5937/bastina34-49656
17. Wang, J., Yang, P., & Yan, P. (2025). Evaluation of mission effectiveness for dynamic kill network. *Operational Research*, 25(4). https://doi.org/10.1007/s12351-025-00983-5
18. Zaluzhnyi, V. (2025). Command-and-control systems and armament: Development trends under modern armed conflicts. *Elektronne Modeliuvannia*, 47(2), 67–80. https://doi.org/10.15407/emodel.47.02.067
19. Zhezherun, Yu., Zaporozhets, S., Pokhodenko, A., Pinchuk, A., Mishchenko, R., & Parashchenko, T. (2023). Features of state financing of armaments and military equipment of the Armed Forces of Ukraine under martial law. *Vyprobuvannia i sertyfikatsiia*, 1(1), 80–92. https://doi.org/10.37701/ts.01.2023.11
20. Žnidaršič, V., Petrovski, A., & Radovanović, M. (2023). Characteristics of contemporary combat operations in urban areas. *Proceedings of the 9th International Scientific Conference GEOBALCANICA 2023*, 149–158. https://doi.org/10.18509/GBP23149zh

Удосконалена модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України з дотримання процедури пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої автобронетанкової техніки

An Improved Model of the Actions of the Repair Units of the National Guard of Ukraine Following the Procedure for the Search, Evacuation, and Repair of Damaged Automotive and Armored Vehicles

Ярослав Павлов
кандидат педагогічних наук, доцент, начальник навчально-наукового інституту логістики, e-mail: palych.yaroslav@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0852-5659

Yaroslav Pavlov
PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational and Research Institute of Logistics, e-mail: palych.yaroslav@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0852-5659

Національна академія Національної гвардії України, м. Київ, Україна

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2025 | Revised: October 20, 2025 | Accepted: October 31, 2025

UDC 623.442:004.9:620.179+53.082

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.8

Мета роботи. Розроблення удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка забезпечує замкнений цикл пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої автобронетанкової техніки в умовах ведення бойових дій шляхом інтеграції даних повітряної та наземної технічної розвідки, цифрових двійників зразків техніки, баз даних технічного стану й програмних засобів системи підтримки прийняття рішень.

Метод дослідження. Системний підхід.

Результати дослідження. Розроблено формалізовану модель дій ремонтних підрозділів, у якій кожен модуль (дія засобів безпілотних літальних апаратів, групи технічної розвідки, органу управління, евакуаційних та ремонтних підрозділів) представлено у вигляді інформаційного об'єкта з власними входами, виходами та алгоритмами взаємодії. Взаємодія між модулями описується функцією придатності $S_{(x,y,t)}$, яка визначає доцільність виконання певних дій у конкретній точці простору та часу, з урахуванням ризиків $R_{(x,y)}$, доступності місцевості $A_{(x,y,t)}$ і ймовірності знаходження пошкодженої техніки $P_{(x,y)}$.

Теоретична цінність дослідження. Теоретична цінність полягає у формалізації процесів технічного забезпечення військ на основі системного підходу та побудови удосконаленої моделі, яка поєднує функції пошуку, евакуації та ремонту в єдиному контурі управління. Розроблена удосконалена модель розширює існуючі уявлення про динамічну взаємодію повітряних і наземних підсистем технічної розвідки, вводить критерії придатності та транспортабельності пошкодженої техніки у кількісній формі та закладає підґрунтя для подальшої цифрової трансформації системи технічного забезпечення.

Оригінальність/Цінність дослідження. Оригінальність роботи полягає у створенні цілісної інтегрованої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка вперше поєднує математичне моделювання, технологію "цифрового двійника", імовірнісні методи оцінювання стану техніки та алгоритми оптимізації маршрутів. Цінність дослідження визначається його практичною спрямованістю – можливістю використання удосконаленої моделі для автоматизації процесів управління діями ремонтно-евакуаційних органів у бойових умовах та підвищення рівня живучості військових формувань.

Тип статті. Дослідницька.

Purpose. To develop an advanced model of the actions of the repair units of the National Guard of Ukraine, which ensures a closed cycle of search, evacuation, and repair of damaged armored vehicles under combat conditions through the integration of data from aerial and ground technical reconnaissance, digital twins of vehicle samples, databases of technical condition, and decision support software tools.

Method. A system approach.

Findings. Within the framework of the study, a formalized model of the actions of repair units was developed, in which each module (unmanned aerial vehicles, technical reconnaissance groups, command and control body, evacuation and repair units) is represented as an information object with its own inputs, outputs, and interaction algorithms. The interaction between modules is described by the suitability function $S_{(x,y,t)}$, which determines the expediency of performing certain actions at a specific point in space and time, taking into account risk $R_{(x,y)}$, terrain accessibility $A_{(x,y,t)}$, and the probability of locating damaged equipment $P_{(x,y)}$.

Theoretical value of the study. The theoretical value lies in the formalization of technical support processes for military operations based on a system approach and the construction of an advanced model that integrates the functions of search, evacuation, and repair within a single control loop. The developed model expands existing concepts of dynamic interaction between aerial and ground reconnaissance subsystems, introduces quantitative criteria for the suitability and transportability of damaged vehicles, and provides a foundation for the digital transformation of technical support systems.

Originality / Research value. The originality of the study lies in the creation of a comprehensive integrated model of the actions of the repair units of the National Guard of Ukraine, which for the first time combines mathematical modeling, digital twin technology, probabilistic assessment methods of vehicle condition, and route optimization algorithms. The research value is determined by its practical orientation — the possibility of using the developed model for automation of repair-evacuation management processes under combat conditions and for increasing the survivability level of military formations.

Paper type. Research article.

Ключові слова: автобронетанкова техніка, індекс боєздатності, бойові пошкодження, кінцевий елемент заміни, технічний стан, верифікація результатів, безпілотний літальний апарат, цифровий двійник, кінцевий елемент заміни.

Key words: armored vehicles; combat damage; operational readiness index; replaceable end element; technical condition; verification of results; unmanned aerial vehicle (UAV); digital twin; decision support system; repair and evacuation units.

Вступ

Сучасні бойові дії характеризуються значними втратами автобронетанкової техніки (АБТТ), що висуває підвищені вимоги до організації її пошуку та відновлення в польових умовах [1, 2]. Ефективне застосування ремонтних підрозділів вимагає науково обґрунтованої моделі їхніх дій, яка повинна інтегрувати сучасні технології (дистанційного виявлення за допомогою безпілотних літальних апаратів (БпЛА), автоматизованих систем управління, цифрових баз даних) із усталеною процедурою технічної розвідки, евакуації та ремонту техніки. На основі сучасних методів пошуку пошкоджених зразків АБТТ та концепції електронного документообігу, обліку і ранжування за рівнем пошкоджень потрібно сформувати модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України при бойових пошкодженнях техніки. Ця модель повинна забезпечувати повний замкнений цикл: виявлення – ідентифікація – оцінка стану – визначення придатності – аналіз – прийняття рішення – евакуація – ремонт – оновлення бази даних.

Теоретичні основи дослідження

Проведений аналіз наукових, нормативних та методичних джерел свідчить, що проблема забезпечення своєчасного пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ залишається недостатньо вирішеною як у теоретичному, так і в практичному аспектах. Наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів [1–6] заклали методологічні засади для організації технічного забезпечення, проте їх фокус здебільшого обмежувався загальними питаннями оптимізації або оцінювання ефективності функціонування систем, без врахування особливостей бойового середовища та динамічного характеру управління ремонтними органами.

Аналіз сучасних стандартів і доктрин [7–12] показав, що вони визначають загальні принципи логістичної підтримки та цифрової трансформації управління, проте не містять методик інтеграції даних від безпілотних систем, груп технічної розвідки та ремонтних підрозділів у єдиній системі підтримки прийняття рішень. Внаслідок цього в практиці організації технічного забезпечення спостерігається розрив між етапами пошуку, евакуації й ремонту, що унеможливлює побудову замкненого управлінського циклу «виявлення – оцінювання – аналіз – відновлення».

Окремі роботи українських дослідників, зокрема Сівака В. А. [2; 3; 13], спрямовані на підвищення ефективності технічного забезпечення в підрозділах Національної гвардії України. Це досягається у спробі формалізувати процес пошуку пошкодженої техніки й впровадженні електронного обліку пошкоджень та їх ранжування. Однак і ці дослідження лише початкова ланка в побудови цілісної моделі дій: не розкрито уніфіковану структуру взаємодії повітряних і наземних компонент, а також проведена недостатня деталізація процесів автоматизованого прийняття рішень щодо евакуації чи ремонту.

Аналіз нормативних документів [12, 14, 15] показав, що увага зосереджені на організаційно-технічних питаннях дій ремонтних підрозділів і не враховують можливостей використання сучасних інформаційних технологій — використання систем управління баз даних, алгоритмів прогнозування технічного стану чи обчислювальних систем підтримки прийняття рішень. У результаті фактичне управління ремонтно-евакуаційними заходами часто здійснюється у напівавтоматизованому режимі, що призводить до втрат часу, дублювання інформації та підвищення ризику помилок у визначенні пріоритетів відновлення техніки.

Отже, проведений аналіз показав, що наявна сукупність наукових рішень створює лише теоретичне підґрунтя, але не формує цілісної моделі дій ремонтних підрозділів у бойових умовах. Відсутній механізм інтеграції розвідувальних і технічних даних у єдиний інформаційний простір, здатний забезпечити автоматичне оновлення інформації, формування пріоритетів евакуації та оптимізацію ресурсів. Це зумовлює необхідність розроблення

удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка забезпечить повний замкнений цикл від виявлення пошкодженої техніки до її повернення у стрій, із використанням технологій багатоджерельної розвідки, цифрових двійників та обчислювальних систем підтримки прийняття рішень.

Таким чином, проведення подальшого дослідження є доцільним і своєчасним, оскільки воно спрямоване на вирішення існуючого науково-прикладного протиріччя між традиційними методами організації ремонтно-евакуаційних заходів і сучасними вимогами до високотехнологічного, адаптивного технічного забезпечення військ у бойових умовах.

Постановка проблеми

Актуальною науковою проблемою є розроблення удосконаленої моделі дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України, яка б реалізовувала замкнений цикл пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ на основі інтеграції даних повітряної і наземної розвідки, автоматизованої системи управління та підтримки прийняття рішень. Розв’язання цієї проблеми дозволить забезпечити скорочення часу на відновлення пошкодженої техніки, підвищити стійкість системи технічного забезпечення та збільшити частку зразків АБТТ, оперативно повернутих до строю.

Результати

Структура і взаємодія модулів моделі. Концептуальна структура удосконаленої моделі (рис. 1) включає 6 взаємопов’язаних модулів, що відповідають ключовим елементам процесу, який досліджується: управління (штаб), розвідки за допомогою БпЛА, розвідки за допомогою груп технічної розвідки ГТхР, дії підрозділів евакуації та ремонтних підрозділів, центральною ланкою виступає обчислювальний компонент – модуль підтримки прийняття рішень, в якому знаходиться база даних. Усі модулі поєднані захищеними цифровими каналами зв’язку, що забезпечують оперативний обмін даними в режимі реального часу. На рис. 1 наведено інформаційні зв’язки між модулями: від БпЛА та ГТхР до штабу й обчислювального компоненту, а далі – до виконавців евакуаційно-ремонтних заходів та зворотній зв’язок.

Пошук і виявлення. На початковому етапі реалізується інтегрований пошук пошкодженої техніки силами повітряної та наземної розвідки. Безпілотні апарати ведуть спостереження з повітря одночасно і узгоджено з діями груп технічної розвідки на землі [3, 16]. На відміну від суто наземного пошуку, застосування БпЛА дає змогу здійснювати пошук цілодобово та за будь-яких погодних умов [16]. Після отримання наказу на проведення пошуково-рятувальної операції, визначається ймовірнісний район пошуку – множина точок, де функція придатності $S_{(x,y,t)} > 0$. Ця функція розраховується на основі апріорної ймовірності знаходження техніки $P_{(x,y,t)}$, показника доступності місцевості $A_{(x,y,t)}$ та інтегрального ризику у точці $R_{(x,y,t)}$. На підготовчому етапі також забезпечується планування оптимальних маршрутів для БпЛА і ГТхР з урахуванням таких критеріїв, як максимізація площі покриття, мінімізація ризику для БпЛА, умова прохідності місцевості і безпеки для наземних груп [4, 5]. Налагоджується система зв’язку: визначаються канали передачі даних, встановлюються ретранслятори, дублюються телеметричні потоки на випадок перешкод. Після завершення підготовки сили повітряної і наземної розвідки одночасно виходять у заданий район та розпочинають пошук (початок безпосереднього етапу пошуку).

БпЛА рухається по визначеному маршруту над зоною пошуку (див. рис. 1, модуль БпЛА, блок 2.1), використовуючи різноманітні сенсори (електрооптичні камери, тепловізори, інфрачервоні та радіолокаційні канали) для виявлення пошкодженої техніки. Отримані дані передаються на бортовий модуль обробки, де в реальному часі виконується первинна автоматична ідентифікація об’єктів із застосуванням алгоритмів штучного інтелекту.

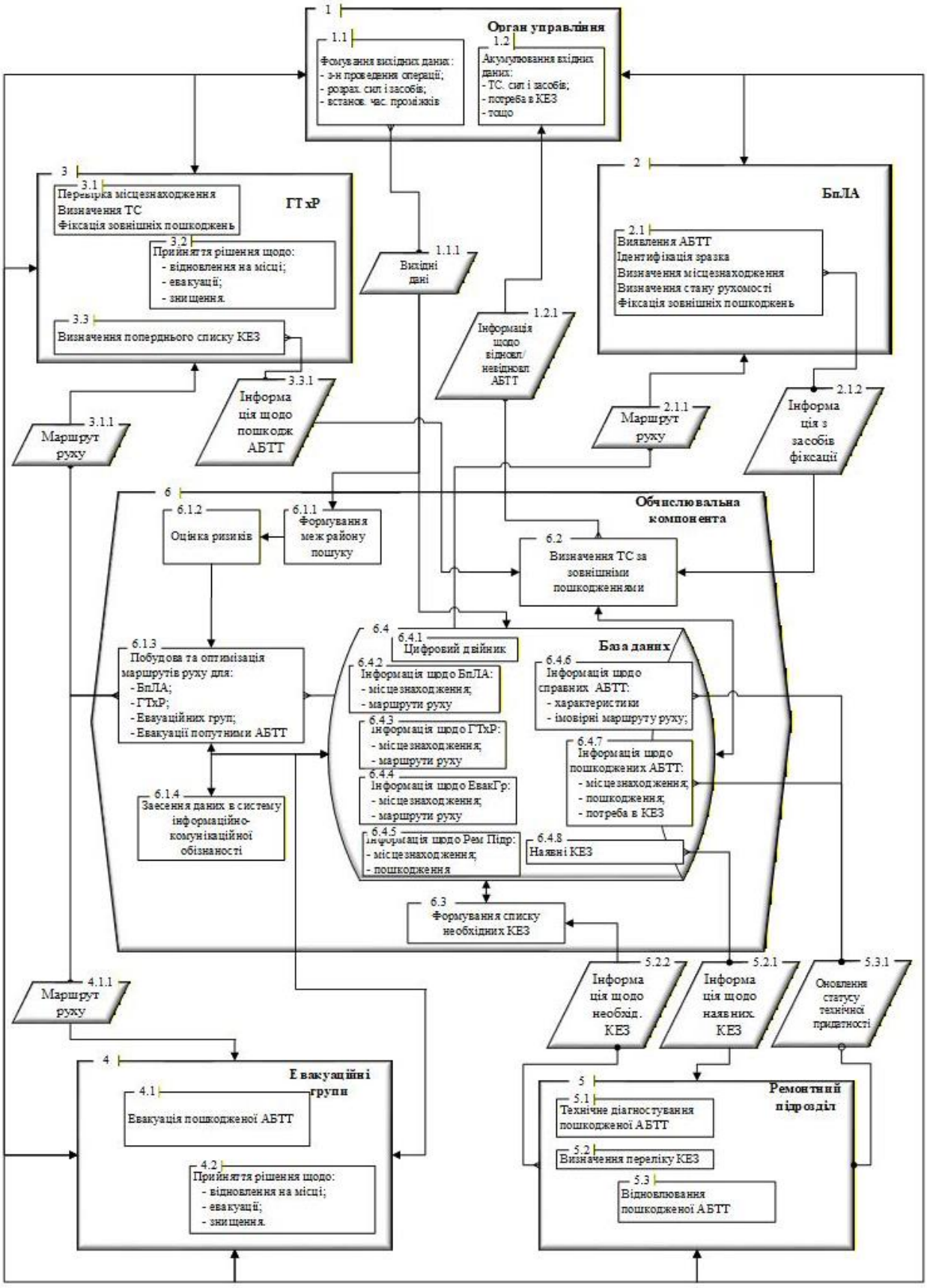


Рисунок 1 – Модель дій ремонтних підрозділів НГУ з дотримання процедури пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ

Джерело: розроблено автором у Visio

Зокрема, запропоновано використовувати одноетапні нейромережеві моделі (наприклад, сімейство YOLO), адаптовані до умов рухомої платформи БпЛА [17]. Для підвищення надійності виявлення цілей застосовано критерій Неймана-Пірсона. При роботі технічної розвідки з використанням БпЛА наслідки пропуску цілі є більш критичними, тому поріг спрацювання налаштовується так, щоб ймовірність хибної тривоги F не перевищувала заданого рівня α, мінімізуючи при цьому ймовірність пропуску цілі D [18]. Спираючись на досвід фахівців, граничний рівень пропуску пошкодженої техніки β рекомендовано встановити в межах 1–5%, а рівень хибної тривоги α – 5–10%. Такий баланс чутливості та селективності забезпечує максимально повну картину втрат техніки на полі бою, мінімізуючи імовірність пропустити пошкоджений зразок. Після початкового виявлення БпЛА переходить до стадії детальної ідентифікації – визначення класу, типу і, за можливості, моделі техніки [19]. На цьому етапі реалізується комбінований підхід: нейромережеві алгоритми високоточно класифікують об’єкт, тоді як класичні методи обробки зображень використовуються для оцінки просторового положення та інших допоміжних задач [19]. Одночасно для рухомих об’єктів обчислюються параметри її траєкторії (швидкість, напрямок тощо) з використанням рекурсивних фільтрів (наприклад, фільтра Калмана) [20]. Якщо об’єкт нерухомий виконується високоточна геоприв’язка із врахуванням похибок навігації [20]. На виході повітряна компонента видає уточнені координати виявленого об’єкта та зображення для подальшого аналізу.

Паралельно свою роботу ведуть групи технічної розвідки на землі (модуль 3). Ще на етапі планування вони займають вихідні позиції спостереження. В обчислювальному компоненті (модуль 6) визначаються основні та резервні маршрути руху з урахуванням мінно-вибухових загроз, радіаційного, хімічного та бактеріологічного зараження та прохідності місцевості. Якщо додатково від БпЛА надходить повідомлення про виявлення пошкодженого об’єкта, маршрут руху наземної групи коректується та вона висувається до зазначеного місця (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.1) для його безпосереднього підтвердження та детального огляду (контактна розвідка). Після прибуття на місце ГТхР здійснює верифікацію цілі (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.2), уточнення координат та стану зразка АБТТ. В ході експрес-діагностики перевіряються основні вузли: силова установка, ходова частина, системи керування; фіксуються видимі пошкодження, а також наявність вибухонебезпечних предметів чи загрози РХБ-зараження [14]. Критично важливо на цьому етапі встановити, чи не трапилося повне знищення (“зруйнованість”) техніки, за якого відновлення неможливе. У рамках запропонованої моделі “зруйнованість” визначається як повна непридатність зразка до відновлення – втрата несучих елементів конструкції, вибухове руйнування або глибоке вигоряння корпусу. Якщо наземна розвідка підтверджує ознаки повної “зруйнованості” або не може достеменно оцінити стан через обмежений доступ, зразок класифікується як безповоротно втрачений. У такому випадку виконується протокол документування, тобто фіксуються координати та факт знищення, після чого об’єкт виключається зі списку кандидатів на евакуацію. Достовірність і швидкість прийняття такого рішення надзвичайно важливі, адже зайве витрачання ресурсів на безнадійно знищену техніку знижує ефективність роботи ремонтних органів.

Натомість, якщо “зруйнованість” не підтверджено, модель переходить до оцінки ступеня транспортабельності пошкодженого зразка (рис. 1, модуль ГТхР, блок 3.2, сценарій придатний до евакуації). З цією метою використовується імовірнісна модель на основі логістичної регресії [6]. В якості вхідних параметрів розглядається вектор ознак *z*, що характеризує технічний стан рухомих елементів: величини кліренсу та пошкодження ходової частини, температурний контур силового блоку, наявність витоків робочих рідин тощо. Визначений вектор ваг *w* моделі логістичної регресії дає оцінку ймовірності того, що зразок можна відбуксирувати або даний зразок може рухатися своїм ходом [21]. Паралельно наземні

фахівці здійснюють стандартизовану фіксацію характеру і ступеня видимих пошкоджень. Кожен виявлений дефект класифікується за належністю до одного з основних функціональних вузлів машини та оцінюється за уніфікованою шкалою категорій A, B, C, D (від незначних до критичних). Запровадження таких уніфікованих шкал відповідає стандартам НАТО і дозволяє кількісно порівнювати ступінь пошкоджень різних зразків. Зокрема, в публікації USMC MCRP 3-40E.1 запропоновано типові критерії для віднесення пошкоджень до категорій A–D, які використано у даній моделі [14]. Результати документування – перелік пошкоджених компонентів із вказанням їх категорій – формують первинний "профіль пошкоджень" конкретного зразка, що в подальшому використовується для його ранжування за станом та пріоритезації ремонту.

Важливо підкреслити, що скорочення часу між моментом ураження техніки та її виявленням суттєво впливає на успішність подальшого відновлення. Як зазначено у роботі [13], зменшення часу на виявлення підвищує ймовірність успішного повернення машини до строю, оскільки скорочується період, протягом якого пошкоджений зразок перебуває під вогневим контролем противника. Запропонований в цій роботі підхід, що поєднує повітряну розвідку з наземною, дозволяє мінімізувати цей проміжок часу. Це узгоджується з сучасними тенденціями організації технічної розвідки та ремонтно-евакуаційних заходів, де підхід до єдиного конвеєра "пошук–евакуація–ремонт" розглядається як найбільш ефективний. Зокрема, в роботі [16] наведено алгоритм взаємопов'язаних процедур пошуку, евакуації та ремонту, що є базою для побудові цей моделі (рис. 1).

Прийняття рішення і виконання евакуаційно-ремонтних заходів. Після того, як пошкоджений зразок техніки виявлено, ідентифіковано та оцінено його технічний стан (згідно з описаними вище процедурами), обчислювальний модуль синтезує декілька можливих сценаріїв подальших дій. На цьому етапі в центральну базу даних надходить уся зібрана інформація про об'єкт: координати, час виявлення, тип та модель техніки, підтверджений технічний стан (ступінь пошкодження, транспортабельність), деталізований перелік пошкоджень за вузлами, фото- та відеоматеріали, індикатори ризику, а також актуальні обмеження на транспортування (наприклад, якщо у машини заклинено ходову або зруйновано опору для буксирування). На основі цих даних система підтримки прийняття рішень, використовуючи алгоритм максимізації очікуваної користі (реалізований у попередніх дослідженнях автора), обирає один із трьох основних варіантів дій щодо пошкодженого зразка.

Перший варіант – локальний ремонт на місці. Якщо пошкодження незначні або середні, і техніка може бути відновлена силами ремонтної групи на полі бою (за умови наявності необхідних запасних частин і часу), обирається сценарій оперативного ремонту на місці. У такому разі обчислювальний модуль формує відповідну задачу ремонтному підрозділу (модуль 5) із переліком потрібних матеріалів та запчастин. Наприклад, якщо за результатами огляду визначено, що в машини пошкоджено акумулятор та радіатор, але ходова частина вціліла, доцільно виконати заміну цих кінцевих елементів заміни (КЕЗ) безпосередньо в польових умовах. У центральній базі даних фіксується рішення "ремонт на місці", і до пункту стоянки машини прямує мобільна ремонтна група із необхідним оснащенням.

Другий варіант – евакуація в тил для ремонту. Якщо пошкодження суттєві, або для відновлення потрібні стаціонарні умови (майстерні, підйомно-транспортне обладнання, глибока дефектовка), тоді обирається сценарій евакуації машини до найближчого ремонтного центру чи парку техніки. Даний сценарій також застосовується, коли на місці бойового зіткнення зберігається висока загроза (обстріли, ворожі ДРГ тощо), і проведення тривалого ремонту на місці недоцільне з точки зору ризику. Система підтримки прийняття рішень розраховує раціональний евакуаційний маршрут з урахуванням обмежень для евакуаційної техніки та поточної обстановки. Зокрема, аналізуються "вузькі місця" на маршруті – мости,

круті підйоми, ділянки можливого мінування, – а також часові “вікна” безпеки для проходження небезпечних відрізків (щоб уникнути, наприклад потрапляння під артилерійський вогонь противника). Оптимізація маршруту здійснюється за критерієм мінімізації “еквівалентної довжини” шляху, що включає як геометричну відстань, так і надбавки за ризик та доступність [5]. Евакуація, як правило, здійснюється штатними евакуаційно-ремонтними машинами (наприклад БРЕМ) або іншими тягачами, що придатні для буксирування даного типу техніки. У ході евакуації використовується принцип супроводу колони, за необхідності забезпечується повітряний нагляд БпЛА над колоною, особливо при проходженні критичних ділянок маршруту. Штаб (орган управління) відстежує пересування евакуаційної колони в режимі реального часу на електронної карті місцевості, контролюючи дотримання встановлених обмежень за часом і простором, аби уникнути непередбачених зіткнень з противником. У випадку зміни обстановки (нові загрози на маршруті, погіршення погоди (оновлені шари $R_{(x,y)}$ та $A_{(x,y)}$) тощо) обчислювальний модуль може здійснити динамічне перепланування маршруту в реальному часі. Такий зворотний зв’язок відповідає сучасному принципу “замкненого контуру” управління.

Третій варіант – демонтаж і знищення зразка. Якщо пошкодження техніки критичні, але окремі вузли чи агрегати залишилися цілими і становлять цінність (наприклад, озброєння, прилади спостереження, зв’язку, двигун тощо), необхідно провести демонтаж придатних вузлів на місці з подальшим знищенням даного зразка АБТТ. Рішення про доцільність такого кроку приймає командир ремонтно-відновлюваного органу на основі рекомендацій, які запропоновані обчислювальною компонентою. У разі обрання цього сценарію, на місце висилається спеціальна бригада для швидкого зняття потрібних деталей, після чого зразок АБТТ підривають або іншим чином виводяться з ладу, щоб запобігти їх потраплянню до ворога. У базі даних техніка позначається як утилізована на полі бою.

Після вибору оптимального сценарію дій формується «пакет уточненої інформації» щодо конкретного зразка АБТТ [13]. Це стандартизований електронний запис, що містить усі необхідні дані для виконання рішення: унікальний ідентифікатор машини, її координати і час виявлення, тип і модель, підтверджений ступінь пошкодження (ознака “зруйнованості” та рівень транспортабельності), детальний перелік зафіксованих пошкоджень (за вузлами і категоріями A–D), фотодокази, показники ризику (наприклад, близькість до ворожих позицій чи наявність мінної небезпеки), обмеження для транспортування (якщо є) та рекомендований сценарій дій (ремонт на місці, евакуація або демонтаж). Сформований пакет автоматично реєструється у центральній базі даних (модуль електронного обліку) та одночасно надсилається відповідним виконавцям – командирам ремонтних та евакуаційних підрозділів, які залучені до операції [13]. Для адресної доставки інформації використовується інтегрована система управління боєм на базі геоінформаційної системи (наприклад, в середовищі інформаційно-комунікаційної системи “Дельта”) [22]. Практично це реалізовано у вигляді оновлення відповідних ситуаційних шарів електронної карти: з’являється мітка про знайдений зразок, яка доступна для перегляду ремонтними та евакуаційними групами через захищений застосунок, разом із всіма необхідними деталями щодо стану техніки та затвердженим планом дій [22]. Таким чином досягається прозорість і узгодженість дій.

База даних і зворотний зв’язок. Модель передбачає централізоване накопичення та оброблення даних про всі пошкоджені зразки техніки у вигляді бази цифрових профілів. Кожна одиниця АБТТ представлена в базі унікальним записом (“цифровим двійником”), що містить як постійну інформацію (тип, заводський номер, параметри тощо), так і динамічні поля стану, які оновлюються в ході експлуатації і бойових дій [7, 8]. Зокрема, у таблицях бази даних фіксуються події ушкодження (дата, координати, опис пошкоджень), результати технічної розвідки, рішення щодо евакуації/ремонту, хід виконання робіт, а також поточний статус машини (в строю, в ремонті, знищена тощо). Така система електронного обліку реалізує

концепцію “цифрового двійника” техніки, що поєднує дані від різнорідних джерел у реальному часі та дозволяє здійснювати моніторинг і аналіз стану кожного зразка техніки протягом усього життєвого циклу [9,10]. За рахунок інтеграції даних від БпЛА, ГТхР, екіпажів та технічних сенсорів цифровий профіль машини постійно актуалізується, відображаючи фактичний рівень боєздатності. У бази даних зберігається інформація про ймовірність знаходження пошкодженої техніки $P_{(x,y)}$ у кожній точці пошукового поля та автоматично оновлюється на електронної карті після кожного нового спостереження [23, 24]. Це дозволяє коректно накопичувати докази і поступово уточнювати картину ймовірнісного розподілу техніки на місцевості. В результаті у базі даних будуються тематичні шари ймовірності (P), ризику (R) та доступності (A), які в сукупності визначають функцію придатності $S_{(x,y)}$ для пошуку. На основі актуалізованих шарів система автоматично перевіряє, чи не настали порогові умови для перегляду плану пошуку або маршрутів підрозділів. Наприклад, якщо на якомусь напрямку різко зросли ризики (виявлено активність противника) або навпаки, з’явилися нові дані про можливе місцезнаходження техніки (збільшилось $P_{(x,y)}$), система може запропонувати перегрупувати пошукові зусилля. Таким чином, досягається адаптивність моделі до змін обстановки: за рахунок “замкненого контуру” зворотного зв’язку (спостереження → оновлення даних → рішення → дія), тобто модель автоматично підлаштовується під динаміку бойових дій. Це скорочує середній час підтвердження нових об’єктів та підвищує пропускну здатність всієї системи від пошуку до ремонту.

Після виконання одного з локальних сценаріїв (незалежно від того, був це ремонт на місці, евакуація чи утилізація залишків) інформація про фактичні результати негайно передається до органу управління та зберігається в базі даних. Відповідний командир підтверджує оновлений статус зразка. Наприклад, “евакуйований, прямує в ремонт”, або “відремонтований у полі, повернутий до строю”, або “втрачений безповоротно”. Ці статуси відображаються у цифровій системі, забезпечуючи прозорість подальшого контролю і аналізу. Завершальна фаза передбачає узгодження підсумкового звіту зі штабом та передачу даних до аналітичних підсистем для накопичення статистики. Підрозділи, що брали участь у пошуку та евакуації, після виконання завдань або повертаються до пунктів постійної дислокації для проведення регламентних робіт, або (за потреби) перенаправляються в нові райони пошуку, визначені оновленою ймовірнісною картою в базі даних. Таким чином модель функціонує циклічно: кожен знайдений зразок проходить повний цикл від виявлення до завершення відновлювальних заходів, після чого ресурси переключаються на наступні об’єкти.

Наукова новизна та практична значущість моделі. Запропонована модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України вперше об’єднує в єдиний інформаційний контур усі стадії поводження з пошкодженою технікою – від пошуку до завершення ремонту – на основі сучасних інформаційних технологій. Наукова новизна полягає у комплексному поєднанні методів багатоагентної розвідки, цифрового моделювання та оптимізаційного управління ресурсами. Зокрема, розроблено і використано формальні критерії для ключових рішень: критерій незворотної “зруйнованості” зразка (усуває суб’єктивність при визначенні, чи підлягає техніка відновленню), імовірнісна модель оцінки транспортабельності (кількісно визначає, чи можна евакуювати зразок своїм ходом або буксируванням), алгоритми багатокритеріальної оптимізації маршрутів (мінімізують ризики та час евакуації) та процедури ранжування пошкоджень за критичністю (дозволяють об’єктивно пріоритезувати черговість ремонту) [25, 26]. Модель забезпечує відтворюваність і масштабованість процесів. Всі рішення приймаються на базі чітких математичних виразів і актуальних даних, що дозволяє адаптувати модель до різних умов бою або типів техніки без втрати ефективності [25]. Інтеграція повітряної і наземної розвідки, автоматизованих систем управління та електронної бази даних гарантує цілісність інформаційного поля, коли кожен учасник процесу оперує єдиною

достовірною інформацією в реальному часі. Це, своєю чергою, мінімізує затримки у прийнятті рішень і виключає дублювання чи втрату даних.

Практична значущість моделі підтверджується тим, що її впровадження дозволяє значно скоротити час від моменту виявлення пошкодженого зразка після бойового зіткнення до його повернення в стрій [15], а отже – зменшити втрати бойового потенціалу підрозділів. За рахунок оптимізації маршрутів та дій знижуються ризики для особового складу (менша ймовірність потрапити під удар при евакуації) та раціональніше використовуються ресурси ремонтно-евакуаційних органів [11, 12]. У підсумку, застосування даної моделі сприятиме підвищенню стійкості угруповань військ, тобто більше одиниць техніки буде оперативно повернуто до боєздатного стану, менше машин буде втрачено назавжди, а особовий склад ремонтних підрозділів виконуватиме завдання більш безпечно і злагоджено. Модель повністю узгоджується з останніми науковими розробками і рекомендаціями Національної гвардії України щодо технічного забезпечення в бою [25, 27], що підтверджує її актуальність і прикладну цінність.

Висновки

Таким чином, запропонована модель дій ремонтних підрозділів Національної гвардії України з пошуку, евакуації та ремонту пошкодженої АБТТ демонструє новий рівень інтеграції інформаційних технологій у практику технічного забезпечення військ. Наукове значення моделі полягає в формалізації та оптимізації всіх етапів процесу відновлення техніки в бойових умовах, а практичний ефект – у мінімізації часу і витрат на повернення техніки в стрій при максимальному збереженні життя особового складу. Модель забезпечує адаптивність системи ремонтно-евакуаційних заходів до динаміки бою, підвищує ефективність використання наявних сил і засобів та сприяє збереженню бойового потенціалу підрозділів Національної гвардії України. Впровадження таких підходів в органи логістики та технічного забезпечення дозволить формуванням Національної гвардії України оперативніше реагувати на втрати техніки і підтримувати високий рівень боєздатності навіть в умовах інтенсивних бойових дій.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Горбулін В. П. Воєнна безпека України у XXI столітті: виклики та пріоритети. Київ : НІСД, 2019. 312 с.
2. Павлов Я. В. Методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення автобронетанкової техніки Національної гвардії України. Честь і закон. 2023. № 3(86). С. 110–115.
3. Павлов Я. В., Сівак В. А. Комплексний підхід до планування пошукових дій пошкодженої автобронетанкової техніки в умовах проведення бойових дій. Честь і закон. 2024. № 2(92). С. 68–79.
4. Miettinen K. Nonlinear Multiobjective Optimization. New York : Springer, 1998. 298 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5563-6.
5. Bertsekas D. P. Dynamic Programming and Optimal Control. 4th ed. Belmont (MA) : Athena Scientific, 2017. 544 p.

6. Hosmer D. W., Lemeshow S., Sturdivant R. X. Applied Logistic Regression. 3rd ed. Hoboken, NJ : Wiley, 2013. 528 p.
7. ISO 23247-1:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles. Geneva : ISO, 2021.
8. ISO 23247-2:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture. Geneva : ISO, 2021.
9. ISO 23247-3:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 3: Digital representation of manufacturing elements. Geneva : ISO, 2021.
10. ISO 23247-4:2021. Automation systems and integration — Digital Twin framework for manufacturing — Part 4: Information exchange. Geneva : ISO, 2021.
11. Міністерство оборони України. Настанова з технічного забезпечення бойових дій Сухопутних військ (НТЗ-2022). Київ : Міноборони України, 2022. 112 с.
12. Міністерство оборони України. Керівництво з організації ремонту та евакуації озброєння і військової техніки у з'єднаннях і частинах. Київ : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2021. 86 с.
13. Павлов Я. В. Методичні підходи до розроблення моделі електронного обліку і ранжування за рівнем отриманих пошкоджень зразків АБТТ. Честь і закон. 2025. Т. 3(94). С. 78–89.
14. United States Marine Corps. Battle Damage Assessment and Repair (BDAR) for Ground Combat Equipment. MCRP 3-40E.1. Washington, DC : USMC, 2025. 214 p.
15. Практичне керівництво до дій ремонтних підрозділів НГУ в бойових умовах. Харків : НА НГУ, 2021. 48 с. (внутрішнє видання).
16. Павлов Я. В. Алгоритми дій ремонтних підрозділів з відновлення автобронетанкової техніки в умовах ведення бойових дій. Збірник наукових праць Національної академії НГУ. 2024. Вип. 2(44). С. 115–121. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518.
17. Bochkovskiy A., Wang C.-Y., Liao H.-Y. M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. arXiv:2004.10934, 2020. (дата звернення: 26.10.2025).
18. Neyman J., Pearson E. S. On the Problem of the Most Efficient Tests of Statistical Hypotheses. Phil. Trans. R. Soc. A. 1933. Vol. 231. P. 289–337.
19. Hurt J. A., Bajkowski T. M., Scott G. J., Davis C. H. Evaluation and Analysis of Deep Neural Transformers and CNNs on Modern Remote Sensing Datasets. Proc. IEEE Int. Conf. on Big Data. 2021. P. 4701–4708.
20. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82(1). P. 35–45.
21. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York : Springer, 2006. 738 p.
22. Міністерство оборони України. Інформаційно-комунікаційна система «Дельта». Офіційний вебсайт: https://delta.mil.gov.ua/ (дата звернення: 26.10.2025). Також: NATO ACT. Battlefield Innovation: Ukraine's DELTA System Paves the Way during CWIX. 12.07.2024.
23. Gelman A., Carlin J. B., Stern H. S., Dunson D. B., Vehtari A., Rubin D. B. Bayesian Data Analysis. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2013. 675 p.
24. Bernardo J.-M., Smith A. F. M. Bayesian Theory. New York : Wiley, 1994. 586 p.
25. Іванець Г. В., Горєлишев С. А., Іванець М. Г. Формалізована математична модель оцінки боєздатності військових підрозділів. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. 2020. № 2. С. 51–57.
26. Ivanets H. V. State Emergency Service of Ukraine Units Potential Mission Effectiveness During Emergency Response: Assessment Model. Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. 2017. Вип. 4(29). С. 96–100.
27. Актуальні проблеми технічного забезпечення НГУ у бойових умовах : тези доповідей. Харків : НА НГУ, 2024. 95 с.

References

1. Horbulin, V. P. (2019). *Voienna bezpeka Ukrainy u XXI stolitti: vyklyky ta priorytety* [Military security of Ukraine in the 21st century: Challenges and priorities]. Kyiv: NISS.
2. Pavlov, Ya. V. (2023). Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia systemy vidnovlennia avtobronetankovoi tekhniky Natsionalnoi hvardii Ukrainy [Methodology for assessing the efficiency of the recovery system of armored vehicles of the National Guard of Ukraine]. *Chest i zakon*, 3(86), 110–115.
3. Pavlov, Ya. V., & Sivak, V. A. (2024). Kompleksnyi pidkhid do planuvannia poshukovykh dii poshkodzhenoi avtobronetankovoi tekhniky v umovakh provedennia boiovykh dii [Comprehensive approach to planning search operations for damaged armored vehicles under combat conditions]. *Chest i zakon*, 2(92), 68–79.
4. Miettinen, K. (1998). *Nonlinear multiobjective optimization.* New York: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5563-6.
5. Bertsekas, D. P. (2017). *Dynamic programming and optimal control* (4th ed.). Belmont, MA: Athena Scientific.
6. Hosmer, D. W., Lemeshow, S., & Sturdivant, R. X. (2013). *Applied logistic regression* (3rd ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
7. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-1:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles.* Geneva: ISO.
8. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-2:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture.* Geneva: ISO.
9. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-3:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 3: Digital representation of manufacturing elements.* Geneva: ISO.
10. International Organization for Standardization (ISO). (2021). *ISO 23247-4:2021 — Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 4: Information exchange.* Geneva: ISO.
11. Ministry of Defence of Ukraine. (2022). *Manual on technical support of combat operations of the Land Forces (NTZ-2022).* Kyiv: Ministry of Defence of Ukraine.
12. Ministry of Defence of Ukraine. (2021). *Guidelines for the organization of repair and evacuation of weapons and military equipment in formations and units.* Kyiv: Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.
13. Pavlov, Ya. V. (2025). Metodychni pidkhody do rozroblennia modeli elektronnoho obliku i ranzhuvannia za rivnem otrymanykh poshkodzhen zrazkiv ABTT [Methodical approaches to the development of a model of electronic accounting and ranking by the level of armored vehicle damage]. *Chest i zakon*, 3(94), 78–89.
14. United States Marine Corps. (2025). *Battle Damage Assessment and Repair (BDAR) for Ground Combat Equipment* (MCRP 3-40E.1). Washington, DC: USMC. Retrieved from : https://www.marines.mil
15. Pavlov, Ya. V. (2021). *Praktychne kerivnytstvo do dii remontnykh pidrozdiliv Natsionalnoi hvardii Ukrainy v boiovykh umovakh* [Practical guide for the actions of repair units of the National Guard of Ukraine under combat conditions]. Kharkiv: National Academy of the National Guard of Ukraine. (Internal edition).
16. Pavlov, Ya. V. (2024). Alhorytmy dii remontnykh pidrozdiliv z vidnovlennia avtobronetankovoi tekhniky v umovakh vedenniia boiovykh dii [Algorithms of repair unit actions for restoring armored vehicles under combat conditions]. *Scientific Bulletin of the National Academy of*

the National Guard of Ukraine, 2(44), 115–121. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518.

17. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint* arXiv:2004.10934. Retrieved October 26, 2025, Retrieved from : https://arxiv.org/abs/2004.10934
18. Neyman, J., & Pearson, E. S. (1933). On the problem of the most efficient tests of statistical hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 231, 289–337.
19. Hurt, J. A., Bajkowski, T. M., Scott, G. J., & Davis, C. H. (2021). Evaluation and analysis of deep neural transformers and CNNs on modern remote sensing datasets. *Proceedings of the IEEE International Conference on Big Data*, 4701–4708.
20. Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45.
21. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning.* New York: Springer.
22. Ministry of Defence of Ukraine. (2025). *Information and communication system "Delta".* Retrieved from : https://delta.mil.gov.ua. Also: NATO ACT (2024). Battlefield innovation: Ukraine's DELTA system paves the way during CWIX (July 12, 2024).
23. Gelman, A., Carlin, J. B., Stern, H. S., Dunson, D. B., Vehtari, A., & Rubin, D. B. (2013). *Bayesian data analysis* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
24. Bernardo, J.-M., & Smith, A. F. M. (1994). *Bayesian theory.* New York: Wiley.
25. Ivanets, H. V., Horielyshev, S. A., & Ivanets, M. H. (2020). Formalizovana matematychna model otsinky boiezdatnosti viiskovykh pidrozdiliv [Formalized mathematical model for assessing combat capability of military units]. *Visnyk NTU "KhPI"*, Series: *Mechanical Engineering and CAD Systems*, 2, 51–57.
26. Ivanets, H. V. (2017). State Emergency Service of Ukraine units potential mission effectiveness during emergency response: Assessment model. *Science and Technology of the Air Forces of Ukraine*, 4(29), 96–100.
27. National Academy of the National Guard of Ukraine. (2024). *Actual problems of technical support of the National Guard of Ukraine in combat conditions: Conference abstracts.* Kharkiv: National Academy of the National Guard of Ukraine.

Воєнна розвідка і медіа: межа таємного і публічного під час війни

Military Intelligence and the Media: the Line Between Secret and Public During War

Олександра Марків [A]

Corresponding author: кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри журналістики, e-mail: oleksandra.markiv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5720-650X

Іван Марків [B]

кандидат військових наук, провідний науковий співробітник, e-mail: Ivan-markiv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6286-1162

Oleksandra Markiv [A]

Corresponding author: Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Journalism Department, e-mail: oleksandra.markiv@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5720-650X

Ivan Markiv [B]

Candidate of Military Sciences, Leading Researcher, e-mail: Ivan-markiv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-6286-1162

[A] Український державний університет імені Михайла Драгоманова, м. Київ, Україна

[B] Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна

[A] Ukrainian State Dragomanov University, Kyiv, Ukraine

[B] Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 10, 2025 | Revised: October 20, 2025 | Accepted: October 31, 2025

UDC 355.40:654.197(477)

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.9

Мета роботи. Проаналізувати взаємозв'язок між воєнною розвідкою, інформаційними стратегіями та діяльністю медіа як інструментів впливу у сучасних безпекових комунікаціях. Особливу увагу зосереджено на визначенні межі між правом суспільства на інформацію та необхідністю збереження державної таємниці під час війни.

Метод дослідження. Методи медіааналізу, кейс-стаді, контент-аналізу та елементів порівняльного дослідження.

Результати дослідження. Встановлено, що в сучасному інформаційному просторі воєнна розвідка виступає не лише джерелом стратегічних даних, а й комунікаційним суб'єктом, який формує інформаційну довіру та впливає на сприйняття безпекової політики. Медіа виконують роль посередника між державними структурами і суспільством, забезпечуючи інформаційну підтримку оборонних стратегій та одночасно дотримуючись принципів журналістської етики. Кейс-аналіз показав, що відповідальне висвітлення розвідувальних тем може зміцнювати суспільну єдність і підвищувати репутаційний капітал держави.

Теоретична цінність дослідження. Полягає в концептуалізації воєнної розвідки як комунікаційного діяча в системі сучасних медіа та обґрунтуванні медіааналітики як складника інформаційної безпеки. Запропоновано новий підхід до осмислення взаємодії журналістики, розвідки та громадської довіри в контексті гібридних війн.

Тип статті. Емпірична з елементами аналітичного огляду.

Purpose. To analyze the relationship between military intelligence, information strategies, and media activities as instruments of influence in modern security communications. Particular attention is focused on defining the boundary between the public's right to information and the need to preserve state secrets during wartime.

Method. Methods of media analysis, case studies, content analysis, and elements of comparative research.

Findings. It was found that in the modern information space, military intelligence is not only a source of strategic data, but also a communication entity that shapes information trust and influences the perception of security policy. The media act as intermediaries between state structures and society, providing informational support for defense strategies while adhering to the principles of journalistic ethics. Case analysis has shown that responsible coverage of intelligence topics can strengthen social unity and enhance the state's reputational capital.

Theoretical implications. It consists in conceptualizing military intelligence as a communication actor in the modern media system and substantiating media analytics as a component of information security. A new approach to understanding the interaction between journalism, intelligence, and public trust in the context of hybrid wars is proposed.

Paper type. Empirical with elements of analytical review.

Ключові слова: воєнна розвідка, медіа, інформаційна безпека, журналістика, OSINT, комунікаційні стратегії, гібридна війна.

Key words: military intelligence, media, information security, journalism, OSINT, communication strategies, hybrid warfare.

Вступ

Війна росії проти України істотно посилила значущість питань інформаційної безпеки, комунікацій державних структур і ролі медіа в умовах воєнного стану. Однією з найменш досліджених, але суспільно значущих тем є висвітлення діяльності української розвідки – Головного управління розвідки Міністерства оборони України (ГУР) та Служби зовнішньої розвідки України (СЗР). Адже, публічні заяви розвідників, аналітичні матеріали, коментарі для медіа стають складовою інформаційного фронту, водночас вимагаючи дотримання суворих

обмежень щодо змісту, джерел і способу подання інформації. Проблема полягає у визначенні межі між правом суспільства на доступ до інформації та необхідністю збереження державної таємниці. Відповідно, журналісти, редакції та офіційні структури мають виробити спільні правила комунікації.

Мета дослідження – проаналізувати, як українські медіа висвітлюють діяльність розвідки, які комунікативні й етичні засади при цьому застосовуються, і як забезпечується баланс між відкритістю та безпекою.

Наукова новизна полягає у спробі комплексного осмислення ролі воєнної розвідки як чинника комунікаційного зв'язку між державою, суспільством і медіа в умовах гібридної війни, адже вона проаналізована як **комунікаційний суб'єкт**, що формує публічний дискурс через взаємодію з журналістським середовищем, на відміну від більшості попередніх наукових довідок, де вона розглядається переважно у військово-стратегічному або правовому контексті. Уперше запропоновано підхід, який поєднує елементи медіааналітики та OSINT-методології для дослідження процесів легітимації розвідувальних повідомлень у відкритих медійних просторах. Дослідження також пропонує нове трактування журналістики як складової системи інформаційної оборони держави – не лише як посередника між владою й суспільством, а як активного учасника формування стійкого комунікаційного середовища.

Теоретичні основи дослідження

У статті аналізуються джерела, які тематично зосереджені на ролі розвідки як інструмента влади та участі медіа в процесі її реалізації через оприлюднення інформації. Особлива увага приділяється викликам для журналістів, пов'язаним із маніпуляціями, захистом або забороною публікації даних. Зокрема, В. Черниш (2023) розглядає розвідку як складову державної безпеки: розвідувальні служби здійснюють дії проти інших держав і недержавних суб'єктів за межами країни, а зібрана, оброблена та проаналізована інформація може поширюватися як частина розвідувальної діяльності (Chernysh, 2023). Цікаво також простежити, як така інформація стає доступною в медійних джерелах, а журналістські матеріали, у свою чергу, можуть використовуватися як джерела для розвідки та підготовки рішень на полі бою. Цьому аспектові присвячені дослідження у сфері OSINT. А. Альварес (2023) підкреслює роль OSINT у сучасних розслідуваннях, описує практичні підходи та методики збору й перевірки відкритих джерел (Alvarez, 2023). Л. Шварц (2024) порушує питання ризиків, коли непрофесіонали беруть на себе роль аналізу даних, що раніше належали розвідкам чи професійним аналітикам, наголошуючи на можливості помилок і поширення неправдивої інформації при пріоритеті швидкості над перевіркою (Schwartz, 2022). Аналітичний матеріал "What is OSINT: Open-source intelligence?" зазначає, що деякі автори свідомо маніпулюють OSINT-даними: наприклад, модератори іноді подають знімки одного інциденту з різних ракурсів як окремі події; "туман війни" породжує ненадійність даних як через помилки, так і через навмисні обмани, тож цінність OSINT визначається не кількістю матеріалу, а ретельністю перевірки його достовірності (What is OSINT, 2022). Т. Гайман (2023) пропонує осмислення цифрової війни та динаміки дезінформації, висвітлюючи оперативне застосування OSINT у геополітичних конфліктах (Hayman, 2023). Кореспондент Д. Вольц (2022) підкреслює проблему унормованості діяльності військових журналістів і зазначає, що "соціальні мережі, супутникові знімки, дані мобільних телефонів можуть дати стільки ж інформації, скільки і традиційне шпигунство, але існує дуже мало правил щодо їх використання" (Volz, 2022). С. Чернецька (2022) на Платформі з прав людини описує підходи до журналістської практики й обмежень під час війни (Чернецька, 2022). Д. Леос (2023) відзначає користь OSINT, але звертає увагу на межу між легітимним збором даних та порушенням конфіденційності (Leos, 2023). М. Гойбі (2022), аналізуючи воєнну журналістику, наголошує, що питання правди, упередженості та об'єктивності не можуть бути розглянуті без урахування практики та індивідуальних

особливостей журналіста (Høiby, 2022). Аналітики Інституту масової інформації заявляють, що **в умовах ускладненого доступу журналістів до фронту саме комунікаційники українських угруповань військ забезпечують медіа оперативними зведеннями та зрозумілими поясненнями (Бакар, 2025), тому так важливо, щоб військова пресслужба надавала вчасну та перевірену інформацію.** Дж. Тіган (2025) підкреслює політичні наслідки балансу між прозорістю та оперативною безпекою, закликаючи до етичної верифікації інформації (Teagan, 2025). Йому суголосні І. Ломачинська разом із Б. Ломачинським (Lomachinska I., & Lomachinskyi B. 2023), Є. Борисенко (Borysenko, 2023), які акцентують на значенні медіакультури та медіаграмотності в інформаційній війні. Власне, О. Марків (2018) досліджує інформаційно-психологічні операції в умовах гібридних протистоянь, зазначаючи про вагомі впливи на громадськість (Марків, 2018). Більшість експертів звизнають, що українські медіа під час війни повинні не лише спостерігати, а й активно комунікувати, документувати події та інформувати суспільство для підтримки виживання та стійкості – про це також йдеться в матеріалі Р. Даніленкова (2023) "Чого українські медійники можуть навчити західних" (Даніленков, 2023).

Матеріали та методи

Для досягнення мети дослідження застосовано комплексну методологію, що поєднує кілька підходів кількісного та якісного аналізу.

Вибірка. До аналізу залучено матеріали з різних типів медіаплатформ: національні онлайн-видання, телевізійні новини, регіональні ресурси, аналітичні портали та офіційні Telegram-канали. Така вибірка забезпечила репрезентативність інформаційного поля та дозволила порівняти підходи до висвітлення розвідувальної тематики у різних типах медіа та на різних етапах.

Методологічні підходи: контент-аналіз – кількісний підрахунок і категоризація матеріалів за визначеними параметрами; дискурсивний і рецептивний аналіз – виявлення ключових наративів, образів і моделей сприйняття діяльності воєнної розвідки в медіа; кейс-стаді – аналіз 3–5 показових інформаційних епізодів, у яких медіа висвітлювали або коментували розвідувальні операції, дані OSINT, чи офіційні повідомлення спецслужб.

Параметри контент-аналізу. Оцінювалися такі характеристики публікацій: 1) тематика (оперативна, політична, технологічна, соціальна тощо); 2) тональність (позитивна, нейтральна, критична); 3) наявність технічних деталей (опис систем, методів, технологій); 4) тип джерела інформації (офіційне, анонімне, витік, OSINT); 5) попередження про чутливість контенту (вказівки на державну або військову таємницю, обмеження публікації).

Застосована методологія дозволила поєднати системність кількісного аналізу з глибиною інтерпретації змісту та контекстів медійних повідомлень.

Результати та обговорення

Воєнна розвідка – це система спеціально організованої діяльності держави, спрямована на добування, обробку, аналіз та використання інформації про сили оборони, військово-політичну ситуацію, потенційні загрози та наміри противника. Її ключовим завданням є забезпечення **інформаційної переваги** – здатності ухвалювати стратегічні рішення на основі точних і своєчасних даних (Chernysh, 2023).

У структурі державної безпеки розвідка виступає **елементом стратегічного управління**, який поєднує аналітичну, прогностичну та оперативну функції. Вона забезпечує командування не лише фактами, а й **інтерпретаціями** – тобто моделями дій противника, що мають значення для планування операцій. У сучасному розумінні воєнна розвідка – це не лише добування даних, а й **інформаційно-аналітичне конструювання реальності**, у якому перетинаються технічна й когнітивна складові. Відповідно для розвідників важливі категорії інформації: цілком таємна – дані, розголошення яких може завдати безпосередньої шкоди обороні або

призвести до втрат особового складу; службова (обмеженого доступу) – аналітичні матеріали, операційні оцінки, попередні дані з відкритих або змішаних джерел; відкрита (OSINT) – інформація, отримана з легальних публічних каналів, яка може бути використана у військовій аналітиці без порушення режиму секретності. Проте, в сучасній війні (зокрема російсько-українській) межа між закритими й відкритими даними стає дедалі рухомішою. Є підстави вважати, що значна частина розвідувальної інформації формується на основі OSINT-джерел, у тому числі даних із соціальних мереж, супутникових зображень, журналістських розслідувань. Це актуалізує питання взаємодії розвідки та медіа, де журналіст може стати як партнером у пошуку правди, так і мимовільним агентом витоку.

У сучасній українській реальності **інформаційна війна** є не лише зовнішньою (протистояння російській пропаганді), а й певною мірою **внутрішньою** – боротьбою за інтерпретацію подій, за довіру аудиторії, за визначення того, що можна вважати правдою. Вона має три рівні:

стратегічний – формування образу війни у глобальних медіа;

операційний – інформаційне забезпечення військових рішень і контрпропаганда;

тактичний – щоденна медійна робота журналістів, які балансують між оперативністю та етикою.

Тому журналістика під час збройного конфлікту виконує подвійну функцію: з одного боку, забезпечує право громадськості на інформацію, а з іншого – несе відповідальність за безпеку складових сил оборони. У цьому контексті виникає поняття “відповідальної публічності”, що передбачає саморегуляцію та відмову від оприлюднення матеріалів, здатних завдати шкоди операціям. Теорії публічності та таємниці дозволяють зрозуміти складну динаміку між знанням і владою. У медійному вимірі це означає, що таємність не лише приховує факти, а й створює символічний капітал – довіру до джерела, ореол професіоналізму або, навпаки, підозру у маніпуляції.

У сфері воєнної журналістики та розвідки поняття “таємне” і “публічне” взаємопроникають: те, що вчора було засекречено, сьогодні може стати частиною офіційного наративу, покликаного підтримати моральний дух суспільства. Це явище отримало назву керованої публічності – комунікаційної стратегії, коли держава дозовано відкриває інформацію, зберігаючи контроль над її інтерпретацією. Отже, межа між розвідувальною та медійною інформацією є не статичною, а динамічною – вона змінюється залежно від фази війни, політичного контексту, технологічних можливостей та рівня довіри між Збройними Силами України і суспільством. У цьому процесі формується нова модель інформаційної взаємодії, в якій журналіст і розвідник постають не як опоненти, а як суб’єкти спільного комунікаційного поля, покликані забезпечити безпеку через правду.

У сучасних українських дослідженнях (Інститут масової інформації, “Детектор медіа”, Комісія з журналістської етики) наголошується, що журналістика під час війни має поєднувати принципи прозорості з інформаційною відповідальністю. В Україні правові обмеження встановлюють Закон України “Про державну таємницю”, настанови Збройних Сил України щодо роботи журналістів у зоні бойових дій (Наказ Головнокомандувача Збройних Сил України № 73), а також інституційні комунікаційні протоколи ГУР та СЗР України. Міжнародна практика визначає, що публікація даних, які можуть ідентифікувати військові позиції, техніку чи плани, порушує принцип “не нашкодь”.

Для розуміння, як ці принципи дотримані в медіа проаналізуємо деякі журналістські матеріали; вибірка охоплює офіційні публікації СЗР, ГУР, а також аналітичні та журналістські матеріали від “Детектор медіа”, Інституту масової інформації й Суспільного мовлення. Візьмемо за основу такі параметри: 1) тип джерела (офіційне, аналітичне, журналістське); 2) рівень відкритості інформації; 3) стиль комунікації (інформативний, аналітичний, емоційно-мобілізуючий); 4) присутність етичних або нормативних рамок.

Офіційні комунікації розвідки. Інтерв'ю голови СЗР Олега Іващенка "Після завершення війни за 2-4 роки росія буде технічно готова до нової агресії проти Європи" (Олег Іващенко, 2025) демонструє модель контрольованої відкритості. Подача інформації чітко дозована, уникає конкретних даних, натомість акцентує на стратегічному прогнозуванні. Мовна структура інтерв'ю формує наратив "пильності й готовності", що є складником державної стратегічної комунікації. Інший приклад – аналітична публікація СЗР "Великі інвестиції у хаос" (Великі інвестиції, 2025) розкриває механізми російської інформаційної війни, використовуючи поняття "проксі-медіа" й "інформаційна агресія". Важливо, що розвідка тут виступає не як "таємний" орган, а як аналітичний суб'єкт, який інформує суспільство, формуючи довіру.

Аналітичні медіа та професійні огляди. Матеріали IMI "Як військові пресслужби інформують українські медіа про війну" (Баркар, 2025) показують, як офіційні джерела стають основними постачальниками новин, але за умов суворих обмежень. Публікації "Детектора медіа» (Інформація з відкритих джерел, 2025) наголошують, що інформація з відкритих джерел (OSINT) може бути використана ворогом – отже, журналісти повинні уникати деталізації фото, відео, координат. Тому медіа не лише поширюють новини, а й формують у аудиторії розуміння етичних меж воєнного інформування.

Редакційна етика та самообмеження. Інтерв'ю з головою Суспільного Миколою Чернотицьким "Мовлення під час війни" (Мовлення під час війни, 2024) демонструє, як державні медіа впроваджують політику "відповідальної відкритості": новини мають бути правдивими, але не шкодити обороні. Як бачимо, редакції впроваджують внутрішні фільтри, що обмежують публікацію матеріалів із фронту або з розвідувальних джерел без узгодження з офіційними структурами.

На основі цих досліджень маємо підстави вважати, що: 1) українські медіа формують нову модель комунікації розвідки й суспільства, засновану на довірі та відповідальності; 2) переважає аналітична, а не сенсаційна подача, що відповідає принципам інформаційної безпеки; 3) висвітлення розвідки в українських медіа ґрунтується на етичних самообмеженнях, вироблених під час війни; 4) перспективним напрямом є розвиток OSINT-журналістики, яка потребує чітких стандартів безпеки та верифікації.

А тепер перейдемо до аналізу висвітлення аспектів воєнної розвідки в українському медіапросторі часу війни. Насамперед зауважимо, що межа між таємним і публічним у сучасній воєнній розвідці поступово стає предметом не лише державної, а й медійної політики. Після початку повномасштабної агресії рф у 2022 році інформаційна сфера України набула гібридного характеру, коли розвідка постає не лише джерелом даних, а й активним комунікатором, який через медіа формує стратегічну довіру суспільства, союзників і міжнародної спільноти. Медіа, своєю чергою, опиняються між двома протилежними полюсами – суспільним запитом на відкритість і вимогою державної безпеки до збереження таємниці. У цьому контексті кейс-аналіз публічних епізодів, пов'язаних із висвітленням розвідувальної діяльності, дає можливість виявити типові моделі взаємодії між журналістикою, розвідкою та аудиторією в умовах війни.

Опрацюємо кейс "Висвітлення атак морських дронів у Криму". Зосередимо увагу на операціях 2023 року, оскільки тоді українські морські дрони стали проривом і новини про них спричинювали сильний захопливо-емоційний ефект.

Журналістські матеріали про успішні операції з використання українських морських дронів, які з'являлися у вітчизняних і міжнародних рейтингових виданнях спрацьовували для українського суспільства як підсилення могутності, непохитності та переваги Збройних Сил України у веденні війни. Наведемо деякі з них.

Укрінформ 4 серпня 2023 року об 11.07 (із посиланням на Телеграм-канал російського військового відомства) публікує матеріал "*Морські дрони атакували базу ВМФ у*

Новоросійську, ймовірно, пошкоджений корабель" (у тексті йдеться про пошкодження "екіпажів кораблів "Оленогорский горняк" та "Суворовец", про яке російське відомство замовчує, проте вказано, що деякі російські Телеграм-канали, а також закордонні експерти публікують відео та фото з підбитим десантним кораблем "Оленогорский горняк") (Морські дрони, 2023). У заголовку маємо слово "ймовірно", яке натякає, що інформація потребує перевірки.

Reuters того ж дня, 4 серпня 2023 року, в публікації *"Ukrainian drone disables Russian warship near Russia's Novorossiysk port*" зазначило, що "українське розвідувальне джерело повідомило, що російський десантний корабель "Оленєгорський гірник", на борту якого перебувало близько 100 російських військовослужбовців, був уражений морським дроном, що містив 450 кілограмів тротилу. "В результаті атаки "Оленєгорський гірник" отримав серйозні пошкодження і наразі не може виконувати бойові завдання", – повідомило джерело агентству Reuters, додавши, що операцію провели Служба безпеки України та ВМС. "Усі заяви росії про "відбиту атаку" є фейковими" (Balmforth, 2023). Тут маємо хоча й анонімне, проте покликання на "українське розвідувальне джерело» з прямою цитатою – додає ефекту достовірності.

CNN подало новину вже 6 серпня 2023 року: "*Ukraine may be using drones to amp up its counteroffensive. Here are some of the headlines you should know*". У цій публікації *"Україна може використовувати дрони для посилення своєї контрнаступальної операції. Ось кілька заголовків, про які вам варто знати"*: Україна, схоже, має намір використовувати нове покоління потужних морських дронів проти російських суден... Протягом 24 годин два російські судна – військовий десантний корабель і танкер – були вражені морськими дронами в східній частині Чорного моря. Обидва судна зазнали значних пошкоджень, але залишилися на плаву" (Ukraine may be using drones, 2023). У заголовку є стверджувальна конотація "Україна може використовувати дрони".

Наведені публікації містять посилання на українські розвідувальні джерела, які хоча й зазначаються анонімно, проте надають матеріалу ефекту достовірності та комунікативної вагомості.

Згодом частота публікацій у медіа на таку ж тематику почастішала. А 15 січня 2024 року на сайті Black Sea News знаходимо аналітичний матеріал *"Атаки дронів та ракет українських сил на територію окупованого Криму та російські кораблі в Чорному морі в січні-грудні 2023 року (огляд та база даних)"*, в якому в базі даних знаходимо публікацію з аналізованого приводу від каналу Кримский ветер: "04.08.2023. Акваторія Чорного моря, Чорноморське узбережжя рф, Новоросійська бухта. Близько 5-ї ранку ударом 2 безекіпажних морських дронів атаковано низку об'єктів в акваторії порту Новоросійська (РФ). Пошкоджено великий десантний корабель (ВДК) "Олєнєгорський горняк". Наявна інформація, яка потребує перевірки, про знищення під час атаки протидиверсійного катеру пр. 21980 П-349 "Суворовец". Російська сторона заявила про пошкодження нафтової інфраструктури в Новоросійську, що це не вплинуло на відвантаження нафти на пришвартовані танкери" (Атаки дронів, 2024). Зауважимо, що цей аналітичний огляд містить вагомий перелік назв інших операцій, у текстових описах до деяких трапляються зазначення, що інформація потребує перевірки і підтвердження від українських офіційних структур. І навіть якщо згодом українські офіційні джерела підтвердили лише частину інформації (а це свідчить про **прагнення збалансувати інформаційний ефект і режим секретності), медіа** створили сильний репутаційний ефект, показавши технологічну спроможність української розвідки, але водночас окреслили небезпеку витоку оперативних даних.

На особливу увагу заслуховують інформаційно-психологічні кампанії ГУР у соціальних мережах. Зауважимо тут, що "інформаційно-психологічні операції розглядаються як інструмент, "зброя", технологія, що лише супроводжує бойові дії, гарячі фази збройних

конфліктів або передує їм. У цьому сенсі вони застосовуються переважно для деморалізації і дезорієнтації противника чи, навпаки, зміцненню морального духу населення" (Марків, 2018). У 2024-2025 роках ГУР МО України активно формує власний публічний наратив у Telegram (https://t.me/DIUkraine) та YouTube (https://www.youtube.com/@DI_Ukraine, https://surl.li/fyqpbs), публікуючи відео з диверсійних операцій і звернення до ворога. Вони стали прикладом **психологічних інформаційних операцій**, спрямованих на підрив морального стану противника та консолідацію українського суспільства. Це явище демонструє, як розвідка стає не лише суб'єктом таємної діяльності, а й "актором" **медіапростору війни**, який цілеспрямовано вибудовує образ сили та технологічної переваги.

Висновки

Українські медіа виробили нову модель комунікації між розвідкою, державою й суспільством, що поєднує принципи відкритості та безпеки. Ця модель базується на довірі, дозованій публічності та дотриманні етичних обмежень у воєнний час.

Воєнна розвідка дедалі активніше виступає суб'єктом публічної комунікації, а не лише джерелом закритої інформації. Її офіційні матеріали та аналітичні доповіді формують стратегічні наративи державної безпеки й підсилюють інформаційну стійкість суспільства.

OSINT-журналістика стала легітимним складником воєнного інформування, однак її застосування потребує етичних і правових рамок. Аналіз кейсів (зокрема висвітлення атак морських дронів у Криму) засвідчив, що журналісти використовують відкриті дані обережно – із застереженням щодо достовірності та з урахуванням безпекових ризиків.

Публікації про діяльність української розвідки характеризуються аналітичним, а не сенсаційним підходом. У більшості випадків журналісти уникають прямого розкриття військових даних, натомість акцентують на технологічних досягненнях, моральному аспекті війни та довірі до державних інституцій.

Баланс між таємницею й відкритістю став стрижнем нової воєнної етики українських медіа. Редакції впроваджують самообмеження та погоджувальні процедури з офіційними структурами, формуючи культуру "відповідальної публічності".

Інформаційно-психологічні операції ГУР у соціальних мережах стали елементом сучасної стратегії комунікації: вони не лише деморалізують противника, а й консолідують українську аудиторію, створюючи образ сили та технологічної переваги.

Зміщується роль журналіста – від традиційного посередника до співтворця інформаційної безпеки. Воєнна журналістика в Україні виконує не тільки пізнавальну, а й оборонну функцію, підтримуючи стійкість суспільства до маніпуляцій і дезінформації.

Наукова перспектива дослідження полягає у подальшому вивченні медіа-розвідки як окремого напряму комунікативних студій, де поєднуються журналістика, аналітика даних та стратегічна комунікація держави.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Alvarez A. The OSINT Revolution: Empowering Investigations through Open Source Intelligence. – 2023. – 205p. URL: https://surl.li/nxkgvo
2. Атаки дронів та ракет українських сил на територію окупованого Криму та російські кораблі в Чорному морі в січні-грудні 2023 року (огляд та база даних) // Black Sea News. –

15.01.2024. – URL: https://www.blackseanews.net/read/213072 (дата звернення: 28.10.2025)
3. Balmforth T. Ukrainian drone disables Russian warship near Russia's Novorossiysk port. August 4. – 2023. – URL: https://surli.cc/nphfjw (дата звернення: 28.10.2025)
4. Баркар Д. Як військові комунікації ОСУВ і ОТУ впливають на новини про війну в Україні // Інститут масової інформації. – 12.09.2025. – URL: https://surl.lu/qpjzjz (дата звернення: 28.10.2025)
5. Borysenko Y. Information Warfare in Terms of Communication Theory: Attempted Analysis // *Філософська думка. – 2023. – №* 4. – С. 21-38. https://doi.org/10.15407/fd2023.04.021
6. Великі інвестиції у хаос: аналіз інформаційної війни кремля // Служба зовнішньої розвідки. – 25.04.2025. – URL: https://surl.li/qugqcq (дата звернення: 28.10.2025)
7. Volz D. New Group to Promote Open-Source Intelligence, Seen as Vital in Ukraine War // The Wall Street Journal. – July 27. – 2022. – URL: https://surl.li/soyyya (дата звернення: 20.10.2025)
8. Воєнна розвідка України (власник: Головне управління розвідки МО) // YouTube. –URL: https://surl.li/fyqpbs (дата звернення: 30.10.2025)
9. What is OSINT: Open-source intelligence? //European Union. Data. – 2022-05-02. – URL: https://surl.li/hrcrts (дата звернення: 28.10.2025)
10. Hayman T. Open-Source Intelligence and the War in Ukraine // *INSS Insight*. – 2023. – No. 1678. – URL: https://arxiv.org/html/2508.03599v1
11. Høiby M. War and Military Journalism // In *The SAGE Encyclopedia of Journalism* (2nd ed.) // SAGE. – 2022. https://doi.org/10.4135/9781544391199.n434
12. Головне управління розвідки Міністерства оборони України. (2024–2025). *Офіційний Telegram-канал ГУР МО України.* – URL: https://t.me/DIUkraine (дата звернення: 30.10.2025)
13. Головне управління розвідки МО України. YouTube. – URL: https://www.youtube.com/@DI_Ukraine (дата звернення: 30.10.2025)
14. Даніленков Р. Чого українські медійники можуть навчити західних // Накипіло. – 09.07.2023. – URL: https://surl.li/xotpdr
15. "Інформація з відкритих джерел стала дієвим інструментом розвідки ворога", – речник Міноборони // Детектор медіа. – 06.11.2023. – URL: https://surl.li/tsarwp (дата звернення: 20.10.2025)
16. Leos D. *Thinking Like a Spy: How Open Source Intelligence Can Give You a Competitive Advantage* // Entrepreneur. – 2023. – URL: https://surl.lu/obeuqe (дата звернення: 20.10.2025)
17. Lomachinska I., & Lomachinskyi B. The role of media culture in today's information wars. // *Схід* (Skhid). – 2023. – № 3(3). https://doi.org/10.21847/1728-9343.2022.3(3).268297
18. Марків О. Інформаційно-психологічні операції: поняття, види, способи використання в умовах гібридної війни // Гібридна війна і журналістика. Проблеми інформаційної безпеки: навчальний посібник за заг.ред. В.О. Жадька. – 2018. – С. 229-245. – URL: https://enpuirb.udu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3bbce0bf-df9c-4f10-8f85-f2f5761b9ac4/content (дата звернення: 20.10.2025)
19. Мовлення під час війни – інтерв'ю з головою українських суспільних ЗМІ // Суспільне. Мовлення. – 22.10.2024. – URL: https://surl.li/pxucrb (дата звернення: 28.10.2025)
20. Морські дрони атакували базу ВМФ у Новоросійську, ймовірно, пошкоджений корабель // Укрінформ. – 04.08.2023. – URL: https://surl.li/lvvfee (дата звернення: 28.10.2025)
21. Олег Іващенко, Голова Служби зовнішньої розвідки України: Після завершення війни за 2-4 роки росія буде технічно готова до нової агресії – проти Європи // Служба зовнішньої розвідки. – 26.05.2025. – URL: https://surl.li/pgzyaz (дата звернення: 28.10.2025)

22. Teagan J. The Economics and Game Theory of OSINT Frontline Photography: Risk, Attention, and the Collective Dilemma // Researchgate. – 2025. – 8 Sep. https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10548
23. Ukraine may be using drones to amp up its counteroffensive. Here are some of the headlines you should know // CNN. – August 6. – 2023. URL: https://surl.li/jbldoh (дата звернення: 30.10.2025)
24. Schwartz L. *OSINT researchers went viral unpacking the war in Ukraine* // Rest of World. – 2022. – URL: https://restofworld.org/2022/osint-viral-ukraine/ (дата звернення: 28.10.2025)
25. Чернецька С. ЗМІ і війна: особливості поширення інформації та фото під часу воєнного стану // Платформа прав людини. – 2022. – URL: https://surl.li/apgwpc (дата звернення: 20.10.2025)
26. Chernysh V. Intelligence as an instrument of state power and its use in international politics // Kyiv-Mohyla Law and Politics Journal. – 2023. – № (8-9). – С. 59–84. https://doi.org/10.18523/kmlpj303156.2023-8-9.59-84

References

1. Alvarez, A. (2023). *The OSINT revolution: Empowering investigations through open source intelligence* (205 p.). https://surl.li/nxkgvo
2. Ataky droniv ta raket ukrainskykh syl na terytoriiu okupovanoho Krymu ta rosiiski korabli v Chornomu mori v sichni–hrudni 2023 roku (ohliad ta baza danykh) [Drone and missile attacks by Ukrainian forces on occupied Crimea and Russian ships in the Black Sea in January–December 2023 (review and database)]. (2024, January 15). *Black Sea News*. Retrieved October 28, 2025, from https://www.blackseanews.net/read/213072
3. Balmforth, T. (2023, August 4). Ukrainian drone disables Russian warship near Russia's Novorossiysk port. Retrieved October 28, 2025, from https://surli.cc/nphfjw
4. Barkar, D. (2025, September 12). Yak viiskovi komunikatsii OSUV i OTU vplyvaiut na novyny pro viinu v Ukraini [How military communications of OSUV and OTU affect war news in Ukraine]. *Instytut masovoi informatsii*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.lu/qpjzjz
5. Borysenko, Y. (2023). Information warfare in terms of communication theory: Attempted analysis. *Filosofska dumka, 4*, 21–38. https://doi.org/10.15407/fd2023.04.021
6. Velyki investytsii u khaos: analiz informatsiinoi viiny kremlia [Big investments in chaos: An analysis of the Kremlin's information warfare]. (2025, April 25). *Sluzhba zovnishnoi rozvidky*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.li/qugqcq
7. Volz, D. (2022, July 27). New group to promote open-source intelligence, seen as vital in Ukraine war. *The Wall Street Journal*. Retrieved October 20, 2025, from https://surl.li/soyyya
8. Voienna rozvidka Ukrainy (vlasnyk: Holovne upravlinnia rozvidky MO) [Military Intelligence of Ukraine (owner: Defence Intelligence of Ukraine)]. (n.d.). *YouTube*. Retrieved October 30, 2025, from https://surl.li/fyqpbs
9. What is OSINT: Open-source intelligence? (2022, May 2). *European Union Data*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.li/hrcrts
10. Hayman, T. (2023). Open-source intelligence and the war in Ukraine. *INSS Insight, 1678*. Retrieved from https://arxiv.org/html/2508.03599v1
11. Høiby, M. (2022). War and military journalism. In *The SAGE Encyclopedia of Journalism* (2nd ed.). https://doi.org/10.4135/9781544391199.n434
12. Holovne upravlinnia rozvidky Ministerstva oborony Ukrainy. (2024–2025). Ofitsiinyi Telegram-kanal HUR MO Ukrainy [Official Telegram channel of the Defence Intelligence of Ukraine]. Retrieved October 30, 2025, from https://t.me/DIUkraine
13. Holovne upravlinnia rozvidky MO Ukrainy. (n.d.). YouTube-kanal [YouTube channel]. *YouTube*. Retrieved October 30, 2025, from https://www.youtube.com/@DI_Ukraine

14. Danilenkov, R. (2023, July 9). Choho ukrainski mediinyky mozhut navchyty zakhidnykh [What Ukrainian media professionals can teach the West]. *Nakipilo*. Retrieved from https://surl.li/xotpdr
15. "Informatsiia z vidkrytykh dzherel stala diievym instrumentom rozvidky voroha," – rechnyk Ministerstva oborony ["Open-source information has become an effective tool of the enemy's intelligence," said the Ministry of Defense spokesperson]. (2023, November 6). *Detektor media*. Retrieved October 20, 2025, from https://surl.li/tsarwp
16. Leos, D. (2023). Thinking like a spy: How open source intelligence can give you a competitive advantage. *Entrepreneur*. Retrieved October 20, 2025, from https://surl.lu/obeuqe
17. Lomachinska, I., & Lomachinskyi, B. (2023). The role of media culture in today's information wars. *Skhid, 3(3)*. https://doi.org/10.21847/1728-9343.2022.3(3).268297
18. Markiv, O. (2018). Informatsiino-psykholohichni operatsii: poniattia, vydy, sposoby vykorystannia v umovakh hibrydnoi viiny [Information-psychological operations: Concepts, types, and methods of use in hybrid war]. In V. O. Zhadko (Ed.), *Hibrydna viina i zhurnalistyka. Problemy informatsiinoi bezpeky* [Hybrid war and journalism. Problems of information security] (pp. 229–245). Retrieved October 20, 2025, from https://enpuirb.udu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/3bbce0bf-df9c-4f10-8f85-f2f5761b9ac4/content
19. Movlennia pid chas viiny – interviu z holovoiu ukrainskykh suspilnykh ZMI [Broadcasting during the war – An interview with the head of Ukraine's public media]. (2024, October 22). *Suspilne. Movlennia*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.li/pxucrb
20. Morski drony atakuvaly bazu VMF u Novorosiisku, ymovirno, poshkodzhenyi korabel [Sea drones attacked the Russian Navy base in Novorossiysk; a ship was likely damaged]. (2023, August 4). *Ukrinform*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.li/lvvfee
21. Oleh Ivashchenko, Holova Sluzhby zovnishnoi rozvidky Ukrainy: Pislia zavershennia viiny za 2–4 roky rosiia bude tekhnichno hotova do novoi ahresii – proty Yevropy [Oleh Ivashchenko, Head of the Foreign Intelligence Service of Ukraine: 2–4 years after the war ends, Russia will be technically ready for new aggression against Europe]. (2025, May 26). *Sluzhba zovnishnoi rozvidky*. Retrieved October 28, 2025, from https://surl.li/pgzyaz
22. Teagan, J. (2025, September 8). The economics and game theory of OSINT frontline photography: Risk, attention, and the collective dilemma. https://doi.org/10.48550/arXiv.2509.10548
23. Ukraine may be using drones to amp up its counteroffensive. Here are some of the headlines you should know. (2023, August 6). *CNN*. Retrieved October 30, 2025, from https://surl.li/jbldoh
24. Schwartz, L. (2022). OSINT researchers went viral unpacking the war in Ukraine. *Rest of World*. Retrieved October 28, 2025, from https://restofworld.org/2022/osint-viral-ukraine/
25. Chernetska, S. [Chernetska, S.]. (2022). ZMI i viina: osoblyvosti poshyrennia informatsii ta foto pid chasu voiennoho stanu [Media and war: Features of disseminating information and photos during martial law]. *Platforma prav liudyny*. Retrieved October 20, 2025, from https://surl.li/apgwpc
26. Chernysh, V. (2023). Intelligence as an instrument of state power and its use in international politics. *Kyiv-Mohyla Law and Politics Journal, 8–9*, 59–84. https://doi.org/10.18523/kmlpj303156.2023-8-9.59-84

Дослідження трофейного зразка російської БМД-4М “Садовница”

Research of the trophy sample of the russian BMD-4M “Sadovnitsa”

Леонід Давидовський [A]
Corresponding author: кандидат технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник, e-mail: davidovskiy14@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2529-1989

Андрій Барановський [A]
адюнкт, e-mail: andruha17@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-9637-7280

Сергій Бісик [A]
доктор технічних наук, професор, начальник науково-випробувального відділу, e-mail: sergey-new@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5009-2113

Віктор Голуб [A]
доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, e-mail: victor-golub@meta.ua, ORCID: 0000-0002-1111-8819

Святослав Сєдов [A]
кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник науково-дослідного центру, e-mail: slavasedoff@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8718-1112

Leonid Davydovskyi [A]
Corresponding author: PhD (Engin.), Senior Researcher, Leading Researcher, e-mail: davidovskiy14@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2529-1989

Andrii Baranovskyi [A]
PhD student, e-mail: andruha17@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-9637-7280

Serhii Bisyk [A]
Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department, e-mail: sergey-new@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5009-2113

Victor Golub [A]
Dr. Sci. (Engin.), Professor, Leading Researcher, e-mail: victor-golub@meta.ua, ORCID: 0000-0002-1111-8819

Svyatoslav Sedov [A]
PhD (Engin.), Senior Researcher, Head of the Research Center, e-mail: slavasedoff@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8718-1112

[A] Національний університет оборони України, Київ, Україна

[A] National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 15, 2025 | Revised: October 28, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.10

Мета роботи. проаналізувати конструкцію, технічні рішення та систему захисту трофейного зразка російської БМД-4М “Садовниця”; дослідити спроможності російського оборонно-промислового комплексу та визначити ключові підприємства кооперації, які залучені до виробництва БМД-4М “Садовниця”; ідентифікувати іноземні комплектуючі у складі БМД-4М “Садовниця” з метою включення їх до санкційних переліків і запровадження обмежень на їх експорт до рф з боку країн-партнерів.

Метод дослідження. Теоретико-аналітичний, формалізований і порівняльний аналіз (якісних характеристик).

Результати дослідження: Результати дослідження дають змогу оцінити потенціал і ступінь технологічного розвитку оборонно-промислового комплексу рф у сфері створення сучасних бойових броньованих машин.

Теоретична цінність дослідження. Стаття систематизує знання про конструкцію, принципи компонування й рівень технологічного розвитку БМД-4М “Садовниця”. На конкретних прикладах вхідних і вихідних отворів пробоїн показано недоліки фізико-механічних властивостей алюмінієвої броні, що впливають на відкольну стійкість броні. Цей критерій є важливим при визначенні рівня балістичного захисту і підкреслює необхідність застосування внутрішнього протиосколкового захисту, що є предметом для подальших досліджень і розробки технічних рішень щодо його вдосконалення у вітчизняних зразках бойових машин.

Практична цінність дослідження. Результати дослідження дозволяють виокремити переваги (комплекс озброєння) і недоліки (рівень захисту) російської БМД-4М, які необхідно врахувати вітчизняним виробникам бойових броньованих машин. Крім того, дозволяють визначити ефективні способи нейтралізації, ідентифікувати іноземні комплектуючі для санкційної політики та підприємства кооперації для розвідувальної діяльності, як цілі для українських DeepStrike.

Тип статті. Оглядовий, науково-практичний.

Purpose. To analyse the design, technical solutions, and protection system of a captured specimen of the Russian BMD-4M “Sadovnichka”; to examine the capabilities of the Russian defence-industrial complex and identify the key cooperating enterprises involved in the production of the BMD-4M “Sadovnichka”; and to identify foreign components incorporated into the BMD-4M “Sadovnichka” for the purpose of including them in sanctions lists and imposing export restrictions to the Russian Federation by partner countries.

Method: Theoretical-analytical, formalised and comparative analysis (of qualitative characteristics).

Findings. The findings make it possible to assess the potential and level of technological development of the Russian defence-industrial complex in the field of modern armoured combat vehicle design.

Theoretical implications: The article systematises knowledge on the design, layout principles, and the technological level of the BMD-4M “Sadovnichka”. Using specific examples of penetration entry and exit holes, shortcomings of the physico-mechanical properties of aluminium armour that affect its spall resistance are demonstrated. This criterion is important when determining the level of ballistic protection and underscores the necessity of applying internal anti-spall protection, which is a topic for further research and for development of technical solutions to improve such protection in domestic combat vehicle models.

Practical implications: The results allow identification of the advantages (weapons suite) and shortcomings (protection level) of the Russian BMD-4M that domestic armoured vehicle manufacturers should take into account. In addition, they enable determination of effective neutralisation methods, identification of foreign components for sanctions policy, and identification of cooperating enterprises for intelligence activities, as targets for Ukrainian DeepStrike.

Paper type: Review, scientific-practical.

Ключові слова: БМД-4М, корпус, броня, вторинні осколки, днище, протимінний/балістичний/протиосколковий захист, енергопоглинаючі сидіння, DeepStrike.

Key words: BMD-4M, hull, armor, secondary fragments, bottom, anti-mine/ballistic/anti-spall protection, energy-absorbing seats, DeepStrike.

Вступ

В ході повномасштабного вторгнення на територію України, окупаційні війська рф широко застосовують підрозділи ВДВ зс рф. Парк бойових машин цього роду військ є найбільш оновленим в армії агресора. БМД-4М “Садовница”, БТР-МД “Ракушка”, “Тайфун-К”, “Тайфун ВДВ”, “Тайфун-У” та “Лінза” – це новітні зразки, що прийняті на озброєння після 2016 року.

БМД-4М "Садовница" є найбільш масовою у підрозділах ВДВ зс рф. Численні знищення цього зразка Силами оборони України фіксувались як на першому етапі на Київщині, так і у всіх інших областях де ведуться бойові дії [1-3]. Тому БМД-4М “Садовница” буде об’єктом дослідження в даній статті, а предметом будуть окремі системи цієї машини.

Після Курської операції 38-мим Науково-дослідним випробувальним інститутом бронетанкової техніки Міністерства оборони рф було оприлюднено звіт за результатами дослідження захопленої української бойової машини піхоти Bradley – *“Результаты исследовательских испытаний БМП “Bradley” M2A2 ODS SA (США)”* [4]. Цей звіт отримав значний розголос у фаховому середовищі та на профільних форумах, де розглядаються питання розвитку бронетехніки [5].

Ця стаття, як і дослідження новітнього російського бронеавтомобіля підвищеної захищеності “Тайфун-К” [6], є логічним продовженням симетричної протидії російській пропаганді в технічній галузі. Такі матеріали дозволяють оцінити реальний потенціал російського оборонно-промислового комплексу у відповідній галузі, а також спростовує завищені тактико-технічні характеристики, які російська сторона часто декларує для створення ілюзії переваги над західними зразками.

Теоретичні основи дослідження

Бойова машина десанту БМД-4 з бойовим модулем “Бахча-У” розроблена СКБ ПАТ “Волгоградський тракторний завод” спільно з ДУП “КБ приладобудування” (м. Тула) в ході модернізації та з використанням ходової частини БМД-3 “Бахча". Модуль озброєння “Бахча-У” створено “КБ приладобудування” на базі модуля озброєння БМП-3. БМД-4 прийнято на озброєння ВДВ зс рф 31 грудня 2004 р. Перша партія БМД-4 надійшла у війська в серпні 2005 р. Серійне виробництво велось Публічним акціонерним товариством “Волгоградський тракторний завод” [7-8].

У зв’язку з банкрутством ПАТ “Волгоградський тракторний завод”, для подальшого виробництва Курганським машинобудівним заводом СКБ “Курганмашзаводу” у 2007 р. розроблено модифікацію БМД-4М. Машину уніфіковано в частині корпусу з БМП-3, але використано той самий модуль озброєння “Бахча”, що і БМД-4. Дослідний зразок БМД-4М вперше продемонстрований на полігоні Курганмашзаводу 21 березня 2008 р. Серійне виробництво планувалося розпочати у 2009 р., а протягом 2010 р. ВДВ розраховували отримати перші 10 БМД-4М для військових випробувань [8-10].

У квітні 2010 р. перший заступник мо рф В.А. Поповкін заявив, що БМД-4М, крім партії для випробувань, у ВДВ не надходили і мо рф відмовляється від їх подальших закупівель. Пізніше, восени 2012 р. після зміни керівництва мо рф було озвучено плани надходження у 2013 р. 10 машин у ВДВ для проведення держвипробувань. 8 грудня 2012 р. у пресі з’явилася заява командира 31-ї гвардійської окремої десантно-штурмової бригади ВДВ полковника Геннадія Анашкіна, про те, що БМД-4М прийнято на озброєння. Контракт на постачання перших 10 БМД-4М на суму 608 млн. руб. укладено з “Курганмашзаводом”, термін постачання – листопад 2013 р., але 23.04.2013 р. у ЗМІ з’явилася інформація про те, що кількість БМД-4М, що поставляються, буде скорочено до 7 шт. у зв’язку зі зростанням вартості кожної машини майже на 20 млн. руб – це викликано перенесенням виробництва шасі на “Курганмашзавод”.

У травні 2016 р. у ЗМІ з'явилася інформація про те, що БМД-4М "Садівниця" прийнято на озброєння ВДВ зс рф, в тому ж році планувалося надходження у війська 144 машин [8, 11, 12].

Постановка проблеми

З початку повномасштабного вторгнення Силами оборони України знищено багато зразків БМД-4М "Садівниця" [1-3]. З впровадженням бонусної системи "Армія дронів. Бонус", за якою підрозділам нараховуються "Є-бали" за верифіковане знищення ворожої техніки, тенденція широкого застосування ворогом бойових машин цього виду підтверджується численними відеодоказами [13]. Станом на липень 2021 року ВДВ зс рф отримали одинадцять батальйонних комплектів БМД-4М, що становить 341 од., а з того часу їх виробництво ще збільшилось і масштабувалось [11]. БМД-4М "Садівниця" є основною і наймасовішою серед нових бойових машин ВДВ зс рф, тому актуальним вважається оцінка технологічного рівня зразка, рівня захисту, способів нейтралізації, потенціалу та можливостей ОПК противника. Це дозволяє виявити іноземні комплектуючі, що є важливим аспектом для розвідувальної діяльності та ведення санкційної політики, а також ідентифікувати законні військові цілі для українських ударних дронів DeepStrike у вигляді підприємств ОПК, що входять в кооперацію з виробництва БМД-4М "Садівниця".

Результати

БМД-4М "Садівниця" або "Об'єкт 960М" призначений для транспортування особового складу повітряно-десантних військ, підвищення його мобільності, озброєності та захищеності на полі бою. Авіадесантується парашутним, парашутно-реактивним або посадковим способом. Машина призначена для оновлення парку бронетехніки з'єднань ВДВ зс рф.

Бойові машини десанту БМД-1, БМД-2, а також БТР-Д, 2С9 "Нона" знаходяться на озброєнні 25 окремої повітрянодесантної Січеславської бригади десантно-штурмових військ Збройних Сил України. Конструкція цих десантних машини, як і БМД-4М дозволяє десантуватися з літаків, також мають гідропневматичну підвіску, що дозволяє машині підніматися/опускатися на 40 см (рис. 1) [14].

Рисунок 1 – Бойові машини десанту різних поколінь – БМД-1, БМД-2, БМД-3, БМД-4 и 4М

Порівняння за класичними властивостями, такими як "захищеність-вогнева міць-маневреність" є недоцільним, оскільки критерії порівняння бойових машин неодноразово оновлювались і кількість їх збільшувалась (рис. 2), а між зразками, що порівнюються мінімум два покоління машин цього класу (БМД-3, БМД-4), а сучасні вітчизняні аналоги відсутні [14].

За результатами експертного опитування авторитетне джерело новин військової тематики Defense IQ, сформувала "Броньовий шестикутник" (рис.2а), як ранжування основних властивостей бойових броньованих машин на заміну "Броньовому трикутнику", що передбачав класичне поєднання "вогнева міць – захист – маневреність" (Рис.2б) [15]. В умовах

стрімкого технологічного прогресу та зміни характеру бойових дій, збільшення кількості критеріїв порівняння з трьох до шести є цілком закономірним явищем [16].

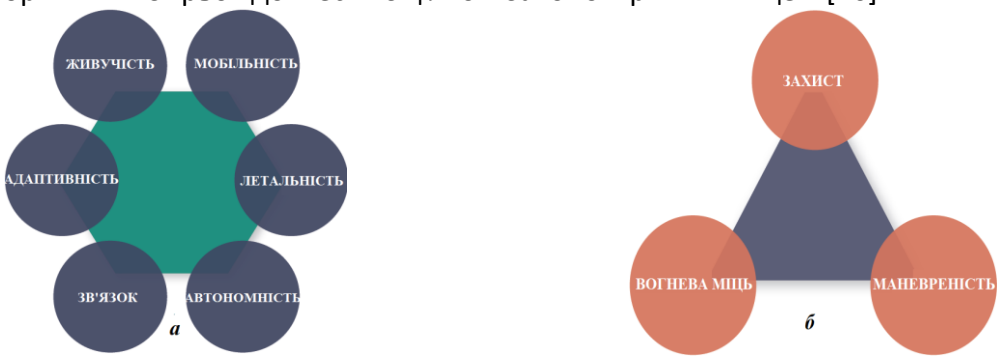


Рисунок 2 – Основні властивості бойових броньованих машин: а – сучасні властивості ББМ згідно з експертним опитуванням Defense IQ; б – класичне поєднання властивостей ББМ

Не зважаючи на те, що БМД-4М “Садівниця” прийнята на озброєння у 2016 році, інновацій та “ноу-хау” в елементній базі та принципах компонування – не виявлено. Результати аналізу підтверджують зворотнє, що в конструкцію БМД 4М внесено низку змін, спрямованих на досягнення максимального рівня уніфікації з БМП-3. Такий підхід важко назвати прогресивним, оскільки розробка БМП-3 почалась в 1977 році, а закінчилась в 1987 (концепції компонування близько 50 років), хоча це й суттєво спрощує серійне виробництво, ремонт та технічне обслуговування [14]. Тому, БМД-4М не підлягає оцінці за критеріями “Броньового шестикутника” (рис.2а), а за “Броньовим трикутником” в актив можна віднести “вогневу міць” (потужний комплекс озброєння) і “маневреність” (високий показник питомої потужності – 33,3 к.с./т (450 к.с. ÷ 13,5 т), тоді як “захист” є очевидним пасивом цього зразка [15, 16]. Далі детальніше.

Рисунок 3 – БМД-4М “Садовница”, ліворуч – еталон; праворуч – трофейний зразок

Таблиця 1 – Основні ТТХ з відкритих джерел [7-12]

Історія		**Озброєння**	
Роки виробництва	з 2015	Калібр і марка гармати	1 х 100-мм 2А70
Роки експлуатації	з 2016		1 х 30-мм 2А72
Кількість випущених, шт	341	Тип гармати	100 мм нарізна напівавтоматична гармата – пускова
Загальне			
Бойова маса, т	13,5		
Екіпаж, чол	3		30 мм нарізна малокаліберна
Десант, чол	5		
Тип броні	протикульна	Кулемети	1 х 7,62-мм ПКТМ
Розміри		Боєкомплект	38 для 2А70:

Історія		Озброєння	
Довжина корпусу, мм	6100		34 – ОФС, 4 - ПТУР
Довжина з гарматою, мм	6780		464 для 2А72
Ширина, мм	3110		2000 для 7,62мм ПКТМ
Висота, мм	2450	Кути ВН, град.	-6…+60
База, мм	3323	Кути ГН, град	360
Колії, мм	2700	Приціли	перископічний, панорама командира,
Кліренс, мм	100…500		
Двигун		Дальність стрільби, км	до 4
Марка	2В-06-2	Рухомість	
Виробник	ЧТЗ	V по шосе, км/год	70
Тип	дизельний з наддувом	V на плаву, км/год	10
		Запас ходу по шосе, км	500
Рекомендоване паливо	багатопаливний	Запас ходу по ПМ, км	350
Охолодження	рідинне	Питома потужність,к.с./т	33
Конфігурація	Опозитний-6	Підвіска	індивід. пневматична
Тактність (число тактів)	4	Пит. тиск на грунт, кг/см²	0,45
Максимальна потужність	331 кВт(450 к. с.)	Підйом/стіна/рів/брід	35/0,7/2,0/плаває

Комплекс озброєння

Як зазначалось вище, основною перевагою БМД-4М “Садівниця” є потужний комплекс озброєння. Бойовий модуль Б8Я01 “БАХЧА-У” – російський універсальний бойовий модуль (башта з комплексом озброєння), створений у тульському КБ приладобудування з метою встановлення на бойові машини, такі як БМП-2, БМП-3, БТР-90, БМД-4, БМД-4М, а також для катерів, кораблів та стаціонарних об’єктів, призначений для ураження з місця, з ходу, на плаву всієї номенклатури цілей: танків, легкобронюваної техніки, ПТРК, відкрито розташованої та прихованої живої сили, засобів повітряного нападу типу “вертоліт”, “низьколітаючий літак” (рис. 4) [12, 17].

Основні ТТХ Бойового модуля Б8Я01 “БАХЧА-У”:

- Бойова маса, 3600—3980 кг;
- Система управління вогнем цілодобова автоматична;
- Приціл навідника з візирним, тепловізійним, далекомірним каналами та каналом наведення ПТУР;
- Панорамний приціл командира з телевізійним та далекомірним каналами;
- Оснащений системою вимірювання координат (GPS/ГЛОНАСС), що забезпечує ведення стрільби 100-мм ОПУ із закритих вогневих позицій

Рисунок 4 – Загальний вигляд та основні ТТХ Бойового модуля Б8Я01 “БАХЧА-У”

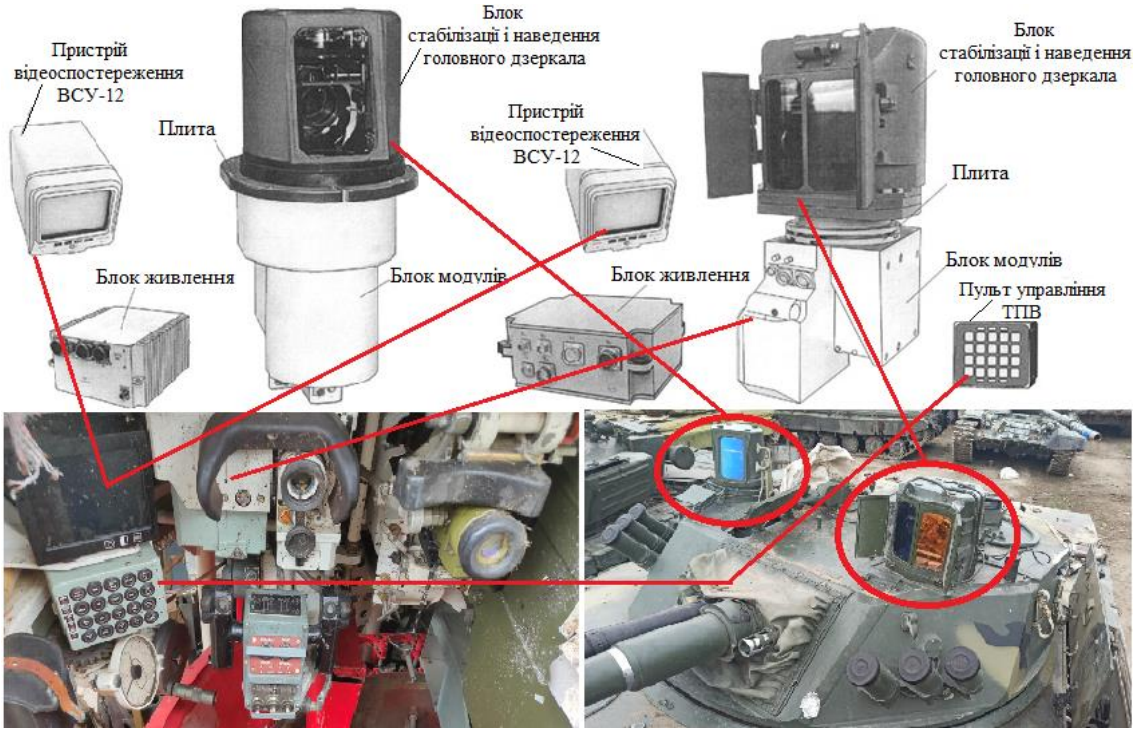


Рисунок 5 – Склад та компонування системи управління вогнем “РЕДУТ”

Таблиця 2 – Основні ТТХ СУВ "“РЕДУТ” з відкритих джерел [7-12, 17]

Приціл навідника	
Збільшення денного канала, крат	12,5/2,5
Поле зору денного канала, град	4,5/20
Точність стабіліз. лінії візування по верт. і гориз., мрад	0.05 - 0.1
Кути прокачування лінії візування, град. По вертикалі По горизонталі	 -15 до +30 ±10
Нічний канал	тепловізійний
Дальність стрільби вночі, м	до 7000
Дальномір	інтегрований
Частота проходження імпульсів, Гц	5
Діапазон вимірюваної дальності, км	0,2-10
Помилка виміру дальності, м	< 10
Колії, мм	2700
Кліренс, мм	100…500
Приціл командира панорамний	
Поле зрения, град.	0,9 x 1,2/5,5 x 7,3
Дальномірний канал	присутній
Частота проходження імпульсів, Гц	5
Діапазон вимірюваної дальності, км	0,2-10
Точність стабіліз. лінії візування по вертикалі і горизонту, мрад	0.05 - 0.1

Кути прокачування лінії візування, град. По вертикалі По горизонталі	 -15 до +60 360
Автомат супроводження цілі	
Точність стеження за ціллю в режимі автосупроводу цілі, мрад	0,05 - 0,1
Стабілізатор озброєння	
Точність стабілізації озброєння по вертикалі і горизонту, мрад	0,3 - 0,4
Максимальна швидкість наведення озброєння, град/с.	60

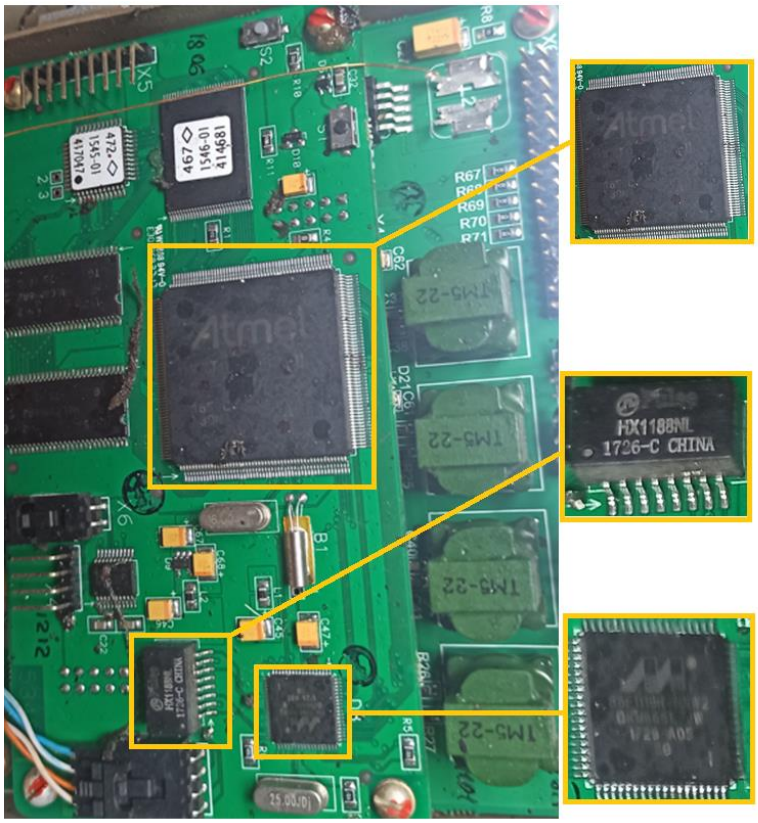
Російський ОПК у сфері виробництва інфрачервоної техніки розвивався наступним чином: Французька компанія “Thales Group” постачала тепловізійні камери Catherine FC, білоруська фірма “Пеленг” постачала систему стабілізації та управління, рязанське підприємство “Плазма” – відео спостережний пристрій. Все разом це ставало російськими прицільними тепловізійними комплексами “ЭССА”, “ПЛИСА”, “Сосна-У”, “Редут” для таких

машин як Т-90, Т-80, БМП-3, БМД-4М, Т-72Б3, Т-72БМЭ та ін. [17]. Проте, безпідставно зараз стверджувати, що СУВ БМД-4М “Редут” обладнана французькими тепловізорами Catherine FC компанії “Thales Group”, оскільки у 2009 році за посередництвом “Рособоронекспорту” було підписано ліцензійну угоду на виробництво тепловізійних приладів Catherine FC на Вологодському оптико-механічному заводі корпорації “Ростех”.

Крім того, на сайті ОАО “Центральный научно-исследовательский институт “ЦИКЛОН”, сказано, що цей інститут є єдиним сертифікованим у рф розробником і виробником тепловізійних приладів, а з 2015 року “ЦНДІ “ЦИКЛОН” став першим виробником мікроболометричних матриць. Це робить рф четвертою країною світу після США, Франції та Китаю, де створено власну тепловізійну матрицю, яка повинна була замінити французькі матриці Catherine FC [18].

Іноземні комплектуючі

Трофейний зразок, який досліджувався підлягав подальшому відновленню, тому вдалося проаналізувати лише окремі елементи внутрішнього обладнання, які вже були пошкоджені і не ремонтопридатні. Зокрема, в мікросхемі блоку живлення приладу прицілювання та спостереження навідника БМД-4М було виявлено комплектуючі іноземного походження (рис. 6) [19-21].



мікроконтролер **AT91 Atmel** виробництва **Atmel Corporation** — американська компанія-виробник мікроконтролерів Продукція Atmel широко застосовується в комп'ютерних установках, промисловості, медицині, зв'язку, автомобілях, **космосі, військових пристроях**, а також кредитних картах. Компанія знаходиться в м. Сан-Хосе, Каліфорнія, США, проте з 2016 року була куплена одним із своїх конкурентів — **Microchip Technology**, яка продовжує випускати частину продукції Atmel

HX1188NL – високоякісний 100-мегабітний Ethernet трансформатор для SMD монтажу, має високі електричні показники та низькі показники втрат, має ізоляцію входу/виходу до 1650 Vrms і діапазон температур -40…+85°C. Виробник - компанія **Pulse Electronics** заснована в 1947 році з головним офісом в Сан-Дієго, Каліфорнія, США. На сьогоднішній день є одним із світових лідерів у галузі проектування, розробки та виробництва електронних компонентів, в тому числі для військового та аерокосмічного обладнання.

високопродуктивний мікроконтролер виробництва **Microchip Technology Inc.** — американський виробник мікроелектроніки, 8-, 16- і 32-бітних мікроконтролерів, цифрових сигнальних контролерів, а також аналогової та інтерфейсної продукції з головним офісом в м. Чандлер, штат Аризона, США. Майже 100% напівпровідникових пластин виробляються на власних потужностях штатів Аризона та Орегон.

Рисунок 6 – Американські мікрочіпи в мікросхемах БМД-4М “Садівниця” [19-21]

Захищеність

Зразок БМД-4М “Садівниця”, який досліджувався, заводський номер 2Ю08ЖТ4936, не обладнаний системами активного чи динамічного захисту, а також не передбачає технічних рішень для протикумулятивного захисту. Для забезпечення можливості десантування бронекорпус і башта БМД-4М виготовлені з алюмінію. Легка гомогенна алюмінієва броня не забезпечує необхідного рівня захисту, що підтверджується пробоїнами бронекорпусу від осколків артилерійських снарядів (рис. 7).

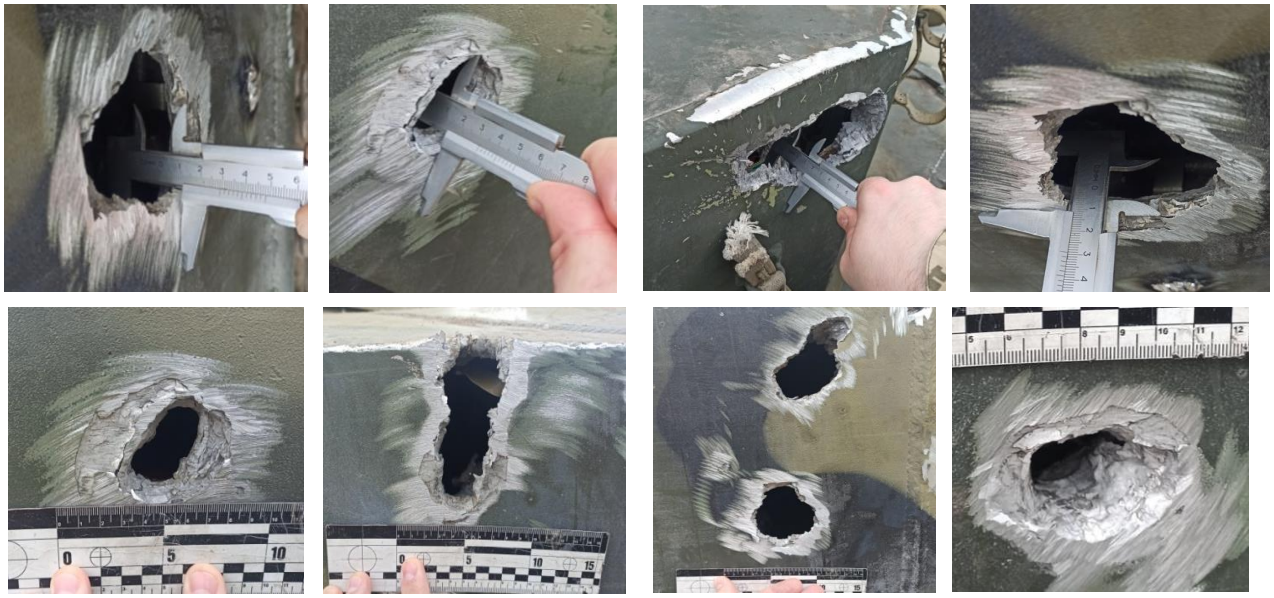
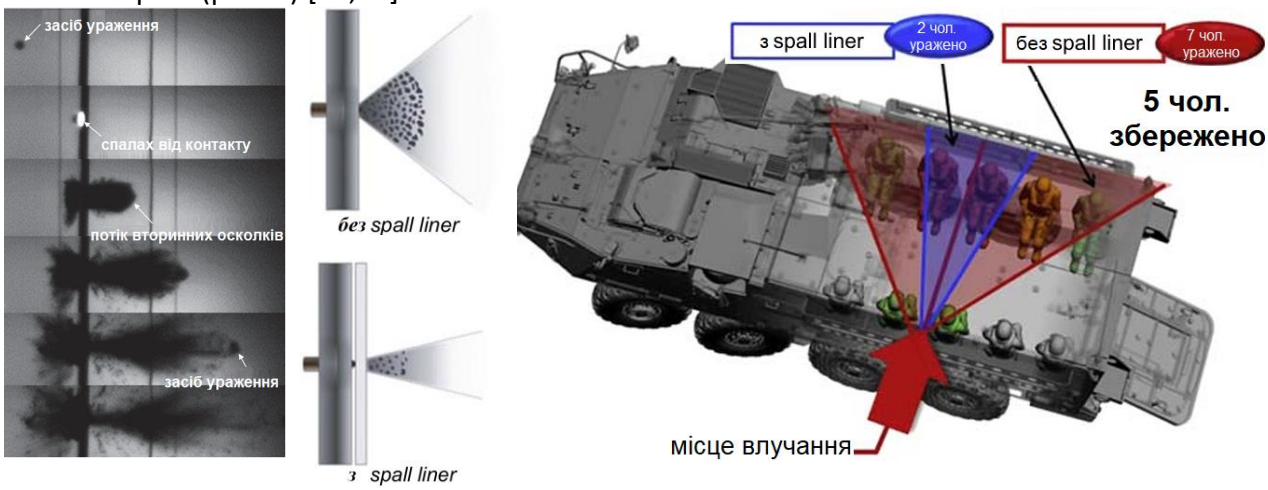


Рисунок 7 – Приклади пробиття бронекорпусу БМД-4М “Садівниця” осколками

Слід зазначити, що застосування алюмінієвої броні є трендом в індустрії бойових броньованих машин. Зокрема, алюмінієва, як базова броня застосовується у M2 / M3 Bradley, M113 (APC), CVR(T) сімейство (FV101 Scorpion, Scimitar, Spartan тощо), окремі модифікації LAV/Piranha та інші, у відкритих джерелах вказують сплави типу 7017, 5083, 7039. Проте, на відміну від БМД-4М, в цих машинах застосовується комбінована конструкція з алюмінієвого корпусу, модульних високотвердих сталевих або керамічно-композитних аплікаційних бронеплит, рознесеної броні (spaced / laminate), комплектів ERA (Explosive Reactive Armour – динамічний захист) і внутрішнього композитного протиосколкового захиту (spall-liner) від вторинних осколків, які утворились в наслідок пробиття основної броні. Такі технічні рішення дозволяють отримати баланс маси, захисту і безпеки екіпажу.

На сьогоднішній день в архітектурі захисту бойових броньованих машин особлива увага приділяється внутрішньому протиосколковому захиту (spall-liner). Ці технічні рішення дозволяють суттєво підвищити живучість екіпажу при частковому або повному пробитті основної броні (рис. 8) [22,23].



а *б* *в*

Рисунок 8 – Приклад функціонування внутрішнього композитного протиосколкового захиту (spall-liner): *а* – кадри пробиття з високошвидкісної камери; *б* – принцип роботи spall-liner; *в* - типовий кут розльоту вторинних осколків з та без протиосколкового захисту

В дослідженні фокусується увага на внутрішньому протиосколковому захисті, оскільки аналіз місць уражень бронекорпусу БМД-4М “Садівниця” свідчить про суттєвий недолік алюмінієвої броні цього зразка. Попри солідну товщину, дана броня має низьку відкольну стійкість (рис. 9). При балістичних тестах західних зразків з базовою алюмінієвою бронею, вихідні отвори з внутрішньої сторони бронеперешкоди якісно відрізняються від аналогічних в БМД-4М “Садівниця”. Фізико-механічні властивості броні західних зразків значно перевищують російську, оскільки в останньої після пробиття відколюється великий об’єм бронематеріалу з внутрішньої поверхні, що утворює потік осколків, а за відсутності протиосколкового захисту вони стають додатковими засобами ураження (рис. 9).

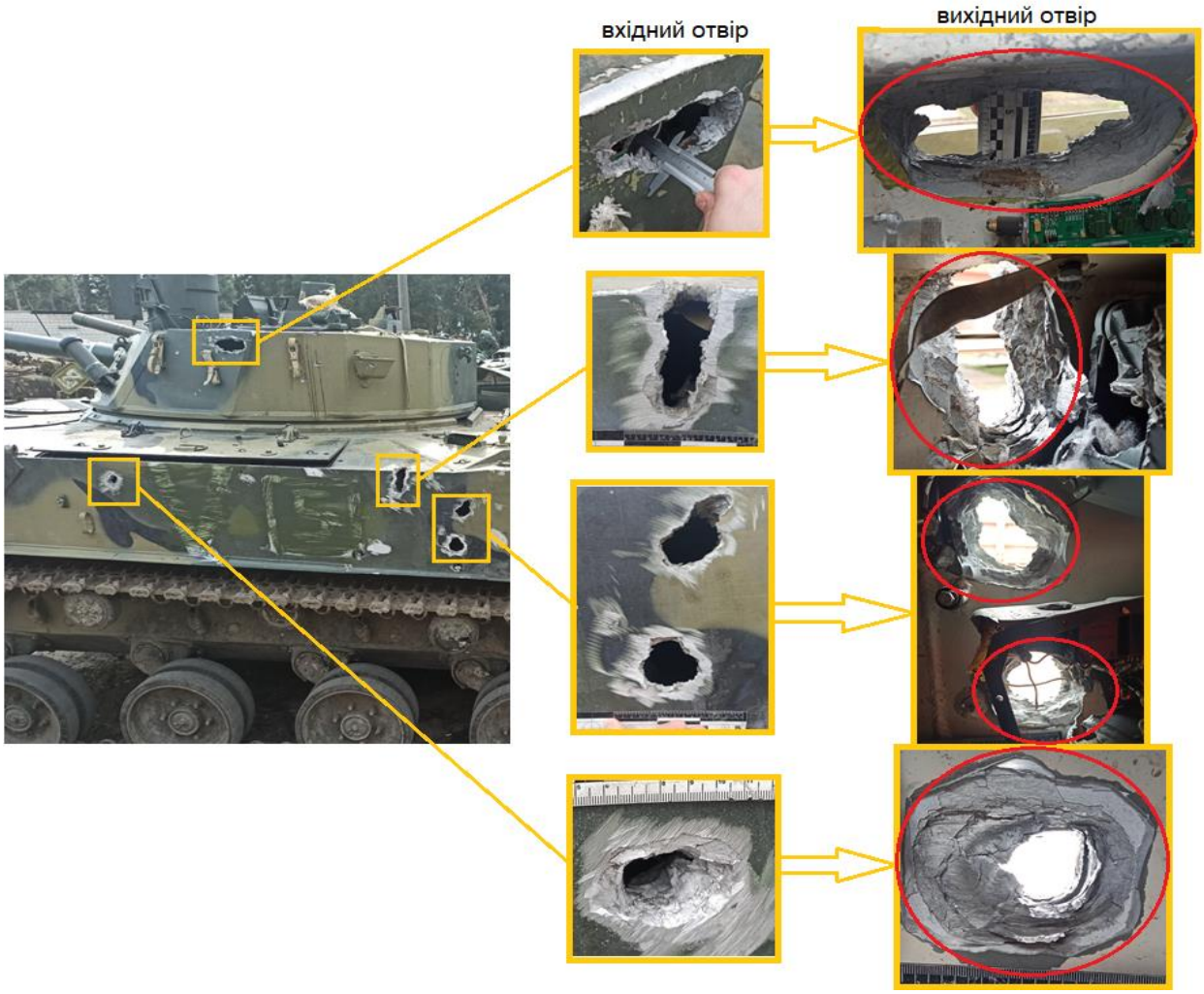


Рисунок 9 – Порівняння вхідних і вихідних отворів при пробитті бронекорпусу БМД-4М “Садівниця” осколками

З рис. 9 видно, що площа вихідних отворів в 3-4 рази більша за вхідні. Це свідчить про утворення великої кількості осколків в забронь овому просторі. Саме це стало фатальним для навідника-оператора цієї БМД-4М “Садівниця” та наслідком ушкодження внутрішнього обладнання бойового відділення, про що свідчили факти при огляді бойового відділення (рис. 10).

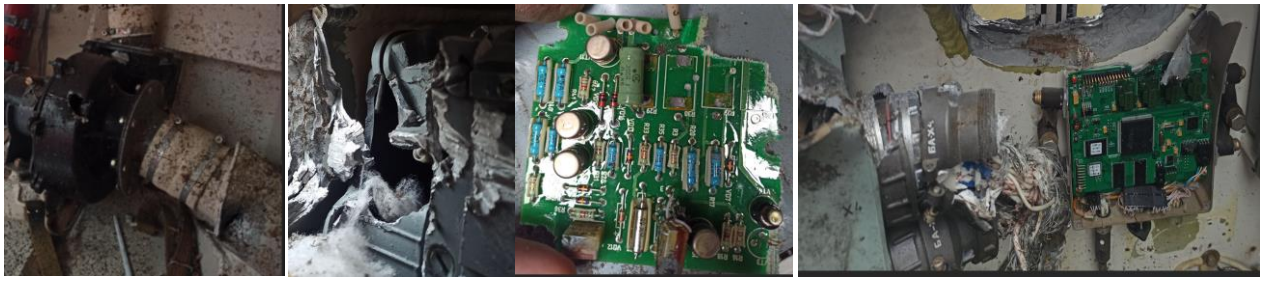


Рисунок 10 – Наслідки ушкодження внутрішнього обладнання бойового відділення вторинними осколками

Протиосколкова стійкість є важливим і невід'ємним елементом балістичних випробувань. У міжнародній термінології така перевірка називається "spall liner test" або "anti-spall test" (від англ. spall – відкол, відщеп). У стандартах НАТО, зокрема у STANAG 4569 це визначено як випробування на внутрішню балістичну дію (behind armour effects / behind armour debris, BAD), де перевіряють на утворення небезпечних уламків (відколи з внутрішньої поверхні) [24].

В частині протимінного захисту в конструкції днища не застосовано енергопоглинаючих наповнювачів, дисипуючих вставок тощо, що є трендом сучасних бойових машин, а саме днище плоске, гомогенне, алюмінієве [25-28]. В частині локального захисту теж ніяких вдосконалень в порівнянні з попередніми моделями, сидіння екіпажу та десанту має примітивну конструкцію без спеціальних енергопоглинаючих елементів та матеріалів, хоча передбачено можливість десантування з екіпажем [29-31].

Рисунок 10 – Днище та сидіння десанту БМД-4М "Садівниця"

Пов'язані патенти та (або) промислові зразки

На базі БМД-4М розробляється ціле сімейство нових машин, окремі модифікацій є в дослідних зразках і перебувають на етапі випробувань:

самохідна протитанкова гармата 2С25М "Спрут-СДМ1". Дослідні зразки цієї машини є бойовим відділенням вже наявної десантної самохідки "Спрут-СД", що переставлені на допрацьованому та подовженому шасі БМД-4М;

самохідна гармата для ВДВ 2С42 "Лотос". Шасі – таке ж, як у "Спрут-СДМ1", озброєння - довгоствольна універсальна гармата калібром 120 мм. Ця машина повинна прийти на зміну відомій "Нона-С";

"Корнет-Д1", індекс 9П162М. Установка для протитанкових керованих ракет 9М133 на шасі БМД-4М;

“Птицелов” – зенітний ракетний комплекс із бойовою частиною ЗРК “Сосна”; авіадесантований (для ВДВ);

2С37 самохідна артилерійська установка з гарматою калібром 152 мм.

Крім того, ведуться роботи щодо використання БМД-4М для створення ремонтно-евакуаційного тягача та розвідувальної машини.

Військові цілі для українських DeepStrike

Враховуючи широке застосування, масштабування виробництва, створення нових модифікацій та сімейства машин на базі БМД-4М “Садівниця”, а також набуття нових спроможностей українських DeepStrike, ефективні удари в глибину рф та в світлі можливих поставок Україні далекобійних крилатих ракет Tomahawk та Barracuda, вважається за доцільне визначити основні підприємства кооперації з виготовлення цього зразка як законні військові цілі.

Таблиця 3 – Основні підприємства кооперації з виготовлення БМД-4М “Садовница”

Підприємство	Адреса	Координати	Фото
Общество с ограниченной ответственностью “Волгоградская машиностроительная компания “ВгТЗ”	г. Волгоград, пл. им. Дзержинского, д.1,	48°48′08″ с. ш. 44°36′22″ в. д.	
Акционерное общество “Конструкторское бюро приборостроения им. ак. А. Г. Шипунова”	г. Тула, ул. Щегловская Засека, 59, 300004	54°13'07.7"N 37°42'31.6"E	
Акционерное общество “Курга́нский машинострои́тельный заво́д”	г. Курган, пр-кт Машиностроителей, 17 (1 Ж)	55°27′40″ с. ш. 65°19′30″ в. д.	
Акционерное общество “Вологодский оптико-механический завод”	г. Вологда, ул. Мальцева, 54,	59°12′57″ с. ш. 39°52′05″ в. д.	
Открытое акционерное общество “Пеленг” (бел. *ААТ «Пеленг»*)	Республика Беларусь, г. Минск, ул. Макаёнка, 25, 220114	53°54′58″ с. ш. 27°37′20″ в. д.	
Акционерное общество Научно-исследовательский институт газоразрядных приборов “Плазма”	г. Рязань, ул. Циолковского, 24, 390023	39°45′39″ с. ш. 54°36′39″ в. д.	
Акционерное общество “Центральный научно-исследовательский институт «ЦИКЛОН”	г. Москва, Щёлковское шоссе, 77, 107497	55°48′41″ с. ш. 37°48′16″ в. д	

Висновки

Основною перевагою БМД-4М у порівнянні з ранніми моделями бойових машин десанту є потужне озброєння, що дозволяє вражати різні цілі, проте низька захищеність не дозволяє симетрично протидіяти лобовому захисту танків та іншим засобам ураження, а використання її як машини прориву і для дій в тилу ворога (як декларується) є недоцільним.

В ході дослідження виявлено важливий недолік базової алюмінієвої броні БМД-4М, а саме низьку відкольну стійкість. Цей факт свідчить про неприйнятно низький рівень балістичної стійкості, оскільки кількість фрагментів, які утворюються всередині бойового відділення внаслідок влучання кінетичних засобів ураження і стають власне додатковими уражаючими елементами, в десятки разів перевищує кількість зовнішніх балістичних загроз. При дослідженні встановлено, що саме цей фактор став летальним для екіпажу ворожої БМД-4М і причиною виведення з ладу більшості внутрішнього обладнання.

Базова броня корпусу БМД-4М вразлива до ПТРК, кумулятивних засобів ураження, підкаліберних снарядів, стрілецьких боєприпасів калібром від 7.62 мм (з кулею Б-32) і вище, а також осколків артилерійських снарядів.

Не дивлячись на те, що БМД-4М прийнята на озброєння рф у 2016 році, виріб є концептуально застарілим, а уніфікація з БМП-3 є цьому підтвердженням. У зв'язку з цим, шляхи модернізації корпусу в частині балістичного захисту дуже обмежені. Крім того, зовнішні габарити також суворо обмежені на користь десантування, оскільки в повітряне судно повинно поміщатись три зразки БМД-4М.

Сучасні концепції танкобудування такі, що трансмісія виноситься в головну частину бойової машини, щоб краще захистити екіпаж. В БМД-4М першими удар приймають люди, а боєкомплект основної зброї знаходиться всередині машини без додаткового захисту і при детонації 100 мм снарядів весь екіпаж гарантовано загине.

Застосування бойового модуля Б8Я01 на всіх машинах підрозділу є недоцільним, ускладнений вихід десанту через особливості компонування, мала кількість десантників на борту (5 чол.) і при цьому простір всередині дуже обмежений якщо бійці у повному бойовому спорядженні. Логічно було б бойове відділення встановлювати лише на «машини вогневої підтримки десанту», а для транспортування десанту використовувати, наприклад, БТР МДМ "Ракушка" місткістю 13+2 особи, оскільки рівень захисту цих машин приблизно однаковий. Перевага БМД-4М — вогнева потужність, БТР — кількість десантників.

При виконанні дослідно-конструкторських робіт з розроблення нових чи модернізації існуючих бойових машин, в частині захищеності необхідно врахувати потужне озброєння БМД-4М, а саме наявність бойових частин тандемного типу 100 мм ПТКР 9М117М1-3 та можливість застосування ракет "Сектор", що вражають бронетехніку на прольоті зверху, а також врахувати це при відпрацюванні оперативно-тактичних вимог та технічних завдань на розробку ББМ.

Не дивлячись на світові тенденції в частині захисту з нижньої сфери, в конструкції БМД-4М не вжито жодних заходів з покращення протимінного захисту порівняно з ранніми моделями БМД.

Суттєвим недоліком БМД-4М є її вартість, з відкритих джерел це становить більше 80 млн. рублів (станом на 2022 рік), що приблизно на 10% дорожче танка Т-90А [9].

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Військові України захопили БМД-4М та рідкісні РПГ-30. веб-сайт. URL: https://militarnyi.com/uk/news/vijskovi-ukrayiny-zahopyly-bmd-4m-ta-ridkisni-rpg-30/#;
2. Аеророзвідники бригади "Кара-Даг" знищили російську БМД-4М на Запорізькому напрямку. веб-сайт. URL: https://suspilne.media/zaporizhzhia/743655-aerorozvidniki-brigadi-kara-dag-znisili-rosijsku-bmd-4m-na-zaporizkomu-napramku-ngu/;

3. В Часовому Яру знищили 4 російських БМД-4М. веб-сайт. URL: https://militarnyi.com/uk/news/v-chasovomu-yaru-znyshhyly-4-rosijskyh-bmd-4/#;
4. Блог сайта http://btvt.info - танки, новые технологии, война, история. веб-сайт. URL: https://btvtinfo.blogspot.com/2025/04/bradley-22-ods-sa.html
5. У рф порівняли M2 Bradley зі своєю БМП-3 та дійшли вкрай невтішних висновків. веб-сайт. URL: https://www.unian.ua/weapons/m2-bradley-rosiyani-porivnyali-amerikansku-mashinu-zi-svoyeyu-bmp-3-yaki-visnovki-zrobili-12968871.html?utm_source=ukrnet_news
6. Давидовський Л.С., Бісик С.П. та інші. Дослідження новітнього російського бронеавтомобіля підвищеної захищеності "Тайфун-К" / Journal of Scientific Papers "Social development and Security". 2025.Том 15 № 3. С. 119-141. DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.13.
7. Боевая машина десанта БМД-4. веб-сайт. URL: https://modelist-konstruktor.com/bronekollekcziya/boevaya-mashina-desanta-bmd-4;
8. БМД-4, Боевая машина десанта веб-сайт. URL: https://www.drive2.ru/c/452868224711681127/;
9. Боевая машина десанта БМД-4М в тупике. веб-сайт. URL: https://andrei-bt.livejournal.com/157994.html;
10. БМД-4М. веб-сайт. URL: https://warriors.fandom.com/ru/wiki/%D0%91%D0%9C%D0%94-4%D0%9C;
11. Боевую машину десанта БМД-4М приняли на вооружение 5 лет назад. веб-сайт. URL: https://rg.ru/2021/04/29/boevuiu-mashinu-desanta-bmd-4m-priniali-na-vooruzhenie-piat-let-nazad.html;
12. БМД-4/ оьект 960 «Бахча-У» БМД-4М "Садовница". веб-сайт. URL: http://militaryrussia.ru/blog/topic-565.html;
13. Бали за знищення ворога: як нараховують бонуси у ЗСУ і для чого це потрібно. веб-сайт. URL: https://www.rbc.ua/rus/news/bali-znishchennya-voroga-k-narahovuyut-bonusi-1746009738.html#goog_rewarded;
14. Боевая машина десанта: зачем российской армии БМП-лайт? веб-сайт. URL: Боевая машина десанта: зачем российской армии БМП-лайт?;
15. Global armoured vehicles market report. веб-сайт. URL: http://www.defenceiq.com/amoured-vehicles/articles/summary-of-globalarmoured-vehicle-market-report-2;
16. How will we fight in the future? IAV 2025: Vehicle Exhibit Preview. веб-сайт. URL: https://www.defenceiq.com/events-internationalarmouredvehicles/downloads/how-will-we-fight-in-the-future-iav-2025-vehicle-exhibit-preview?-ty-m;
17. Боевой модуль Б8Я01 «Бахча-У» для легких БМП. веб-сайт. URL: http://www.dogswar.ru/artilleriia/pyshki-gaybicy/8611-boevoi-modyl-b8ia01-.html © dogswar.ru$
18. Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт «ЦИКЛОН». веб-сайт. URL: https://sbis.ru/contragents/7718159209/771801001;
19. Pulse-electronics. Макро Груп – Официальный представитель. веб-сайт. URL: https://www.macrogroup.ru/producers/pulse-electronics;
20. Atmel. веб-сайт. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel;
21. Microchip. веб-сайт. URL: https://www.microchip.com/;
22. Paul J. Hazell. (2016). Armour. Materials, Theory, and Design. The University of New South Wales. Conderra. Australia: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group;
23. Ashok Bhatnagar. (2016). Lightweight Ballistic Composites. Military and Law-Enforcement Applications. Second Edition. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering: Number 71
24. STANAG 4569 edition 1, "Protection levels for occupants of logistic and light armored vehicles", NSA/0533-LAND/4569;

25. Давидовський Л.С., Бісик С.П., Визначення напрямів підвищення захищеності бойових броньованих машин на основі аналізу бойових уражень / Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗС України. Вип. 1(68). К. : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2018. С. 45-54.
26. Давидовський Л.С., Бісик С.П., Аналіз механогенезу травмування екіпажу бойових броньованих машин при підриві на мінно-вибухових пристроях / Військово-технічний збірник. № 13. Львів: НАСВ, 2015. С. 34–40;
27. Mine Resistant Ambush Protected. веб-сайт. URL: http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mrap.htm;
28. Бісик С.П., Давидовський Л.С. та інші. Обґрунтування рівнів протимінної стійкості бойових броньованих машин / Зб. наук. праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ / ЦНДІ ОВТ ЗС України. Вип. 2 (69). К. : ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2018. С. 5–22.
29. Особливості конструкції протимінних сидінь бойових броньованих машин з врахуванням ергономічного фактору/ Давидовський Л. С. // Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України. ХНУПС ім. Кожедуба. – 2017. – Вип. 1(26). С. 133-139.
30. Davydovs'kyi, L. S. and others. Alternatives of Energy Absorption Element Design Parameters for an Armored Combat Vehicle Seat Under Explosive Loading / Strength Materials volume51, 900–907 (2019). https://doi.org/10.1007/s11223-020-00140-7
31. Давидовський Л.С., Бісик С.П. та інші. Дослідження енергопоглинаючого елемента протимінного сидіння бойової броньованої машини / Озброєння та військова техніка : щокв. наук.-техн. журн. / ЦНДІ ОВТ ЗСУ. 2017. №1 (13). С. 24-33. https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.1(13).24-33

References

1. Ukrainian military captured BMD-4M and rare RPG-30. URL: https://militarnyi.com/uk/news/vijskovi-ukrayiny-zahopyly-bmd-4m-ta-ridkisni-rpg-30/#;
2. Aerial reconnaissance of the Kara-Dag brigade destroyed a Russian BMD-4M in the Zaporizhia direction. URL: https://suspilne.media/zaporizhzhia/743655-aerorozvidniki-brigadi-kara-dag-znisili-rosijsku-bmd-4m-na-zaporizkomu-napramku-ngu/;
3. Russian BMD-4Ms were destroyed in Chasovoye Yar. URL: https://militarnyi.com/uk/news/v-chasovomu-yaru-znyshhyly-4-rosijskyh-bmd-4/#;
4. Blog site http://btvt.info - tanks, new technologies, war, history. URL: https://btvtinfo.blogspot.com/2025/04/bradley-22-ods-sa.html
5. The Russian Federation compared the M2 Bradley with its BMP-3 and came to extremely disappointing conclusions. URL: https://www.unian.ua/weapons/m2-bradley-rosiyani-porivnyali-amerikansku-mashinu-zi-svoyeyu-bmp-3-yaki-visnovki-zrobili-12968871.html?utm_source=ukrnet_news
6. Davydovskyi, L. S., Bisyk, S. P., & others. (2025). Research of the latest Russian armored vehicle of increased protection "Typhoon-K". *Social Development and Security, 15*(3), 119–141. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.13
7. Airborne combat vehicle BMD-4. URL: https://modelist-konstruktor.com/bronekollekcziya/boevaya-mashina-desanta-bmd-4;
8. BMD-4, Airborne Combat Vehicle. URL: https://www.drive2.ru/c/452868224711681127/;
9. Airborne combat vehicle BMD-4M at a dead end. URL: https://andrei-bt.livejournal.com/157994.html;
10. BMD-4M. URL: https://warriors.fandom.com/ru/wiki/%D0%91%D0%9C%D0%94-4%D0%9C;
11. The BMD-4M airborne combat vehicle was accepted into service 5 years ago. URL: https://rg.ru/2021/04/29/boevuiu-mashinu-desanta-bmd-4m-priniali-na-vooruzhenie-piat-let-nazad.html;

12. BMD-4/ object 960 "Bakhcha-U" BMD-4M "Sadovnitsa". URL: http://militaryrussia.ru/blog/topic-565.html;
13. Points for destroying the enemy: how bonuses are calculated in the Armed Forces of Ukraine and why they are needed. URL: https://www.rbc.ua/rus/news/bali-znishchennya-voroga-k-narahovuyut-bonusi-1746009738.html#goog_rewarded;
14. Airborne Combat Vehicle: Why Does the Russian Army Need a BMP-Lite? URL: Боевая машина десанта: зачем российской армии БМП-лайт?;
15. Global armoured vehicles market report. веб-сайт. URL: http://www.defenceiq.com/amoured-vehicles/articles/summary-of-globalarmoured-vehicle-market-report-2;
16. How will we fight in the future? IAV 2025: Vehicle Exhibit Preview. веб-сайт. URL: https://www.defenceiq.com/events-internationalarmouredvehicles/downloads/how-will-we-fight-in-the-future-iav-2025-vehicle-exhibit-preview?-ty-m;
17. Combat module B8Ya01 "Bakhcha-U" for light infantry fighting vehicles. URL: http://www.dogswar.ru/artilleriia/pyshki-gaybicy/8611-boevoi-modyl-b8ia01-.html
18. Joint-Stock Company "Central Research Institute "CYCLONE". URL: https://sbis.ru/contragents/7718159209/771801001;
19. Pulse-electronics. Macro Group – Official representative. URL: https://www.macrogroup.ru/producers/pulse-electronics;
20. Atmel. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Atmel;
21. Microchip. URL: https://www.microchip.com/;
22. Paul J. Hazell. (2016). Armour. Materials, Theory, and Design. The University of New South Wales. Conderra. Australia: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group;
23. Ashok Bhatnagar. (2016). Lightweight Ballistic Composites. Military and Law-Enforcement Applications. Second Edition. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering: Number 71
24. STANAG 4569 edition 1, "Protection levels for occupants of logistic and light armored vehicles", NSA/0533-LAND/4569;
25. Davydovskyi L.S., Bisyk S.P. Determination of direct improvement of the protection of combat armored vehicles based on the analysis of combat damage. Collection of scientific papers of CRI WME AF of Ukraine. No. 1(68), 2018, pp. 45-54.
26. Davydovskyi L.S., Bisyk S.P. “Analysis of the crew injury mechanogenesis at armored combat vehicles blast on mine-explosive devices, Military and technical collection. No. 13. Lviv: NAA, 2015. pp. 34–40.
27. Mine Resistant Ambush Protected. URL: http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mrap.htm;
28. Bisyk S.P., Davydovskyi L.S. and others. Justification of the levels of anti-mine resistance of combat armored vehicles. Collection of scientific papers of CRI WME AF of Ukraine. No. 2 (69), 2018, pp. 5-22.
29. Davydovskyi L. S. Construction features of antimine seats armored combat vehicles considering the ergonomic factor. Science and technology of the AF of Ukraine. No. 1(26). pp. 133-139
30. Davydovs’kyi L. S., Bisyk S. P. and others. Alternatives of Energy Absorption Element Design Parameters for an Armored Combat Vehicle Seat Under Explosive Loading” Strength Materials volume51, 900–907 (2019). https://doi.org/10.1007/s11223-020-00140-7
31. Davydovskyi L.S., Bisyk S.P. and others. Investigation of energy-absorbing elements of crew antimine seat of combat armored vehicles. Weapons and military equipment, No 1 (13). pp. 24-33. https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.

Шляхи підвищення ефективності ураження БПЛА оперативно-тактичного рівня авіаційною артилерійською зброєю

Ways to Increase the Efficiency of Defeating UAVS of the Operational-Tactical Level with Aviation Artillery Weapons

Володимир Березанський [A]
Corresponding author: кандидат технічних наук, доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: berwog75@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3753-0016

Олекесій Баранік [A]
кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: kozaktur@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-1499-7943

Андрій Даценко [A]
старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: drunya907@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5019-7978

Михайло Сосулін [A]
викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: sosulin@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-0178-621X

Борис Головко [A]
к.т.н., доцент, доцент кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: bo4ka18tonn@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2669-9249

Олександр Сорочкін [A]
старший викладач кафедри комплексів авіаційного озброєння, e-mail: aozhnups@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8336-9978

Volodymyr Berezanskyi [A]
Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: berwog75@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3753-0016

Oleksii Baranik [A]
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: kozaktur@i.ua, ORCID ID: 0000-0002-1499-7943

Andrii Datsenko [A]
Senior lecturer at the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: drunya907@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5019-7978

Mykhailo Sosulin [A]
Lecturer at the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: sosulin@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-0178-621X

Borys Holovko [A]
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: bo4ka18tonn@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2669-9249

Oleksandr Sorochkin [A]
Senior lecturer of the Department of Aviation Weapons Complexes, e-mail: aozhnups@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8336-9978

[A] Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Україна

[A] Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

Received: September 30, 2025 | Revised: October 15, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.11

Мета роботи. Обґрунтування ефективних умов бойового застосування вертольота Ми-24П під час стрільби з гармати ГШ-30К авіаційними патронами МЕ-30 ГШ для підвищення протидії безпілотним літальним апаратам (БпЛА) оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136”.

Метод дослідження. Робота має емпіричний характер і ґрунтується на якісних та кількісних методах аналізу. У дослідженні застосовано математичне моделювання, аналітичні розрахунки ефективності ураження БпЛА та визначення оптимальних умов бойового застосування артилерійської зброї.

Результати дослідження. Обґрунтовано умови бойового застосування гармати ГШ-30К та оптимальну довжину черги в 10 патронів МЕ-30 ГШ для забезпечення ефективного ураження БпЛА оперативно-тактичного рівня не менше заданого рівня. Доведено економічну доцільність застосування авіаційної артилерії у порівнянні з вартістю БпЛА.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження розширює теоретичні уявлення про методи боротьби з БпЛА та обґрунтовує підходи до ефективного використання авіаційної артилерійської зброї для протидії сучасним загрозам.

Практична цінність дослідження. Результати можуть бути використані для удосконалення тактики бойового застосування вертольотів Ми-24П, а також для розробки методичних

Purpose. To substantiate effective combat employment conditions for the Mi-24P helicopter when firing the GSh-30K cannon with ME-30 GSh aviation cartridges to enhance counter-UAV capabilities against operational-tactical unmanned aerial vehicles (UAVs) of the “Shahed-131/136” type.

Method. The study is empirical and is based on qualitative and quantitative analytical methods. It employs mathematical modelling of trajectories, analytical calculations of UAV kill-probability, and determination of optimal combat employment conditions for artillery weapons.

Findings. Conditions for combat employment of the GSh-30K cannon are substantiated and an optimal burst length of 10 ME-30 GSh cartridges is recommended to ensure effective engagement of operational-tactical UAVs at or above a specified level. The study demonstrates the combination of aiming with correction for target motion vector and minimization of exposure to preserve helicopter survivability. The economic feasibility of using aviation artillery compared with the cost of UAVs is also proven.

Theoretical implications. The research expands theoretical understanding of methods for countering UAVs and substantiates approaches to the effective use of aviation artillery against contemporary threats.

Practical implications. The results may be used to improve Mi-24P employment tactics and to develop methodological recommendations for the effective use of aviation artillery armament in counter-UAV operations.

рекомендацій щодо ефективного використання авіаційного артелерійсткого озброєння у боротьбі з БпЛА.

Цінність дослідження. Запропонований новий підхід до застосування авіаційної артилерійської зброї проти БпЛА, зокрема обґрунтована економічна доцільність такого методу та визначені оптимальні умови стрільби.

Обмеження дослідження. Результати дослідження базуються на певних допущеннях щодо характеристик БпЛА та умов бойового застосування. У подальших дослідженнях доцільно розглянути ефективність стрільби по групових цілях, а також можливість інтеграції керованих боєприпасів для підвищення точності ураження.

Тип статті. Емпіричне дослідження.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, авіаційна артилерійська зброя, патрон, вертоліт.

Originality/Value. A novel approach to employing aviation artillery against UAVs is proposed, including justification of the economic rationale for this method and specification of optimal firing conditions.

Research limitations/Future research. The findings are based on certain assumptions regarding UAV characteristics and combat conditions; further research should assess effectiveness against massed/group targets and the potential integration of guided munitions to increase strike accuracy.

Paper type. Empirical study.

Key words: unmanned aerial vehicle, aviation artillery weapon, cartridge, helicopter.

Вступ

Актуальність теми обумовлена зростаючими вимогами до ефективного ураження безпілотних літальних апартів (БпЛА) оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136”.

З огляду на зростаючу роль БпЛА у сучасних військових конфліктах, особливо у зоні бойових дій, зокрема в Україні, розробка ефективних методів їх ураження набуває критичної важливості (Eslami, 2022; Konopka & Taranets, 2024). Військові технології швидко розвиваються, і потреба у вдосконалених засобах боротьби з БпЛА стає все більш актуальною. Запропоновані підходи можуть значно підвищити ефективність авіаційної артилерійської зброї та забезпечити економічно вигідні рішення у військовій сфері.

Теоретичні основи дослідження

Розвиток автономних БпЛА та інновацій у військовій авіації активно досліджується в наукових колах. Робота (Bogomazova, 2023) містить ефективність застосування авіаційного озброєння (АОз) та тісно пов’язана з використанням та впровадженням військових технологій та інновацій у авіаційній техніці (Jones et al., 2023). Аналіз досвіду сучасних війн та конфліктів вказує на те, що тактичну перевагу під час ведення бойових дій отримує сторона, авіаційне озброєння якої відповідає сучасним тактико-технічним вимогам з урахуванням викликів сьогодення.

Ефективність застосування авіаційного озброєння визначається бойовими можливостями комплексу АОз вертольота та характеристиками авіаційних засобів ураження (АЗУ), розвиток і удосконалення яких взаємопов’язаний між собою.

Сьогодні в цьому напрямку проводяться роботи щодо розроблення, модернізації та впровадження у виробництво перспективних зразків озброєння, удосконалення (підвищення) тактико-технічних і експлуатаційних характеристик засобів, комплексів та систем озброєння (Mantellassi & Rickli, 2024).

Одним з таких напрямків є дослідження з розширення бойових можливостей вертольотів, шляхом удосконалення існуючих авіаційних прицільних систем окулярами нічного бачення для розширення можливостей застосування вертольота вночі (Filatov & Chernov, 2021). Однак вимоги щодо забезпечення цілодобовості та всепогодності бойового застосування бойового вертольота потребують щоб його прицільна система мала декілька інформаційних каналів, наприклад: телевізійний, тепловізійний, радіолокаційний та лазерний, які суттєво розширюють можливості цілодобового виявлення та розпізнавання цілі в будь-яку пору року (Zhou, Wang, & Liu, 2020; Chaari, 2025).

Крім того, підвищення ефективності виявлення та ідентифікації повітряних цілей противника авіаційними прицільними системами можливо з використанням штучного інтелекту (ШІ) (Zhang, Khan, & Bennet, 2021; Pettyjohn, 2024).

Виходячи з цього випливає необхідність оновлення наявного парку бойових вертольотів за рахунок його доукомплектування ударними бойовими вертольотами, адаптованими до виконання бойових завдань вночі та мають номенклатуру АОз, що включає керовані авіаційні ракети класу “повітря-повітря” з інфрачервоною або лазерною головкою самонаведення (ГСН) та ефективне авіаційне артилерійське озброєння.

Постановка проблеми

Досвід ведення сучасних війн, зокрема досвід російсько-української війни свідчить про початок нової ери у військовому протистоянні сторін – ери високотехнологічної війни. Недарма російсько-українська війна у багатьох публікаціях іноземних фахівців військової справи отримала назву “WORLD'S FIRST DRONE WAR”, тобто “перша світова війна дронів” (Pettyjohn, 2024; Kunertova, 2024). Дійсно, російсько-українська війна, що починалась як класична артилерійська війна, у подальшому стрімко перетворилась у війну із масованим застосування БПЛА (Nguyen, 2023; Anindea, 2024).

Застосування БпЛА значною мірою розширює бойові можливості щодо ураження цілей противника в різних умовах бойової обстановки, забезпечує підвищення ефективності ураження цілей при суттєвому зменшенні його собівартості та відсутності значної кількості людських втрат власного особового складу, що залучається для проведення операцій (Minculete & Păstae, 2023; Mantellassi & Rickli, 2024). Так звані “безпілотники” надають можливість знищувати новітні, добре захищені зразки озброєння, вести аеророзвідку, вирішувати комплексні завдання зі зміною пріоритетів, наносити точкові удари по об’єктах критичної інфраструктури противника глибоко в тилу та інші завдання (Veilleux-Lepage & Rassler, 2025). Такі засоби ураження за рахунок їх значної кількості та тактики застосування хвилями (масованих ударів) наносять значної шкоди об’єктам як військового, так і цивільного призначення (Hvizda et al., 2025).

Найбільш ефективним засобом протидії оперативно-тактичним БпЛА є застосування протиповітряної оборони (ППО) та зенітної артилерії. Однак, в ситуації значних масованих ударів запаси засобів ураження значно вичерпуються у разі застосування їх хвилями, тому одним із шляхів протидії БпЛА є застосування авіаційної артилерійської зброї (Rhodes, 2024; Dobija, 2023). Зважаючи на малорозмірність згаданих типів цілей та застосування переважно у нічний час, доцільно здійснювати їх ураження посиленою осколковою дією.

Атака цілей БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” здійснюється в нічний час доби, що ускладнює виявлення таких цілей. Малі геометричні розміри, малопотужне теплове випромінювання двигуна БпЛА дозволяють їх виявляти на дальності до 2 км, тому стрільба по БпЛА ведеться, як правило, навздогін (Eslami, 2022; Anindea, 2024).

На теперішній час для боротьби з БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” доцільно застосовувати бойові вертольоти типу Ми-24П або їх удосконалені модифікації. Одним із шляхів розширення бойових можливостей вертольотів є удосконалення тактико-технічних характеристик їх систем, а саме, застосування окулярів нічного бачення, які забезпечують цілодобове бойове застосування авіаційних засобів ураження (Filatov & Chernov, 2021).

Цим зумовлена можливість підвищення ефективності ураження БпЛА оперативно-тактичного рівня при бойовому застосуванні вертольоту Ми-24П, озброєного гарматою ГШ-30К з патронами калібру 30 мм (Nguyen, 2023; Dobija, 2023).

Наразі серед номенклатури авіаційних патронів калібру 30 мм з посиленою осколковою дією варто виділити багатоелементні патрони МЕ-30 ГШ, особливістю застосування яких є утворення конусоподібної хмари осколків масою до 6 г, що рухаються у напрямку цілі. Такий підхід використовується у комплексі ППО Skynex, який має 35-мм автоматичну гармату Oerlikon Mk3 для боротьби з безпілотниками та крилатими ракетами.

Сьогодні німецький концерн Rheinmetall пропонує концепцію системи протиповітряної оборони у країнах Європейського Союзу, яка включає Skyranger 30 з можливістю його подальшого удосконалення керованими ракетами для протидії БпЛА (Rhodes, 2024; Mantellassi & Rickli, 2024). Для розширення можливостей Skyranger 30 проводиться інтеграція протидронової керованої ракети SADM до складу цього комплексу.

Таким чином, одним з ефективних засобів протидії БпЛА оперативно-тактичного рівня типу "Shahed-131/136" слід вважати застосування армійської авіації, озброєння якої повинно включати сучасні зразки керовані авіаційні засоби ураження (КАЗУ) класу "повітря-повітря" та потужну авіаційну артилерійську зброю калібру 30 мм.

Метою статті є обґрунтування ефективних умов бойового застосування вертольота Ми-24П під час стрільби з гармати ГШ-30К авіаційними патронами МЕ-30 ГШ для підвищення протидії БпЛА оперативно-тактичного рівня типу "Shahed-131/136".

Результати

При дослідженні ефективності ураження повітряної цілі прийнято розглядати наступні етапи бойового застосування: етап виявлення та розпізнавання цілі та етап її ураження.

Реалізація *першого етапу* у разі неможливості виявлення власними прицільними системами вертольота можлива за рахунок підсвічування цілі за допомогою лазерного маркера іншого авіанавідника (БпЛА) або цілевказання наземними системами "Віраж-Планшет" (Konopka & Taranets, 2024).

Реалізація *другого етапу* стає можливою за умови забезпечення вимог дозволеної дальності стрільби.

Аналізуючи комплектацію, аеродинамічну компоновку та площу "Shahed-131/136" можливо зробити висновок, що така повітряна ціль дуже складна для виявлення, внаслідок малої фронтальної площі (0,39 м^2) та використання композитних матеріалів у конструкції БпЛА (Eslami, 2022; Hvizda et al., 2025). Також необхідно використовувати таку характеристику як теплова помітність БпЛА, враховуючи тривалість його польоту територією України від 2 до 6 годин. Звідси авіаційна прицільна система повинна включати у своїй структурі тепловізійний канал з дальністю виявлення повітряної цілі від 6 до 8 км (Filatov & Chernov, 2021; Zhou, Wang, & Liu, 2020).

За таких умов ефективне ураження БпЛА можливе при застосуванні керованих авіаційних засобів ураження класу "повітря-повітря", оснащених інфрачервоною ГСН, або некерованих АЗУ з посиленою осколковою дією у напрямку цілі. Зважаючи на тактику застосування БпЛА, ускладнені маршрути їх польоту та переміщення на основі фігури "вісімка", найбільш ефективним є застосування керованих ракет класу "повітря-повітря" з інфрачервоною ГСН (Nguyen, 2023; Dobija, 2023). Однак, при зростанні кількості хвиль та значному збільшенні загальної кількості застосування БпЛА (більше 100 шт.) значно виснажуються засоби ППО та бойові комплекти повітряних суден. Тому виникає необхідність застосування авіаційного артилерійського озброєння з посиленою осколковою дією, яка за рахунок масового використання більш дешевих у виробництві боєприпасів, може компенсувати неточності внаслідок постійної зміни профілю польоту БпЛА типу "Shahed-131/136" (Rhodes, 2024; Pettyjohn, 2024).

Обговорення

Авіаційна артилерійська зброя (ААЗ) являється зброєю ближнього повітряного бою з дальністю бойового застосування до 2000 м. Ефективна дальність стрільби з гармати ГШ-30К по повітряній цілі становить 1200-1500 м з урахуванням типу патронів.

В статті пропонується при стрільбі по повітряних цілях типу БпЛА використовувати патрони МЕ-30 ГШ, які мають особливість застосування, зумовлену наявністю дистанційного

підривника ВУ-30 у складі снаряду (Berezanskyi, 2025; Rhodes, 2024). Час спрацювання такого підривника становить 1,1-1,5 с, що відповідає дальності ураження цілі 963-1312 м. Для ефективного ураження БпЛА необхідно узгодити фіксовану дальність стрільби, за якої буде забезпечено спрацювання підривника снаряда попереду повітряної цілі із заданою густиною потоку осколків.

Густина розльоту осколків під час підриву одного снаряду здійснюється нерівномірно та в конусі їх розльоту представляють собою до двадцяти кульових поясів (технічні параметри наведені за Berezanskyi, 2025). Максимальна кількість осколків в одному кульовому поясі відповідає середньому значенню між осколковими поясами. Звідси для ефективного ураження БпЛА типу “Shahed-131/136” максимальною густиною потоку осколків, а саме центральним поясом осколків, необхідно обґрунтувати оптимальну відстань підриву снаряду перед ціллю.

Оптимальну відстань підриву снаряда перед ціллю визначимо з розрахунку висоти конуса розльоту осколків снаряда МЕ-30 ГШ, враховуючи при цьому ширину БпЛА типу “Shahed-131/136” та кути нахилу розльоту і щільності осколкового поля. Звідси оптимальна відстань підриву снаряда перед ціллю буде відповідати половині висоти конуса.

Розрахунок ураження БпЛА проводиться за умови, що густина потоку осколків повинна максимально накривати площу БпЛА. Щільність потоку осколків визначимо за формулою (1):

$$\Delta_i = \frac{N_i}{S_i} = \frac{N_i}{2\pi R_S^2(\cos\varphi_i - \cos\varphi_{i+1})}, \quad (1)$$

де N_i – кількість осколків у даному секторі розльоту;

S_i – площа поверхні сектору розльоту;

R_s – радіус сектору розльоту;

φ_i, φ_{i+1} – кути, що визначають межі конусів сектору розльоту осколків.

Визначення площі конусу сектора розльоту проведемо з урахуванням того, що розгорткою бічної поверхні конуса є круговий сектор:

$$S_i = \frac{\pi l^2 \alpha}{360}, \quad (2)$$

де l – бічна сторона поверхні конусу;

α – центральний кут кругового сектору, який згідно технічного опису патрона МЕ-30 ГШ дорівнює 8°.

Бічну сторону поверхні конусу можливо знайти з прямокутного трикутника, що представляє собою гіпотенузу трикутника, яка з висотою трикутника утворює кут 4°, а інша сторона трикутника дорівнює половині довжини розмаху крил БпЛА за умови, що спрацювання підривника відбулося попереду цілі. Значення характеристик осколкової дії патрона МЕ-30ГШ представлені у табл.1.

Таблиця 1 – Характеристики осколкової дії патрона МЕ-30ГШ

Тип патрона	*Характеристики уражаючої дії МЕ-30*		
	S_i, *м²*	N_i, *шт.*	Δ_i, *шт./м²*
МЕ-30 ГШ	*23*	*28*	*1, 22*

Джерело: підготовлено автором за матеріалами *Berezanskyi, V. (2025)*

З аналізу табл. 1 маємо, що внаслідок малого розміру БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” необхідно забезпечити спрацювання підривника попереду самої

цілі шляхом забезпечення фіксованої дальності стрільби по ній із заданою довжиною черги снарядів (Eslami, 2022; Hvizda et al., 2025).

Для забезпечення ефективного ураження БпЛА необхідно обґрунтувати умови атаки цілі, а саме ракурс цілі, за якого забезпечується максимальна видима площа цілі. Тоді площа БпЛА типу Shahed-131/136" (рис. 1) може бути знайдена за виразом:

$$S_{БпЛА} = l_p \cdot l_y, \quad (3)$$

де l_p – реальна довжина БпЛА;

l_y – умовна апроксимаційна ширина БпЛА.

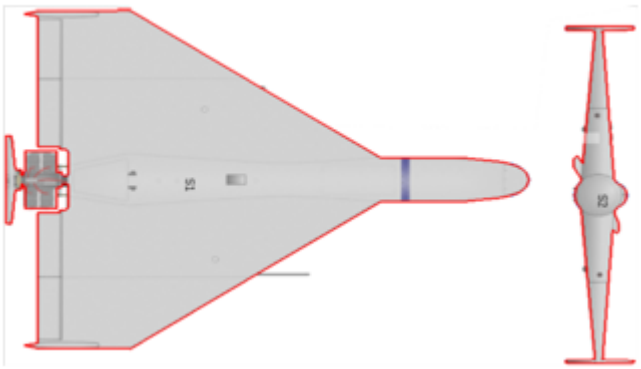
Для розрахунку довжини БпЛА, яка спостерігається під час її атаки, скористаємося залежністю:

$$\sin(180 - q) = \sin q \frac{l_{вид}}{l_p}, \quad (4)$$

де l_p – реальна довжина цілі;

$l_{вид}$ – видима довжина БпЛА;

q – кут, під яким спостерігається БпЛА.



Площа поверхні БпЛА: вид згори – 4,08 м^2 ; фронтальна – 0,39 м^2

Рисунок 1 – Геометричні розміри БпЛА

Джерело: підготовлено автором за матеріалами *Berezanskyi, V. (2025)*

Припустимо, що ракурс цілі, за якого здійснюється атака БпЛА і який впливає на швидкість зустрічі з ціллю та видиму її довжину, дорівнює 30°.

Під час стрільби з ААЗ необхідно постійно забезпечувати умови безпеки атакуючого вертольота, які визначаються мінімальною безпечною дальністю стрільби:

$$D_{безп} = (v_1 \cos\varphi + v_ц \cos q) t_{вих}, \quad (5)$$

де v_1 – швидкість атакуючого вертольота;

$v_ц$ – швидкість цілі (близько 180 км/год);

$t_{вих}$ – необхідний час для виходу з атаки;

q – ракурс цілі;

φ – кут випередження цілі.

Ефективне ураження БпЛА типу "Shahed-131/136" забезпечуватиметься у разі повного узгодження площі конуса сектору розльоту осколків з максимальною видимою площею цілі за рахунок обґрунтованого ракурсу цілі під час її атаки та фіксованої дальності стрільби.

Дальність стрільби з гармати у передню півсферу БпЛА з бойового вертольота з урахуванням ефективної відстані спрацювання підривника від цілі визначається формулою:

$$D_c = \left(v_0 t_{спр}\right) - D_{спр_n}, \quad (6)$$

де v_0 – початкова швидкість снаряду;

$t_{спр}$ – час спрацювання підривника снаряда, який становить 1,1-1,5 с;

$D_{спр_n}$ – ефективна відстань спрацювання підривника від цілі і складає 25-35 м.

Для обґрунтування довжини черги патронів визначимо імовірність ураження БпЛА одним осколком снаряда:

$$P_{ур_{оск}} = 1 - e^{-S_{БпЛА}\Delta_i}, \quad (7)$$

Тоді імовірність ураження БпЛА при стрільбі з гармати чергою довжиною п пострілів визначимо за формулою:

$$W = 1 - \left(1 - \frac{P_{ур_{оск}}}{\omega}\right)^n, \quad (8)$$

де ω – задана кількість влучань в ціль;

n – кількість патронів, які витрачаються під час однієї атаки цілі.

Обґрунтуємо довжину черги під час стрільби з гармати ГШ-30К патронами МЕ-30 ГШ з урахуванням нанесення збитку цілі не менше заданого та використання можливих режимів стрільби ААЗ.

Довжина черги у ААЗ може змінюватися у широких межах від декількох патронів до повного використання всього боєкомплекту. Фіксовані значення довжини черги залежать в основному від типу авіаційної артилерійської зброї та характеристик цілі (габаритних розмірів, характеристик видимості та дальності до цілі). При збільшенні дальності стрільби, що приводить до зменшення видимих розмірів цілі, довжина черги збільшується для забезпечення надійного її ураження.

При обґрунтуванні довжини черги під час стрільби врахуємо характеристику довжини розосередження черги патронів. Діапазон оптимальних довжин розосередження авіаційних засобів ураження в одному ударі визначається за формулою:

$$l_p = (0,7...1,3) \cdot A_x \cdot \frac{(n-1)^2}{n^2},$$

де A_x – розмір зони відносного розсіювання довільного елемента по осі X, за якою можуть бути визначені нижня (при значенні 0,7) та верхня (при значенні 1,3) межі діапазону довжин розосередження;

$l_{p_{min}}$ – нижня межа діапазону довжин розосередження;

$l_{p_{max}}$ – верхня межа діапазону довжин розосередження.

Для невеликих розмірів цілі доцільно обрати мінімальне значення 0,7 за якого буде досягатися найменше розосередження та найбільша щільність осколків у напрямку цілі.

Режими стрільби з гармати мають три фіксовані значення черги: коротка, середня та довга, які відрізняються між собою кількістю патронів у черзі залежно від темпу стрільби (10, 50, повна витрата боєкомплекту) та часом стрільби для кожної черги – 0,25 с, 1 с і залежно від часу утримання бойової кнопки. Враховуючи це проведемо визначення імовірності ураження безпілотного літального апарату для короткої та середніх черг під час стрільби з гармати у площу поверхні цілі при атаці її зверху (табл. 2).

Таблиця 2 – Характеристики ураження БпЛА патронами МЕ-30ГШ

Черга	Характеристики ураження цілі		
	Площа цілі, м^2	Кількість патронів у черзі	Імовірність ураження БпЛА
“Коротка”	4,08 (2,04)	10	0,98 (0,87)
“Середня”	4,08 (2,04)	50	1 (1)

Джерело: підготовлено автором за матеріалами дослідження *Berezanskyi, V. (2025)*

Аналізуючи наведені у табл. 2 результати можна зробити висновок, що для ураження БпЛА при стрільбі у площу поверхні цілі при атаці її зверху, оптимальна довжина черги повинна складати 10 патронів. При атаці БпЛА у фронтальну площину цілі імовірність її ураження становить 0,742 при довжині черги 10 патронів та дорівнює одиниці за умови що довжина черги містить 50 патронів.

Отже, з метою підвищення ефективності ураження безпілотного літального апарату оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” при застосуванні гармати ГШ-30К з боєкомплектом патронів МЕ-30 ГШ необхідно атакувати ціль з перевищенням над нею 50 м у задню півсферу атаки, оскільки дія осколкової хмари приведе до виводу з ладу двигуна та електричного обладнання (Berezanskyi, 2025; Dobija, 2023)**.**

Основною перевагою бойового застосування ААЗ у задню півсферу БпЛА (навздогін цілі) є те, що за цієї умови можливо точно визначити фіксовану дальність стрільби з гармати порівнюючи швидкості польоту вертольота та цілі (необхідно враховувати тільки власну швидкість вертольота). Під час стрільби завжди виникатиме ситуація, коли підривник буде спрацьовувати у момент руху осколків у напрямку цілі (рух осколків над ціллю та позаду неї виключений) (Rhodes, 2024).

При обґрунтуванні фіксованої дальності стрільби у задню півсферу БпЛА доцільно враховувати режим стрільби з гармати ГШ-30К. БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” постійно удосконалюється шляхом адаптації систем прицілювання та наведення, використанням бойових частин касетного та термобаричного типу, встановленням головок самонаведення підвищеного завадозахисту. В останніх варіантах модернізації БпЛА встановлена камера в задній півсфері для реєстрації факту атаки БпЛА, внаслідок чого відбуваються зміни висоти і швидкості польоту, що ускладнює режим стрільби та виконання умови прицілювання по цілі (Eslami, 2022; Hvizda et al., 2025).

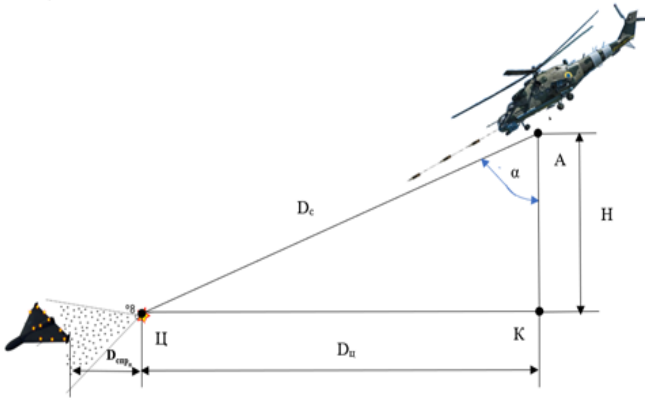


Рисунок 2 – Бойове застосування вертольота Ми-24П під час стрільби з гармати ГШ-30К з пікірування

Джерело: підготовлено автором за матеріалами дослідження *Berezanskyi, V. (2025)*

Зважаючи, що гармата ГШ-30 К вбудована та нерухома найбільш доцільно вести стрільбу з гармати із режиму пікірування. Для цього необхідно визначити кут пікірування та висоту перевищення над ціллю щоб забезпечити максимальну видиму площу цілі та формування максимальної густини осколків під час атаки цілі (Dobija, 2023; Berezanskyi, 2025).

Для цього розглянемо схему бойового застосування вертольота при стрільбі з гармати із режиму пікірування, яка представлена на рис. 2.

Обґрунтування фіксованої дальності стрільби у задню півсферу БпЛА проведемо на основі рис. 2. У трикутнику ΔАЦК сторона ЦК ($D_ц$) представляє горизонтальну дальність до цілі, яка становить добуток часу 1,1-1,5 с переведення підривника у бойове положення на швидкість снаряду 875 м/с під час його польоту до цілі. Обираємо середнє значення 1,3 с, звідси ЦК ($D_ц$) = 1138 м. Однак, для ефективного ураження цілі необхідно спрацювання підривника на відстані 20 м від цілі. Тоді ефективна горизонтальна дальність до цілі Dц становитиме 1118 м. Висота Н представляє перевищення над ціллю і становить Н = 50 м. Кут пікірування α = 30 градусів обрано за умови забезпечення безпеки бойового застосування та видимості площі цілі 50%. У трикутнику ΔАЦК сторона ЦА є його гіпотенузою та представляє похилу дальність стрільби D_c, яка складає 1120 м.

Для точного вимірювання похилої дальності стрільби необхідно застосування лазерного далекоміра на вертольоті, промінь якого добре спостерігається через окуляри нічного бачення (Filatov & Chernov, 2021; Zhou, Wang, & Liu, 2020).

Згідно формули (5) безпечна дальність стрільби становить 600 м, що відповідає безпечним умовам бойового застосування вертольота при стрільбі з гармати ГШ-30К, зважаючи на те, що осколки рухаються спрямовано у протилежний від вертольота бік. У разі влучання снарядів у бойову частину БпЛА із наступним її вибухом вертоліт перебуватиме із перевищенням над ціллю на безпечній відстані від розльоту уламків цілі та продуктів вибуху (Hvizda et al., 2025).

Висновки

У результаті проведеного дослідження запропонований підхід щодо підвищення ефективності ураження БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” при застосуванні авіаційної артилерійської зброї ГШ-30К з боєкомплектом патронів типу МЕ-30 ГШ з бойового вертольота Ми-24П.

Обґрунтовані умови бойового застосування гармати ГШ-30К та оптимальна довжина черги патронів типу МЕ-30 ГШ, а саме 10 патронів у черзі, які забезпечують ефективне ураження БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136 (Berezanskyi, 2025; Dobija, 2023). Визначено оптимальну дальність стрільби з гармати ГШ-30К, за якої забезпечується максимальне накриття цілі потоком осколків снарядів, з урахуванням оптимальної відстані підриву одного снаряду МЕ-30 ГШ перед ціллю.

Запропонований підхід ураження безпілотних літальних апаратів оперативно-тактичного рівня за критерієм ефективність-вартість має перевагу в тому, що вартість самого БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” становить близько 200 тисяч доларів (Eslami, 2022; Anindea, 2024), в той час як вартість черги із 10 патронів калібру 30 мм становить близько 500 доларів.

Подальшим напрямком досліджень доцільно обрати обґрунтування умов бойового застосування авіаційної гармати ГШ-30К з боєкомплектом патронів типу МЕ-30 ГШ для ураження БпЛА оперативно-тактичного рівня типу “Shahed-131/136” у складі групової цілі (декількох цілей).

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Богомазова, В. М. (2023). *Світові технологічні тренди у сфері «Військова авіація»*. Київ: УкрІНТЕІ.
2. Добія, К. (2023). Протидія безпілотним літальним системам у військових операціях. *Safety & Defense, 9*(1), 87–104. URL : https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-1a340843-5cb3-4097-a52f-6fa072ec7144
3. Конопка, В., & Таранець, С. (2024). Протидія сил оборони України засобам повітряного нападу Російської Федерації. *Український історичний журнал, 3*(2), 77–95. URL : https://www.academia.edu/download/116589588/UIJ_2024_3_2.pdf
4. Писаренко, Т. В., Кваша, Т. К., & Гаврис, Т. О. (2021). *Аналіз світових технологічних трендів у військовій сфері*. Київ: УкрІНТЕІ.
5. Пйотровскі, М. (2022). Військово-технічна допомога Україні: оцінка коротко- та середньострокових потреб. Варшава: PISM.
6. Anindea, A. (2024). *Transferring UAVs to Russia: Navigating strategic implications for Iran*. Uppsala University. URL : https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1885453
7. Chaari, M. Z. (2025). *Unprecedented developments in drones on the frontline*. IntechOpen. URL : https://www.intechopen.com/online-first/1225806
8. Dobija, K. (2023). Countering unmanned aerial systems (UAS) in military operations. *Safety & Defense, 9*(1), 87–104. URL : https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-1a340843-5cb3-4097-a52f-6fa072ec7144
9. Eslami, M. (2022). Iran's drone supply to Russia and changing dynamics of the Ukraine war. *Journal for Peace and Nuclear Disarmament, 5*(2), 261–282. https://doi.org/10.1080/25751654.2022.2149077
10. Hvizda, M., Frederick, B., Laufer, A. T., & Evans, A. (2025). *Dispersed, disguised, and degradable: The future of Russian drone warfare*. RAND Corporation. URL : https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA3100/RRA3141-2/RAND_RRA3141-2.pdf
11. Jones, S. G., Harrington, J., Reid, C. K., & Strohmeyer, M. (2023). *Combined arms warfare and unmanned aircraft systems: A new era of strategic competition*. CSIS. *Civil Security*
12. Kunertova, D. (2024). *Learning from the Ukrainian battlefield: Tomorrow's drone warfare, today's innovation challenge*. ETH Zurich. URL : https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/690448
13. Kukkola, J. (2025). *Russia's adaptation in the war against Ukraine (2022–2025)*. ResearchGate. URL : https://www.researchgate.net/publication/395334488
14. Mantellassi, F., & Rickli, J. M. (2024). *The war in Ukraine: Reality check for emerging technologies and the future of warfare*. Geneva Centre for Security Policy. URL : https://www.academia.edu/download/114425875/Emerging_tech_and_the_War_in_Ukraine_7_April_2024_.pdf
15. Marrup, K. (2023). The downfall of Russia's air and space power. In *Russia at War* (pp. 183–205). Royal Danish Defence College. URL : https://research.fak.dk
16. Minculete, G., & Păstae, V. (2023). Essential approaches to combat the use of drones: Specific elements of the armed conflict in Ukraine. *Bulletin of Carol I National Defence University, 12*(1), 45–59. URL : https://revista.unap.ro/index.php/bulletin/article/download/1814/1764

17. Nguyen, M. P. D. (2023). *JCSP 50: UAV usage tactics in the Ukraine war*. Canadian Forces College. URL : https://www.cfc.forces.gc.ca/papers/csc/csc50/mds/NguyenPD.pdf
18. Pettyjohn, S. (2024). Evolution not revolution: Drone warfare in Ukraine. Center for a New American Security. URL : https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS-Report-Defense-Ukraine-Drones-Final.pdf
19. Rhodes, C. (2024). *Small aircraft, sizeable threats: Preparing Army to counter small uncrewed aerial systems*. Australian Army Research Centre. URL : https://researchcentre.army.gov.au/sites/default/files/Australian-Army-Occasional-Paper-24-Dr-Carl-Rhodes.pdf
20. Rossiteris, A. (2021). *Robotics, autonomous systems and contemporary international security*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003109150
21. Veilleux-Lepage, Y., & Rassler, D. (2025). On the horizon: The Ukraine war and the evolving threat of drone terrorism. *CTC Sentinel, 18*(3), 1–15. URL : https://ctc.westpoint.edu/wp-content/uploads/2025/03/CTC-SENTINEL-032025_cover-article.pdf
22. Zhang, Y., Khan, S., & Bennet, P. (2021). Artificial intelligence in UAV target recognition: A review. *Aerospace Science and Technology, 113*, 106687. https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.106687
23. Zhou, J., Wang, H., & Liu, P. (2020). Multisensor fusion for UAV detection: A survey. *IEEE Access, 8*, 128671–128685. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3006782

References

1. Bohomazova, V. M. (2023). *Global technological trends in the field of "Military aviation"*. Kyiv: UkrINTEI.
2. Dobija, K. (2023). Countering unmanned aerial systems in military operations. *Safety & Defense, 9*(1), 87–104. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-1a340843-5cb3-4097-a52f-6fa072ec7144
3. Konopka, V., & Taranets, S. (2024). Countering the means of air attack of the Russian Federation by the Defense Forces of Ukraine. *Ukrainian Historical Journal, 3(2),* 77–95. https://www.academia.edu/download/116589588/UIJ_2024_3_2.pdf
4. Pysarenko, T. V., Kvasha, T. K., & Havrys, T. O. (2021). *Analysis of global technological trends in the military sphere*. Kyiv: UkrINTEI.
5. Piotrowski, M. (2022). *Military-technical assistance to Ukraine: Assessment of short- and medium-term needs*. Warsaw: PISM.
6. Anindea, A. (2024). *Transferring UAVs to Russia: Navigating strategic implications for Iran*. Uppsala University. https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1885453
7. Chaari, M. Z. (2025). *Unprecedented developments in drones on the frontline*. IntechOpen. https://www.intechopen.com/online-first/1225806
8. Dobija, K. (2023). Countering unmanned aerial systems (UAS) in military operations. *Safety & Defense, 9*(1), 87–104. https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-1a340843-5cb3-4097-a52f-6fa072ec7144
9. Eslami, M. (2022). Iran's drone supply to Russia and changing dynamics of the Ukraine war. *Journal for Peace and Nuclear Disarmament, 5*(2), 261–282. https://doi.org/10.1080/25751654.2022.2149077
10. Hvizda, M., Frederick, B., Laufer, A. T., & Evans, A. (2025). *Dispersed, disguised, and degradable: The future of Russian drone warfare*. RAND Corporation. https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RRA3100/RRA3141-2/RAND_RRA3141-2.pdf

11. Jones, S. G., Harrington, J., Reid, C. K., & Strohmeyer, M. (2023). *Combined arms warfare and unmanned aircraft systems: A new era of strategic competition*. CSIS.
12. Kunertova, D. (2024). *Learning from the Ukrainian battlefield: Tomorrow's drone warfare, today's innovation challenge*. ETH Zurich. https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/690448
13. Kukkola, J. (2025). *Russia's adaptation in the war against Ukraine (2022–2025)*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/395334488
14. Mantellassi, F., & Rickli, J. M. (2024). *The war in Ukraine: Reality check for emerging technologies and the future of warfare*. Geneva Centre for Security Policy. https://www.academia.edu/download/114425875/Emerging_tech_and_the_War_in_Ukraine_7_April_2024_.pdf
15. Marrup, K. (2023). The downfall of Russia's air and space power. In *Russia at War* (pp. 183–205). Royal Danish Defence College. https://research.fak.dk
16. Minculete, G., & Păstae, V. (2023). Essential approaches to combat the use of drones: Specific elements of the armed conflict in Ukraine. *Bulletin of Carol I National Defence University, 12*(1), 45–59. https://revista.unap.ro/index.php/bulletin/article/download/1814/1764
17. Nguyen, M. P. D. (2023). *JCSP 50: UAV usage tactics in the Ukraine war*. Canadian Forces College. https://www.cfc.forces.gc.ca/papers/csc/csc50/mds/NguyenPD.pdf
18. Pettyjohn, S. (2024). *Evolution not revolution: Drone warfare in Ukraine*. Center for a New American Security. https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/documents/CNAS-Report-Defense-Ukraine-Drones-Final.pdf
19. Rhodes, C. (2024). *Small aircraft, sizeable threats: Preparing Army to counter small uncrewed aerial systems*. Australian Army Research Centre. https://researchcentre.army.gov.au/sites/default/files/Australian-Army-Occasional-Paper-24-Dr-Carl-Rhodes.pdf
20. Rossiteris, A. (2021). *Robotics, autonomous systems and contemporary international security*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003109150
21. Veilleux-Lepage, Y., & Rassler, D. (2025). On the horizon: The Ukraine war and the evolving threat of drone terrorism. *CTC Sentinel, 18*(3), 1–15. https://ctc.westpoint.edu/wp-content/uploads/2025/03/CTC-SENTINEL-032025_cover-article.pdf
22. Zhang, Y., Khan, S., & Bennet, P. (2021). Artificial intelligence in UAV target recognition: A review. *Aerospace Science and Technology, 113*, 106687. https://doi.org/10.1016/j.ast.2021.106687
23. Zhou, J., Wang, H., & Liu, P. (2020). Multisensor fusion for UAV detection: A survey. *IEEE Access, 8*, 128671–128685. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3006782

Формування умов існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження

Formulation of the Conditions for the Existence of a Mathematical Model for Emergency Prevention in Areas Contaminated by Residues of Rocket and Artillery Strikes

Ніна Рашкевич [A]
Corresponding author: PhD, доцент кафедри, e-mail: nine291085@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5124-6068

Ольга Шевченко [A]
к.т.н., докторант, e-mail: shevchenkoolga2008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2106-5009

Іван Рущак [A]
здобувач, e-mail: feirmen3@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-6654-7863

Володимир Крадожон [A]
здобувач, e-mail: kradozhon.volodymyr_2024phd@nuczu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8037-9636

Вячеслав Краснов [A]
здобувач, e-mail: krasnov.viacheslav_2022phd@nuczu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8445-6843

Nina Rashkevich [A]
Corresponding author: PhD, Associate Professor of the Department, e-mail: nine291085@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-5124-6068

Olga Shevchenko [A]
Candidate of Technical Sciences, Doctoral Student, e-mail: shevchenkoolga2008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2106-5009

Ivan Rushchak [A]
PhD Student, e-mail: feirmen3@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-6654-7863

Volodymyr Kradozhon [A]
PhD Student, e-mail: kradozhon.volodymyr_2024phd@nuczu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8037-9636

Viacheslav Krasnov [A]
PhD Student, e-mail: krasnov.viacheslav_2022phd@nuczu.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-8445-6843

[A] Національний університет цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна

[A] National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.12

Мета роботи. Сформувати умови існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження шляхом вибору геометричних розмірів ділянки проведення комплексної оцінки ґрунтів.

Метод дослідження. Поєднання математичного моделювання, стратифікованого відбору проб ґрунтів та побудови індексної оцінки небезпеки з урахуванням просторової структури забруднення та взаємодії забруднювачів.

Результати дослідження. Запропоновано умови існування математичної моделі, які базуються на виборі оптимальних геометричних розмірів ділянки комплексної оцінки ґрунтів (100×100 м горизонтально та стратифіковані шари глибиною до 2 м).

Теоретична цінність дослідження. Отримані результати розширюють підходи до оцінки небезпеки ґрунтів, інтегруючи багаторівневий аналіз просторового розподілу та типологію взаємодій забруднювачів.

Практична цінність дослідження. Отримані результати дозволять планувати проведення моніторингу, визначати пріоритетні ділянки оцінки небезпеки та заходи з відновлення ґрунтів.

Цінність дослідження. Запропоновано новий підхід до математичного опису поширення загроз у зоні ураження з урахуванням як концентраційного профілю забруднювачів, так і їхньої взаємодії.

Обмеження дослідження. Обмеження стосуються точності початкових даних щодо типу, кількості та складу забруднювачів; дослідження спрямовані на розробку

Purpose. To formation the conditions for the existence of a mathematical model for emergency prevention in areas contaminated by residues of rocket and artillery strikes through the selection of geometric dimensions for the site of comprehensive soil assessment.

Method. The study employs an approach combining mathematical modeling, stratified soil sampling, and the construction of a risk index assessment, taking into account the spatial structure of contamination and pollutant interactions.

Findings. The study proposes the conditions for the existence of a mathematical model based on the selection of optimal geometric dimensions of the comprehensive soil assessment area (100×100 m horizontally and stratified layers up to 2 m deep). Formulas for hazard indices have been established, accounting for different types of pollutant interactions.

Theoretical implications. The results expand existing approaches to soil contamination risk assessment by integrating multilevel analysis of spatial distribution and pollutant interaction typology.

Practical implications. The results support the planning of monitoring activities, identification of priority areas for hazard assessment, and implementation of soil reclamation measures.

Originality/Value. A novel approach is proposed for the mathematical description of threat propagation in the affected zone, considering both pollutant concentration profiles and their interactions.

Research limitations/Future research. Limitations relate to the accuracy of initial data concerning the type, quantity, and composition

математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження.

Тип статті. Теоретичний.

of pollutants. Future research is aimed at the development of a mathematical model for emergency prevention in areas contaminated by residues of rocket and artillery strikes.

Paper type. Theoretical.

Ключові слова: початкові умови, граничні умови, вертикальні розміри, горизонтальні розміри, грунт, надзвичайна ситуація.

Key words: initial conditions, boundary conditions, vertical dimensions, horizontal dimensions, soil, emergency situation.

Вступ

Воєнні дії, що супроводжуються застосуванням ракетно-артилерійських систем (РАС), призводять до масштабного забруднення компонентів довкілля, зокрема ґрунтів [1, 2], які здатні тривалий час акумулювати токсичні речовини. Такий тип забруднення характеризується складною просторово-часовою структурою, високою варіабельністю та значним потенціалом до пролонгованого фізіологічного впливу на населення. Небезпеку становлять синергетичні та адитивні ефекти взаємодії забруднювачів у поєднанні з ускладненими умовами їх міграції в ґрунтовому середовищі. Для проведення комплексної оцінки ступеня забруднення необхідно враховувати як фактори оточуючого середовища, так й типологію взаємодії забруднюючих речовин.

Теоретичні основи дослідження

Забезпечення достовірної оцінки рівня забруднення ґрунтів вимагає обґрунтованого визначення параметрів спостереження – просторового охоплення.

В роботі [3] виділені фактори, що впливають на розподіл важких металів у ґрунтах уражених територій, серед яких тип ґрунту, гранулометричний склад, гідрологічні умови та антропогенне навантаження.

Дослідниками [4–6] висвітлені підходи оптимізації пробовідбору в умовах надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру на територіях, що постраждали внаслідок бойових дій. Запропоновано алгоритм поетапного формування математичної моделі прогнозування забруднення та пов’язаних з цим небезпек.

Показано, що у межах одного поля ґрунтові характеристики можуть значно варіювати, що ускладнює отримання репрезентативних проб та знижує достовірність оцінок без адаптації до локальних умов [7]. З цією метою розробляються спеціалізовані схеми пробовідбору, що враховують локальну гетерогенність, дають змогу підвищити точність картографування сільськогосподарських угідь [8].

У роботі [9] запропоновано метод оптимізації сітки відбору проб для класифікації земель за рівнями забруднення, що базується на супутникових спостереженнях та враховує різні сценарії забруднення. Це дозволяє мінімізувати кількість проб при збереженні високої якості результатів. Додатково, ефективність прогнозування просторового розподілу важких металів можна покращити шляхом використання інтерполяційних моделей з адаптивною точністю, які комбінують дані різної надійності [10].

Моделювання на популяційному рівні мікроорганізмів [11] розширює традиційні підходи до оцінки забруднення, оскільки дозволяє враховувати не лише концентраційні показники, а й просторову структуру впливу забруднювачів та відповідні біологічні реакції організмів.

Проведено порівняння точності кригінг-інтерполяції при використанні двох схем пробовідбору: регулярної сітки та випадкового розподілу. Показано переваги систематичного підходу для забезпечення точності [12].

У роботі [13] запропоновано просторово-часову стратегію пробовідбору, спрямовану на підвищення ефективності оцінювання гідравлічних характеристик ґрунтів. Увагу приділено необхідності поєднання високої просторової щільності та частоти спостережень для

забезпечення достовірності результатів в умовах вираженої гетерогенності ґрунтового середовища.

Дослідниками [14] проаналізовано вертикальний розподіл важких металів у ґрунтовому профілі та оцінено потенційні ризики забруднення підземних вод. Встановлено диференційовану глибину проникнення окремих елементів, що підкреслює доцільність впровадження вертикально-стратифікованого моніторингу для раннього виявлення загроз.

У дослідженні [15] визначено оптимальні параметри глибини пробовідбору та просторової дискретизації для моніторингу важких металів у сільськогосподарських ґрунтах. Отримані результати свідчать про доцільність адаптивного підходу, що враховує тип ґрунту та специфіку міграційної поведінки окремих елементів-забруднювачів.

Запропоновано метод оптимізації схеми пробовідбору для цифрового картографування ґрунтів [16]. Показано, що інтеграція методів машинного навчання сприяє підвищенню точності просторових прогнозів при одночасному зменшенні обсягу вибіркових даних. В огляді [17] представлені сучасні тенденції у картографуванні та управлінні ґрунтами з використанням геостатистичних методів, інтегрованих алгоритмів машинного навчання й дистанційного зондування.

Постановка проблеми

Складність та масштабність забруднення ґрунтів унаслідок бойових дій створюють низку викликів для його просторової оцінки, класифікації рівнів небезпеки та прогнозування наслідків. Наявність значного обсягу вхідних змінних – типів забруднювачів, особливостей ґрунту, гідрогеологічних умов, воєнного навантаження, структури землекористування – вимагає комплексного підходу до аналізу.

Традиційні методи оцінки стану ґрунтів базуються переважно на локальному відборі проб та лабораторному аналізі, що є трудомістким, затратним й потенційно небезпечним у зонах активних бойових дій або поблизу критичної інфраструктури. У зв’язку з цим актуальним є розроблення методу попередження НС в основі якого має бути математична модель з початковими та граничними умовами, що визначають просторові межі небезпеки, забезпечуючи достовірність подальших оцінок та прогнозів.

Методологія дослідження

Мета дослідження – сформувати умови існування математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження шляхом вибору геометричних розмірів ділянки проведення комплексної оцінки ґрунтів.

Для досягнення поставленої мети необхідно визначити початкові та граничні умови математичної моделі, враховуючи базові межі ділянки для проведення комплексної оцінки ґрунтів.

Об’єктом дослідження є процес попередження надзвичайних ситуацій на територіях із підтвердженим техногенним забрудненням, зокрема в умовах пролонгованої небезпеки.

Предметом дослідження є фактори небезпеки поширення надзвичайних ситуацій на території ураження.

Результати

Початковими умовами існування математичної моделі будемо вважати наявність у поверхневому шарі ґрунту хімічно-небезпечних сполук ρ_{saf} на рівні гранично допустимої концентрації (ГДК):

$$\rho_{saf}^{i}(x_0, y_0, z_0, t) = \text{ГДК}^{i}, \quad (1)$$

де x_0, y_0, z_0 – початкові координати джерела забруднення;

i – хімічно-небезпечна сполука, яка досягла своєї межі ГДК^i.

Початкові умови математичної моделі визначають просторовий розподіл воєнного навантаження, яке генерує вхідну концентрацію забруднюючих речовин у поверхневих шарах ґрунту на момент початку моделювання ($t = 0$). Це навантаження відображає наслідки бойового впливу (вибух, горіння тощо), що формує зону первинного забруднення.

Таким чином, у початковий момент часу в точці джерела забруднення концентрація кожного компонента задається на рівні його нормативного граничного значення, що слугує вихідною точкою для подальшого моделювання розповсюдження забруднювачів у ґрунтовому середовищі та визначення меж ділянки для проведення комплексної оцінки.

Основним підходом визначення базових горизонтальних меж ділянки комплексної оцінки ґрунтів на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження (РАУ) є використання універсального кратного розміру ділянки 100×100 метрів, що забезпечує баланс між точністю та практичною придатністю.

Умови визначення таких розмірів включають три основні фактори:

1. Характер та калібр застосованих засобів РАУ. Різні види боєприпасів та калібри зумовлюють масштаби забруднення ґрунту. Горизонтальні розміри ділянки 100×100 м є доцільними для охоплення більшості типових зон ураження, що виникають при застосуванні боєприпасів середнього калібру.

Умова охоплення зони ураження:

$$A_r \geq A_{in} \Rightarrow L \cdot B \geq \pi \cdot R_{in}^2, \quad (2)$$

де A_r – площа досліджуваної ділянки (м²);

A_{in} – площа зони ураження (м²);

R_{in} – характерний радіус зони ураження (м), що залежить від типу/калібру;

L, B – горизонтальні розміри досліджуваної ділянки (м).

2. Типовий розподіл землекористування. Згідно з Державним земельним кадастром, у міських районах приватні ділянки становлять 0,05–0,25 га, а в сільській місцевості – до 0,5–1,0 га. Вибір ділянки розміром 100×100 м дозволяє забезпечити покриття щонайменше кількох суміжних землеволодінь або однієї великої садибної чи присадибної території, що робить такий підхід практично орієнтованим.

Умова узгодженості з масштабом землекористування:

$$A_r = L \cdot B \in \left[A_{max}^{city}, A_{max}^{villeg}\right], \quad (3)$$

де A_{min}, A_{max} – типові мінімальні та максимальні площі землеволодінь (м²),
для міста: $A_{min} = 500$ м², $A_{max} = 2500$ м²;
для села: $A_{max}^{villeg} = 10000$ м².

3. Технічна сумісність з ГІС-технологіями. Горизонтальні розміри ділянки 100×100 м забезпечують зручність інтеграції результатів дослідження в геоінформаційні системи, дозволяючи ефективно зберігати, обробляти, візуалізувати та аналізувати просторові дані.

Для забезпечення сумісності з типовими осередками цифрових карт та алгоритмами просторового аналізу рекомендується: $L = B = 100$ м, або як варіант, кратні значення:

$$L = B = n \cdot 100, n \in \text{N} \quad (4)$$

Система базових умов має вид:

$$\begin{cases} L \cdot B \geq \pi \cdot R_{in}^2 \\ L \cdot B \in [2500, 10000] \\ L = B = n \cdot 100, \ n \in \mathrm{N} \end{cases} \quad (5)$$

$L = B = 100$ м, $A_r = 10000$ м².

Таким чином, базовими горизонтальними межами ділянки комплексної оцінки ґрунтів є 100×100 м, оскільки така площа дозволяє повною мірою охопити зону ураження, спричинену більшістю типів боєприпасів ракетно-артилерійських систем; відповідає типовим розмірам земельних ділянок у сільській місцевості (присадибні, садибні, сільськогосподарські угіддя), а також є узгодженою з агрегованими осередками просторового аналізу у межах міських забудов; крім того, даний розмір масштабується в рамках геоінформаційних систем, забезпечуючи кратність сітки, необхідну для точного картографування та оцінки небезпеки.

Основним підходом визначення вертикальних меж ділянки комплексної оцінки ґрунтів на територіях забруднених залишками РАУ є врахування вимог нормативних документів щодо вибору глибини відбору проб, що враховують як характеристики потенційного забруднення, так й цільове призначення дослідження. Необхідно забезпечувати дотримання гігієнічних нормативів, визначених чинним законодавством України.

Відповідно до Наказу Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1595, яким затверджено Гігієнічні регламенти допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті [18], встановлено ГДК для хімічних сполук, небезпечних для здоров'я людини. До переліку регламентованих речовин входять як неорганічні забруднювачі (зокрема кадмій, свинець, ртуть), так й органічні токсиканти. У разі наявності цих речовин у ґрунтовому середовищі необхідне проведення просторового аналізу поширення забруднення, включно з оцінкою вертикального розподілу, що потребує обґрунтованого визначення глибини відбору проб.

Технічне та методичне обґрунтування вертикальних розмірів ділянки відбору проб ґрунту здійснюється відповідно до положень серії стандартів, які стосуються якості ґрунту та відбору проб ДСТУ ISO 10381 [19–22]. Відповідно до цих документів, глибина відбору проб визначається з урахуванням мети дослідження, фізико-хімічних властивостей забруднювачів, типу джерела забруднення, типу ґрунту, геоморфологічних умов місцевості та гідрогеологічної ситуації. Однією з вимог є застосування стратифікованого підходу, який передбачає поділ ґрунтового профілю на послідовні шари (горизонти), з кожного з яких окремо відбираються проби для встановлення вертикального розподілу забруднення.

Крім того, у документах окреслено особливості відбору проб на урбанізованих та техногенно навантажених ділянках, де глибина пробовідбору повинна враховувати історичне використання території, наявність покриттів (асфальт, бетон), техногенне ущільнення, гідродинамічні бар'єри та можливість накопичення токсикантів на глибших рівнях.

Стандарти передбачають відбір проб із типових глибин:

0–0,1 м – є зоною безпосереднього контакту з людиною, використовується для оцінки поверхневого забруднення внаслідок атмосферного осідання або поверхневого розливу (h_0);

0,1–0,3 м – біологічно активний шар, де зосереджена більшість кореневих систем рослин та мікроорганізмів (h_1);

0,3–0,5 м та 0,50–1 м – перехідні та підгрунтові шари, де відбувається акумуляція забруднювачів внаслідок вертикальної міграції (h_2) та (h_3);

понад 1 м– використовується при глибокому просочуванні забруднювачів або у випадках близького залягання ґрунтових вод (h_4).

Система базових умов має вид:

$$\begin{cases} h_0 = 0 - 0{,}10 \text{ м} \\ h_1 = 0{,}10 - 0{,}20 \text{ м} \\ h_2 = 0{,}30 - 0{,}50 \text{ м} \\ h_3 = 0{,}50 - 1{,}00 \text{ м} \\ h_4 = 1{,}00 - 2{,}00 \text{ м (за потреби)} \\ H_{max} = h_4^{up} \end{cases}, \quad (6)$$

де H_{max} – максимальна глибина, за умови загрози глибинного поширення.

Додаткова умова:

$H_{max} \in [1{,}00; 2{,}00]$ м, якщо $Z_{GW} \leq 2{,}00$ м або $Z_{cap} \leq 2{,}00$ м, де Z_{GW} – глибина залягання ґрунтових вод; Z_{cap} – глибина зони капілярного підняття.

З огляду на вище зазначене, глибина пробовідбору визначається сукупністю стратифікованих шарів:

$$H = \sum_{i=0}^{n} (h_i^{up} - h_i^{low}), \quad (7)$$

де n – це число рівнів стратифікації. Вибір значення n залежить від глибини з якої потрібно отримати репрезентативну інформацію про забруднення.

У межах вирішення задачі з визначення базових вертикальних меж ділянки відбору проб доцільним є застосування багаторівневої схеми стратифікованого пробовідбору: проби слід брати з поверхневого шару (0–10 см) – прямого контакту людини з ґрунтом; біологічно активного шару (10–30 см) – коренева зона рослинності; перехідного шару (30–50 см) – зона стійкого накопичення забруднювачів; підґрунтя (50–100 см), а за потреби – з глибших рівнів (100–200 см), зокрема поблизу зони капілярного підняття або рівня ґрунтових вод. Такий підхід забезпечує репрезентативність результатів, що потрібні для комплексної оцінки ґрунтів на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження.

Якщо розглядати задачу орієнтовану на комплексу оцінку ґрунтів, то доцільно обмежити базові вертикальні межі ділянки рівнем залягання ґрунтових вод. Це зумовлено тим, що саме ця глибина визначає межу потенційного вертикального поширення забруднення та виникнення пролонгованої небезпеки на населення. Такий підхід спрощує структуру оцінки, дозволяючи зосередитися на уразливих горизонтах без втрати загальної аналітичної точності при картографуванні та оцінці небезпеки.

В об’ємі (території) поширення НС $\Omega^{НС}$ відбувається **взаємодія забруднювачів**.

Ізольована дія забруднювачів передбачає, що кожен компонент забруднення ґрунтового середовища впливає незалежно, без взаємного впливу на інші речовини. У цьому випадку токсичний ефект одного елемента не змінюється в присутності інших, а загальний вплив оцінюється як сукупність окремих дій. Ізольована дія на територіях, уражених РАС, можлива при фрагментарному забрудненні, наприклад, за умови локального влучання боєприпасів одного типу або в разі обмеженої хімічної взаємодії компонентів.

$$I_{iso}(x, y, z) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{C_i(x,y,z)}{C_{i,norm}} \cdot w_i \right), \quad (8)$$

де $I_{iso}(x, y, z)$ – індекс небезпеки в точці з координатами (x, y, z);
n – кількість забруднювачів у моделі;
$C_i(x, y, z)$ – фактична концентрація *i*-го забруднювача у точці (x, y, z) (мг/кг);
$C_{i,norm}$ – нормативна гранично допустима концентрація (ГДК) для *i*-го забруднювача;

w_i – ваговий коефіцієнт токсичності або екотоксикологічної небезпеки для *i*-го елементу.

I_{iso} використовується як **базовий варіант**, коли всі забруднювачі діють незалежно. Радіус зони небезпеки R встановлюється при $I_{iso}(x, y, z) \geq 1$. $I_{iso} \geq 1$ означає, що хоча б один або кілька забруднювачів у точці (x, y, z) перевищують свій допустимий рівень з урахуванням токсикологічної ваги – тобто зона **небезпечна**.

Адитивна дія характеризується тим, що сумарний ефект кількох забруднювачів дорівнює арифметичній сумі ефектів кожного з них окремо. Така взаємодія виникає, коли забруднювачі мають схожі токсикологічні властивості, наприклад, важкі метали, які викидаються внаслідок вибухів техніки або руйнування інфраструктури. У цьому випадку початкова умова для сумарного індексу небезпеки I_{sum} може мати вигляд:

$$I_{sum}(x, y, z) = \sum_{g=1}^{G} \left(\sum_{i \in g} \frac{C_i(x,y,z)}{C_{i,norm}} \cdot w_i \right), \quad (9)$$

де g – група забруднювачів із подібним механізмом дії;
G – кількість таких груп.

Синергетична дія виникає тоді, коли спільна присутність кількох забруднювачів призводить до значно вищого токсичного ефекту, ніж можна було б очікувати на основі простої суми їхніх індивідуальних впливів. Така взаємодія може значно посилювати проникнення забруднень у ґрунтовий профіль, змінювати їхню біодоступність, прискорювати міграцію у ґрунтові води або викликати стійкі біохімічні зміни в біоценозах. Є актуальна для вибухонебезпечних речовин, продуктів горіння, залишків палива та важких металів, які можуть взаємно підсилювати токсичний ефект.

$$I_{syn}(x, y, z) = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{i \in g} \frac{C_i(x,y,z)}{C_{i,norm}} \cdot w_i \right) + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left(\gamma_{ij} \cdot \frac{C_i \cdot C_j}{C_{i,norm} \cdot C_{j,norm}} \right), \quad (10)$$

де $\gamma_{ij} > 0$ – коефіцієнт синергічної взаємодії між компонентами i та j.

Антагоністична дія спостерігається тоді, коли один забруднювач знижує токсичність або біодоступність іншого шляхом фізико-хімічної взаємодії, осадження, сорбції чи конкурентного зв'язування в ґрунтовій фазі. може проявлятись у районах з природною буферною здатністю ґрунтів або за наявності мінеральних компонентів, що зв'язують токсиканти. Тоді модель передбачає зменшення ефективної концентрації:

$$I_{anta}(x, y, z) = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{i \in g} \frac{C_i(x,y,z)}{C_{i,norm}} \cdot w_i \right) - \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left(\beta_{ij} \cdot \frac{C_i \cdot C_j}{C_{i,norm} \cdot C_{j,norm}} \right), \quad (11)$$

де $\beta_{ij} > 0$ – коефіцієнт антагоністичного гальмування дії між компонентами i та j.

Врахування типології взаємодій забруднювачів забезпечує підвищення точності прогнозу небезпеки, дозволяє уточнити межі небезпечних зон та обґрунтувати параметри моніторингу й подальших заходів з відновлення ґрунтів.

Висновки

Сформовано початкові та граничні умови математичної моделі попередження надзвичайних ситуацій на територіях забруднених залишками ракетно-артилерійського ураження, яка описує стан ґрунтового середовища на момент початку поширення небезпеки та проведення комплексної оцінки ґрунту.

Початкові умови моделі визначають наявність у поверхневому шарі ґрунту хімічно-небезпечних сполук на рівні гранично допустимої концентрації.

Граничні умови моделі визначають геометричні межі ділянки комплексної оцінки ґрунтів у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Горизонтальні межі обґрунтовано на основі: типових масштабів ураження від засобів ракетно-артилерійського ураження; відповідності стандартам землекористування в межах міських та сільських територій; технічної сумісності з геоінформаційними системами (ГІС) та можливості масштабування. Визначено доцільність використання розміру ділянки 100×100 м.

Вертикальні межі визначено на основі положень серії стандартів ДСТУ ISO 10381, що регламентують стратифікований підхід. Запропоновано п’ятирівневу стратифіковану схему, яка враховує: зону прямого контакту з людиною, біологічно активний шар, зони вертикальної міграції та накопичення забруднювачів, глибини можливого просочування до рівня ґрунтових вод. У випадку виявлення ознак глибокого проникнення забруднювачів рекомендовано проводити оцінку до рівня залягання ґрунтових вод.

У межах об’єму поширення надзвичайної ситуації забруднювачі можуть взаємодіяти між собою за різними типами механізмів: ізольовано, адитивно, синергетично або антагоністично.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Рашкевич Н. В. Питання актуальності визначення небезпеки ґрунтів для потреб відновлювання уражених територій // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Problems of Emergency Situations”*. — Харків: НУЦЗ України, 2023. — С. 118–119.
2. Рашкевич Н. В. Визначення основних джерел забруднення ґрунтів та водних ресурсів під час військових конфліктів // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Problems of Emergency Situations”*. — Черкаси: НУЦЗ України, 2025. — С. 119–120.
3. Рашкевич Н. В. Фактори впливу на розподіл важких металів у ґрунтовому середовищі // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Problems of Emergency Situations”*. — Харків: НУЦЗ України, 2022. — С. 217–218.
4. Рашкевич Н. В., Шевченко Р. І., Ребров О. В. Обґрунтування процедур з оптимізації відбору проб ґрунту з метою попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції “Problems of Emergency Situations”*. — Харків: НУЦЗ України, 2024. — С. 93–94.
5. Бондаренко А. Ю., Рашкевич Н. В., Шевченко Р. І. Методи дослідження стану ґрунтів у контексті вирішення завдань цивільного захисту територіальних громад // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів, студентів, ад’юнктів (аспірантів) “Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих учених”* (м. Черкаси, 16 травня 2024 р.). — Черкаси: ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2024. — С. 12–14.
6. Рашкевич О. С., Рашкевич Н. В., Шевченко Р. І., Хмирова А. О. Етапи формування математичної моделі попередження надзвичайної ситуації в зоні бойових дій // *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції “Innovative Development of Science, Technology and Education”* (1–3 серпня 2024 р., Ванкувер, Канада). — С. 145–149.

7. Kardanpour Z., Jacobsen O. S., Esbensen K. H. Local versus field scale soil heterogeneity characterization – a challenge for representative sampling in pollution studies. *Soil*. 2015. Vol. 2(1). P. 619–645.
8. Wang Y., Qi Q., Bao Z., Wu L., Geng Q., Wang J. A novel sampling design considering the local heterogeneity of soil for farm field-level mapping with multiple soil properties. *Precision Agriculture*. 2023. Vol. 24(4). P. 1–22.
9. Gao B., Lu A., Pan Y., Huo L., Gao Y., Li X., ... Chen Z. Additional sampling layout optimization method for environmental quality grade classifications of farmland soil. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 2017. Vol. 10(12). P. 5350–5358.
10. Ju L., Guo S., Ruan X., Wang Y. Improving the mapping accuracy of soil heavy metals through an adaptive multi-fidelity interpolation method. *Environmental Pollution*. 2023. Vol. 330. 121827.
11. Meli M., Auclerc A., Palmqvist A., Forbes V. E., Grimm V. Population-level consequences of spatially heterogeneous exposure to heavy metals in soil: An individual-based model of springtails. *Ecological Modelling*. 2013. Vol. 250. P. 338–351.
12. Houlong J., Daibin W., Chen X., Shuduan L., Hongfeng W., Chao Y., ... Lina G. Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. *Eurasian Journal of Soil Science*. 2016. Vol. 5(1). P. 62–73.
13. Yu D., Zha Y., Shi L., Bolotov A., Tso C. H. M. Spatiotemporal sampling strategy for characterization of hydraulic properties in heterogeneous soils. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2021. Vol. 35. P. 737–757.
14. Wang Y., Song Y., Li T. Vertical distribution of heavy metals in soil profile and implications for groundwater pollution. *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 254. 113083. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113083
15. Zhang X., Wang H., Li J. Optimal sampling depth and grid resolution for heavy metal monitoring in agricultural soils. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 709. 136111. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136111
16. Wadoux A. M. C., Brus D. J., Heuvelink G. B. M. Sampling design optimization for soil mapping with random forest. *Geoderma*. 2019. Vol. 355. 113913. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113913
17. De Caires S. A., Martin C. S., Atwell M. A., Kaya F., Wuddivira G. A., Wuddivira M. N. Advancing soil mapping and management using geostatistics and integrated machine learning and remote sensing techniques: a synoptic review. *Discover Soil*. 2025. Vol. 2. 53.
18. Міністерство охорони здоров'я України. Наказ від 14 липня 2020 р. № 1595 "Про затвердження Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті". URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text
19. ДСТУ ISO 10381-1:2004 *Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб (ISO 10381-1:2002, IDT)*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58984
20. ДСТУ ISO 10381-2:2004 *Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 2. Настанови щодо методів відбирання проб (ISO 10381-2:2002, IDT)*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58855
21. ДСТУ ISO 10381-4 *Настанови щодо методів дослідження природних, майже природних і оброблюваних ділянок*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52991
22. ДСТУ ISO 10381-5:2009 *Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 5. Настанови з процедури дослідження міських і промислових ділянок щодо забрудненості ґрунту*

(ISO 10381-5:2005, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77011

References

1. Rashkevych, N. V. (2023). *The relevance of determining soil hazard for the restoration of affected areas*. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations"* (pp. 118–119). Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine.
2. Rashkevych, N. V. (2025). *Identification of the main sources of soil and water pollution during military conflicts*. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations"* (pp. 119–120). Cherkasy: National University of Civil Protection of Ukraine.
3. Rashkevych, N. V. (2022). *Factors influencing the distribution of heavy metals in the soil environment*. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations"* (pp. 217–218). Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine.
4. Rashkevych, N. V., Shevchenko, R. I., & Rebrov, O. V. (2024). *Justification of soil sampling optimization procedures to prevent technogenic emergencies*. In *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Problems of Emergency Situations"* (pp. 93–94). Kharkiv: National University of Civil Protection of Ukraine.
5. Bondarenko, A. Yu., Rashkevych, N. V., & Shevchenko, R. I. (2024, May 16). *Methods for studying soil conditions in the context of solving civil protection tasks of territorial communities*. In *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Cadets, Students, and Postgraduates "Science of Civil Protection as a Way of Formation of Young Scientists"* (pp. 12–14). Cherkasy: Chornobyl Heroes Cherkasy Institute of Fire Safety.
6. Rashkevych, O. S., Rashkevych, N. V., Shevchenko, R. I., & Khmyrova, A. O. (2024, August 1–3). *Stages of forming a mathematical model for emergency prevention in the combat zone*. In *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference "Innovative Development of Science, Technology and Education"* (pp. 145–149). Vancouver, Canada.
7. Kardanpour, Z., Jacobsen, O. S., & Esbensen, K. H. (2015). Local versus field scale soil heterogeneity characterization – A challenge for representative sampling in pollution studies. *Soil, 2*(1), 619–645.
8. Wang, Y., Qi, Q., Bao, Z., Wu, L., Geng, Q., & Wang, J. (2023). A novel sampling design considering the local heterogeneity of soil for farm field-level mapping with multiple soil properties. *Precision Agriculture, 24*(4), 1–22.
9. Gao, B., Lu, A., Pan, Y., Huo, L., Gao, Y., Li, X., ... Chen, Z. (2017). Additional sampling layout optimization method for environmental quality grade classifications of farmland soil. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 10*(12), 5350–5358.
10. Ju, L., Guo, S., Ruan, X., & Wang, Y. (2023). Improving the mapping accuracy of soil heavy metals through an adaptive multi-fidelity interpolation method. *Environmental Pollution, 330*, 121827.
11. Meli, M., Auclerc, A., Palmqvist, A., Forbes, V. E., & Grimm, V. (2013). Population-level consequences of spatially heterogeneous exposure to heavy metals in soil: An individual-based model of springtails. *Ecological Modelling, 250*, 338–351.
12. Houlong, J., Daibin, W., Chen, X., Shuduan, L., Hongfeng, W., Chao, Y., ... Lina, G. (2016). Comparison of kriging interpolation precision between grid sampling scheme and simple random sampling scheme for precision agriculture. *Eurasian Journal of Soil Science, 5*(1), 62–73.

13. Yu, D., Zha, Y., Shi, L., Bolotov, A., & Tso, C. H. M. (2021). Spatiotemporal sampling strategy for characterization of hydraulic properties in heterogeneous soils. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 35*, 737–757.
14. Wang, Y., Song, Y., & Li, T. (2019). Vertical distribution of heavy metals in soil profile and implications for groundwater pollution. *Environmental Pollution, 254*, 113083. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113083
15. Zhang, X., Wang, H., & Li, J. (2020). Optimal sampling depth and grid resolution for heavy metal monitoring in agricultural soils. *Science of The Total Environment, 709*, 136111. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136111
16. Wadoux, A. M. C., Brus, D. J., & Heuvelink, G. B. M. (2019). Sampling design optimization for soil mapping with random forest. *Geoderma, 355*, 113913. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.113913
17. De Caires, S. A., Martin, C. S., Atwell, M. A., Kaya, F., Wuddivira, G. A., & Wuddivira, M. N. (2025). Advancing soil mapping and management using geostatistics and integrated machine learning and remote sensing techniques: A synoptic review. *Discover Soil, 2*, 53.
18. Ministry of Health of Ukraine. (2020, July 14). *Order No. 1595 "On approval of hygienic regulations for permissible content of chemical substances in soil"*. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text
19. State Standard of Ukraine (DSTU ISO 10381-1:2004). (2004). *Soil quality. Sampling. Part 1: Guidance on the development of sampling programs (ISO 10381-1:2002, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58984
20. State Standard of Ukraine (DSTU ISO 10381-2:2004). (2004). *Soil quality. Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques (ISO 10381-2:2002, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=58855
21. State Standard of Ukraine (DSTU ISO 10381-4). (n.d.). *Guidelines for the investigation of natural, near-natural and cultivated sites*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=52991
22. State Standard of Ukraine (DSTU ISO 10381-5:2009). (2009). *Soil quality. Sampling. Part 5: Guidance on the procedure for investigation of urban and industrial sites with regard to soil contamination (ISO 10381-5:2005, IDT)*. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=77011

Оцінка взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек "Р" за критерієм теплоти згорання

Assessment of the Relationship Between Classes of Substances of Hazard Category "P" Using the Criterion of Heat of Combustion

Юрій Ключка [A]
Corresponding author: доктор технічних наук, с.н.с., e-mail: klyuchka.yuriy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1066-4217
Костянтин Афанасенко [B]
кандидат технічних наук, доцент, e-mail: armfree0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1877-1551

Yuriy Klyuchka [A]
Corresponding author: Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: klyuchka.yuriy@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1066-4217
Kostiantyn Afanasenko [B]
Candidate of Technical Science, Associate Professor, e-mail: armfree0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1877-1551

[A] Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, Україна
[B] Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

[A] O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkov, Ukraine
[B] National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.13

Мета роботи. Оцінити взаємозв'язок між класами небезпечних речовин категорії "Р" (фізичні загрози) та їх пороговими масами для 1, 2 та 3 класів об'єкта підвищеної небезпеки в Україні, використовуючи критерій теплоти згорання (енергетичного потенціалу), та перевірити наявність системного підходу у встановленні цих мас.

Метод дослідження. Аналіз нормативно-правової бази України (Постанова КМУ №1030); збір та узагальнення даних про теплоту згорання/розкладання для представників кожного класу речовин категорії "Р"; розрахунок сумарного енергетичного потенціалу порогових мас небезпечних речовин для 1, 2 та 3 класів об'єкта підвищеної небезпеки; статистичний аналіз отриманих енергетичних показників (розрахунок середнього значення, стандартного відхилення, відносних співвідношень) для виявлення кореляцій між класами небезпеки та енергетичним потенціалом.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження демонструє значну варіативність та відсутність прямої кореляції між встановленими в Україні пороговими масами для класів речовин категорії "Р" та їхньою теплотою згорання. Це ставить під сумнів теоретичну обґрунтованість (з точки зору єдиного енергетичного критерію) чинної системи класифікації об'єкта підвищеної небезпеки, вказуючи на можливий вплив інших, неенергетичних факторів.

Практична цінність дослідження. Виявлена невідповідність між пороговими масами та енергетичним потенціалом може вказувати на потенційні складнощі при послідовному застосуванні ризик-орієнтованого підходу до управління безпекою об'єкта підвищеної небезпеки в Україні. Результати обґрунтовують необхідність подальших наукових досліджень та потенційного перегляду чи уточнення критеріїв у нормативній базі (Постанова №1030) для забезпечення більш послідовної та науково обґрунтованої класифікації об'єкта підвищеної небезпеки, що сприятиме адекватнішій оцінці та порівнянню ризиків.

Тип статті. Теоретичний, практичний.

Ключові слова: об'єкт підвищеної небезпеки, клас об'єкту, маса речовин, порогова маса.

Purpose. To assess the relationship between the classes of hazardous substances in category "P" (physical hazards) and their threshold masses for high-hazard object classes 1, 2, and 3 in Ukraine, using the criterion of heat of combustion (energy potential), and to verify the presence of a systematic approach in establishing these masses.

Method. Analysis of the Ukrainian regulatory framework (CMU Resolution No. 1030) ; collection and generalization of data on the heat of combustion/decomposition for representatives of each substance class in category "P"; calculation of the total energy potential of threshold masses of hazardous substances for high-hazard object classes 1, 2, and 3 ; statistical analysis of the obtained energy indicators (calculation of mean value, standard deviation, relative ratios) to identify correlations between hazard classes and energy potential.

Theoretical implications. The study demonstrates significant variability and a lack of direct correlation between the threshold masses established in Ukraine for substance classes in category "P" and their heat of combustion. This questions the theoretical justification (from the perspective of a unified energy criterion) of the current high-hazard object classification system, indicating the possible influence of other, non-energetic factors.

Practical implications. The identified discrepancy between threshold masses and energy potential may indicate potential difficulties in the consistent application of a risk-oriented approach to HHO safety management in Ukraine. The results justify the need for further scientific research and potential review or clarification of criteria in the regulatory framework (Resolution No. 1030) to ensure a more consistent and scientifically based classification of high-hazard object's, which will contribute to more adequate risk assessment and comparison.

Paper type. Theoretical, practical.

Key words: high-hazard object (HHO), object class, mass of substances, threshold mass.

Вступ

Промислова діяльність, пов'язана з використанням небезпечних речовин, є невід'ємною частиною сучасної економіки, проте вона несе в собі значні ризики великих аварій. Катастрофічні події, такі як аварія в Севезо, підкреслили необхідність розробки та впровадження суворих міжнародних стандартів для управління цими ризиками. У відповідь Європейський Союз розробив Директиви Seveso, остання з яких, Директива 2012/18/ЄС (Seveso III) , встановлює рамкові вимоги до запобігання великим аваріям та обмеження їхніх наслідків для людини і довкілля [1].

Для України, яка інтегрується в європейський простір, гармонізація національного законодавства з Директивою Seveso III є критично важливим завданням. Ключовим етапом у цьому процесі стало прийняття Постанови Кабінету Міністрів України від 13.09.2022 р. № 1030 "Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки". Цей документ запроваджує в Україні систему класифікації об'єктів підвищеної небезпеки (ОПН), що базується на порогових масах небезпечних речовин [2].

Водночас, ефективність будь-якої системи класифікації ризиків залежить від її внутрішньої узгодженості та наукової обґрунтованості критеріїв. Попередні дослідження вказують на потенційні розбіжності між класом небезпеки ОПН, визначеним за формальними пороговими масами, та фактичним рівнем ризику, що створюється об'єктом. Зокрема, виникає питання, наскільки встановлені порогові маси для різних класів речовин категорії "Р" (фізичні загрози) корелюють з їхнім реальним енергетичним потенціалом, ключовим показником якого є теплота згоряння. Відповідь на це питання є важливою для впровадження послідовного ризик-орієнтованого підходу в управлінні промисловою безпекою [3, 4].

Теоретичні основи дослідження

В [5] розглядається відхід від суто детерміністичних чи імовірнісних методів на користь інтегрованого підходу в оцінці ризиків. В основі методології лежить комплексний індекс ризику, що складається з трьох незалежних параметрів: індексу серйозності наслідків (Severity Index S), індексу ефективності управління безпекою (Management Index M) та індексу вразливості середовища (Vulnerability Index V). Розрахунок індексу серйозності наслідків (S) безпосередньо залежить від фізичних характеристик небезпечних явищ, таких як площа ураження, кінетика процесу та потенціал до ескалації. У цьому контексті оцінка енергії згорання стає ключовим інструментом, оскільки вона дозволяє кількісно визначити вихідну енергію для моделювання цих явищ (пожеж, вибухів) і, відповідно, є необхідною умовою для об'єктивного розрахунку індексу S.

В роботі [6] показано зв'язок між технічним аналізом та адміністративними рішеннями щодо зонування територій. У ньому розглядаються два основні підходи: "заснований на наслідках" (consequence-based), що фокусується на аналізі "найгірших вірогідних сценаріїв", та "заснований на ризику" (risk-based), що враховує імовірність. Для першого підходу, який є поширеним у багатьох країнах ЄС, розрахунок зон ураження від теплового випромінювання та надлишкового тиску є обов'язковим етапом. Оскільки ці зони є прямою функцією вивільненої енергії, оцінка енергії згорання є необхідною вихідною точкою для визначення безпечних відстаней та обґрунтування рішень щодо розміщення житлових, соціальних та інших чутливих об'єктів.

В роботі [7] досліджується соціальний аспект управління промисловими ризиками. Автор доводить, що прозоре та об'єктивне інформування населення про потенційні загрози не лише виконує моральний та юридичний обов'язок, а й сприяє підвищенню довіри до промисловості та регуляторних органів, запобігаючи панічним настроям. Науково обґрунтована оцінка енергії згорання та змодельовані на її основі наслідки (зони ураження,

час розвитку аварії) є тією об'єктивною базою, на якій повинна будуватися ефективна комунікація. Це дозволяє чітко пояснити громадськості суть загроз та логіку превентивних заходів, таких як плани евакуації та вимоги до забудови.

Робота [8] присвячена аналізу каскадних аварій. У роботі вводиться поняття "ескалаційного вектора" (escalation vector) – фізичного явища, що передає руйнівну дію від одного об'єкта до іншого. Основними такими векторами є теплове випромінювання від пожеж та ударна хвиля від вибухів. Інтенсивність цих векторів безпосередньо визначається кількістю вивільненої енергії. Таким чином, оцінка енергії згорання є першим і необхідним кроком для моделювання "ефекту доміно", дозволяючи визначити, чи буде енергія первинної аварії достатньою для руйнування сусіднього обладнання та ініціювання вторинних, більш масштабних аварій.

В роботі [9] автор розширює традиційне уявлення про причини промислових аварій, фокусуючись на технологічних катастрофах, ініційованих природними явищами (Natech). Такі події, як землетруси, повені чи урагани, можуть спричинити руйнування обладнання та втрату герметичності, що призводить до витоку небезпечних речовин. У цьому контексті оцінка енергії згорання дозволяє визначити масштаб вторинних наслідків (пожеж, вибухів) після того, як природний чинник виступив ініціатором аварії. Інтеграція енергетичних розрахунків у моделі Natech-ризиків є необхідною для створення більш стійких та захищених промислових систем.

В звіті [10] представлено методологію, що розглядає планування землекористування як багатокритерійну задачу (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA). При прийнятті рішень необхідно збалансовувати такі критерії, як економічна вигода, соціальні аспекти та рівень безпеки. Результати оцінки енергії згорання слугують джерелом об'єктивних кількісних даних для критерію безпеки. Показники, розраховані на основі енергетичного потенціалу, такі як потенційна кількість жертв (Potential Loss of Life, PLL) або економічні збитки, можуть бути використані в MCDA-моделях для порівняння різних варіантів розвитку територій та вибору збалансованого рішення.

Для даної роботи значення має класифікація речовин за фізичними загрозами, оскільки вона визначає об'єкти, для яких оцінка енергетичного потенціалу є першочерговою задачею. В [1] прийнято 3 основних небезпеки: небезпечні речовини для здоров'я людини, об'єкти інфраструктури (фізична небезпека) та навколишнє природне середовище. До категорії небезпек, що становлять фізичні загрози на об'єктах підвищеної небезпеки відноситься 8 класів речовин:

1. *Вибухові речовини та вироби*. До цієї категорії належать речовини, здатні до надзвичайно швидкого екзотермічного перетворення (детонації), що супроводжується утворенням ударної хвилі та виділенням значної кількості енергії. Їхня головна небезпека полягає у практично миттєвому руйнівному впливі на обладнання та споруди, що робить превентивні заходи та конструкційну стійкість критично важливими.

2. *Горючі гази*. Ця категорія охоплює гази, які утворюють з повітрям займисті суміші в певному діапазоні концентрацій. Їхня небезпека зумовлена високою леткістю та здатністю швидко заповнювати значні об'єми, формуючи вибухонебезпечні парогазові хмари. При ініціюванні, залежно від умов (ступеня загромадження простору, потужності джерела запалювання), може реалізуватися або спалах-пожежа з інтенсивним, але короткочасним тепловим випромінюванням, або вибух парогазової хмари, що генерує руйнівний надлишковий тиск. Енергія згорання є визначальним параметром для обох сценаріїв.

3. *Горючі аерозолі*. Аерозолі в герметичній упаковці, що містять горючі компоненти. Їхня небезпека полягає в тому, що при нагріванні ємність може вибухнути, утворюючи вогняну кулю та розкидаючи палаючі фрагменти. Це створює як теплову, так і механічну загрозу, а також може стати ініціатором більш масштабних пожеж.

4. *Окиснювальні речовини*. Тверді речовини або рідини, які, хоча самі по собі не обов'язково є горючими, здатні підтримувати або значно інтенсифікувати горіння інших матеріалів, зазвичай шляхом виділення кисню. Їхня присутність різко підвищує швидкість вигорання та температуру полум'я, а суміші з горючими речовинами можуть набувати вибухових властивостей. Це ускладнює процес пожежогасіння і вимагає специфічних підходів.

5. *Горючі рідини*. Одна з найпоширеніших категорій на промислових об'єктах. Небезпека визначається температурою спалаху рідини, тобто її здатністю утворювати займисту концентрацію парів над поверхнею. Основний аварійний сценарій — пожежа проливу, що характеризується тривалим та потужним тепловим випромінюванням, яке є головним фактором ескалації аварії ("ефекту доміно"). Оцінка енергії згорання є прямою характеристикою інтенсивності такого теплового потоку.

6. *Самореактивні речовини та органічні пероксиди*. Термічно нестійкі речовини, здатні до інтенсивного екзотермічного розкладання навіть без доступу кисню. Їхня небезпека є внутрішньою, оскільки молекулярна структура містить як окиснювальні, так і відновні групи. Реакція розкладання може бути ініційована нагріванням, ударом або домішками і призвести до вибуху.

7. *Піроформні речовини*. Рідини та тверді речовини, які самозаймаються на повітрі за нормальних умов без зовнішнього джерела ініціювання. Їхня головна особливість — надзвичайно висока ймовірність займання при будь-якому витоку, що робить пожежу практично неминучим наслідком втрати герметичності.

8. *Речовини, що виділяють горючі гази при контакті з водою*. Речовини, які при взаємодії з водою (включаючи вологу з повітря) вступають у хімічну реакцію з утворенням горючих газів (наприклад, водню, ацетилену). Це створює вторинну небезпеку, оскільки спроба загасити первинне загоряння водою може призвести до утворення вибухонебезпечної хмари та значно ускладнити аварійну ситуацію.

В табл. 1 наведені порогові маси небезпечних речовин за класами небезпечних речовин для трьох класів ОПН, а також проведено оцінку співвідношення мас в кожному класі небезпек.

Таблиця 1 – Порогові маси небезпечних речовин за класами небезпечних речовин та категоріями небезпеки

Секція "P" Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури				Співвідношення мас в кожному класі небезпек	
				Q_2/Q_1	Q_3/Q_1
	1 клас	2 клас	3 клас	2 клас	3 клас
P1a ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ	50	10	2	0,2	0,04
P1b ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P2 ЗАЙМИСТІ ГАЗИ	50	10	2	0,2	0,04
P3a ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ	500 (маса нетто)	150 (маса нетто)	45 (маса нетто)	0,3	0,09
P3b ЗАЙМИСТІ АЕРОЗОЛІ	50 000 (маса нетто)	5000 (маса нетто)	500 (маса нетто)	0,1	0,01
P4 ОКИСНЮВАЛЬНІ ГАЗИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P5a ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	50	10	2	0,2	0,04
P5b ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625

Секція “P” Фізичні загрози для об’єктів інфраструктури				Співвідношення мас в кожному класі небезпек	
				Q_2/Q_1	Q_3/Q_1
P5c ЗАЙМИСТІ РІДИНИ	50 000	5000	500	0,1	0,01
P6a САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ	50	10	2	0,2	0,04
P6b САМОРЕАКТИВНІ РЕЧОВИНИ ТА СУМІШІ, А ТАКОЖ ОРГАНІЧНІ ПЕРЕКИСИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P7 ПІРОФОРНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625
P8 ОКИСНЮВАЛЬНІ РІДИНИ ТА ТВЕРДІ РЕЧОВИНИ	200	50	12,5	0,25	0,0625

На рис. 1 відповідно до табл. 1 наведено співвідношення мас в кожному класі небезпек відповідно до наступних залежностей:

$$\delta_{2i} = \frac{Q_{2i}}{Q_{1i}}, \quad (1)$$

$$\delta_{3i} = \frac{Q_{3i}}{Q_{1i}}, \quad (2)$$

де $Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{3i},$ – табличне значення порогових мас і-го класу для 1,2 та 3 класу ОПН.

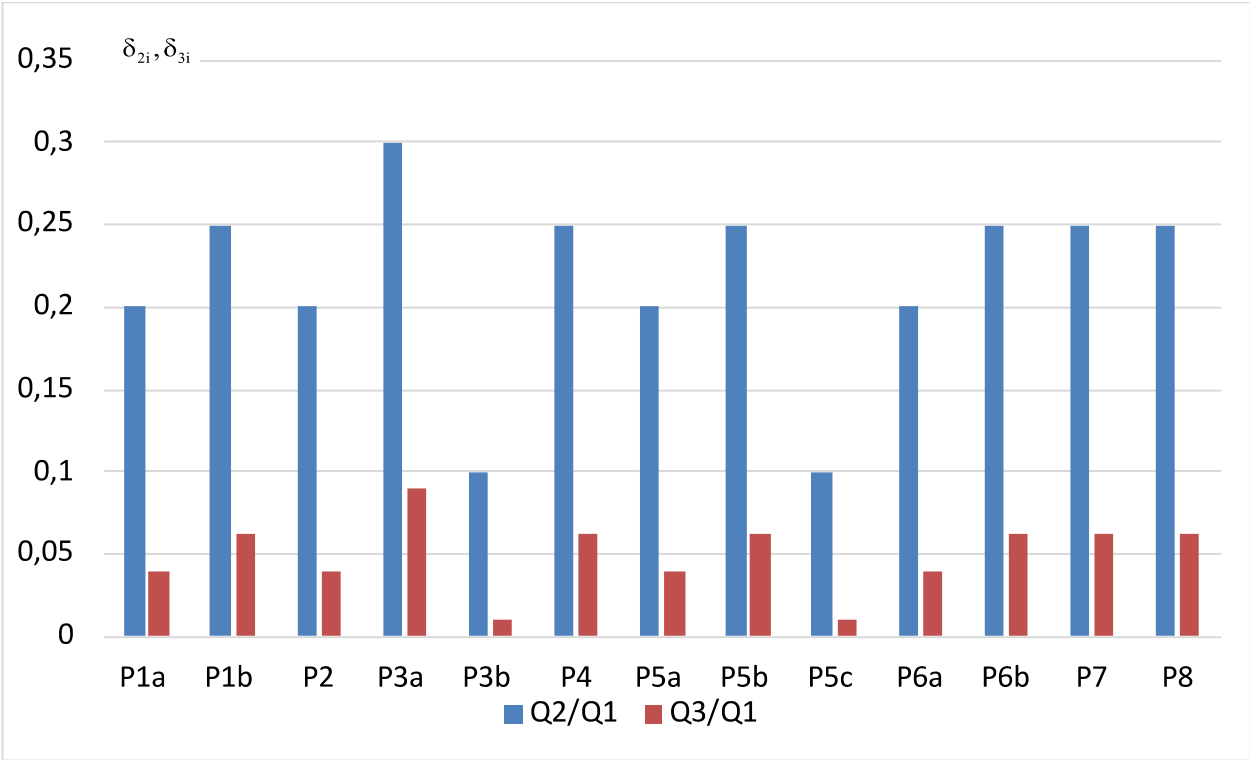


Рисунок 1 – Співвідношення мас небезпечних речовин в класі небезпек

Аналіз рисунку показує нерівномірність співвідношення мас небезпечних речовин в класах. Так δ_{2i} змінюється в інтервалі від 0,1 до 0,3, а δ_{3i} 0,01 до 0,0625. Таким чином δ_{2i} можуть відрізнятися на 200%, δ_{3i} більш ніж на 500%.

Дані результати підтверджують відсутність чіткої системи в визначенні порогових мас для класів.

Постановка проблеми

Оцінка ризику від функціонування об'єкту підвищеної небезпеки та відсутність чіткої системи в визначенні порогових мас для класів небезпечних речовин є актуальною проблемою при запровадженні ризик-орієнтованого підходу. Ця проблематика потребує проведення подальших наукових досліджень та розробки відповідних пропозицій до законодавчої бази.

Метою даної статті є оцінка взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек "Р" (Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури)за критерієм теплоти згорання.

Аналіз включатиме орієнтовну оцінку теплоти згорання порогової маси небезпечних речовин для 8 класів речовин та трьох класів ОПН. Окрім того за допомогою статистичного аналізу планується виявити або ж спростувати наявність зв'язку між класами небезпечних речовин за критерієм кількості енергії, що може бути виділена в результаті участі в аварійній ситуації всієї порогової маси небезпечних речовин.

Методологія дослідження

В основу дослідження покладено аналіз нормативної бази, статистичний аналіз показників небезпечних речовин, що можуть приймати участь в аварії.

Результати

З метою визначення взаємозв'язку класів речовин категорії небезпек "Р" (Фізичні загрози для об'єктів інфраструктури)за критерієм теплоти згорання було проведено оцінку в кожному класі. Звісно, що властивості речовин в кожному класі відрізняються за своїми показниками, тож для цього було використано найбільш поширені речовини з кожного класу. В таблиці 2 наведені приклади речовин та їх енергія згорання. При цьому для такого класу, як окислювальні речовини враховувалася не теплота згорання а потенційна кількість енергії яка може бути виділена при участі 1 кг окисника. При оцінці самореактивних речовин враховувалася енергія розкладання та подальше згорання отриманих горючих речовин. При оцінці вибухових речовин враховувалася не енергія вибуху, а саме згорання. При оцінці речовин, що реагують з водою проводилося врахування енергії, що виділяється при реакції з водою та подальшого горіння отриманих речовин.

Таблиця 2 – Залежність енергії згоряння (участі в згорянні, розкладання та згоряння) небезпечних речовин

Клас небезпечних речовин	Підгрупа	Приклади речовин	* Питома теплота згоряння (Q), кДж/кг
P1 Вибухові речовини	P1a	Нітрогліцерин Тринітротолуол	*6,535 МДж/кг *4,19 МДж/кг
	P1b	Чорний порох	*3,8 МДж/кг
P2 Горючі гази		Метан, пропан	39,8 МДж/кг 48,4 МДж/кг
P3 Горючі аерозолі	P3a	Аерозолі на основі бутану	45,8 МДж/кг
	P3b	Аерозолі на основі диметилового ефіру	28,9 МДж/кг
P4 Окиснювальні речовини		Нітратна кислота Гідроген пероксид	*7-10 МДж/кг *6,8-9 МДж/кг
	P5a	Гептан	44,5 МДж/кг

Клас небезпечних речовин	Підгрупа	Приклади речовин	* Питома теплота згоряння (Q), кДж/кг
P5 Горючі рідини	P5b	Бензин	44 МДж/кг
	P5c	Бензин, ДП	42 МДж/кг
P6 Самореактивні речовини	P6a	Етил азид Триацетон трипероксид	3,5 МДж/кг – розпад *23 МДж/кг 3,1 МДж/кг – розпад *24,7 МДж/кг
	P6b	Метил етил кетон пероксид	2 МДж/кг – розпад , 12,4 МДж/кг
P7 Піроформні речовини		Бутиллітій Білий фосфор	47,3 МДж/кг 24,1 МДж/кг
P8 Речовини, що реагують з водою		Натрій Калій Натрію гідрид	реакції з водою: 8.0 МДж/кг *сумарно 13,3 МДж/кг реакції з водою: 3.0 МДж/кг *сумарно 8,1 МДж/кг реакції з водою: 5.3 МДж/кг *сумарно 15,4 МДж/кг

На основі отриманих даних було побудовано графік залежності енергії згоряння (участі в згорянні, розкладання та згорання, тощо) порогових мас небезпечних речовин відповідно до табл.2 для трьох класів ОПН.

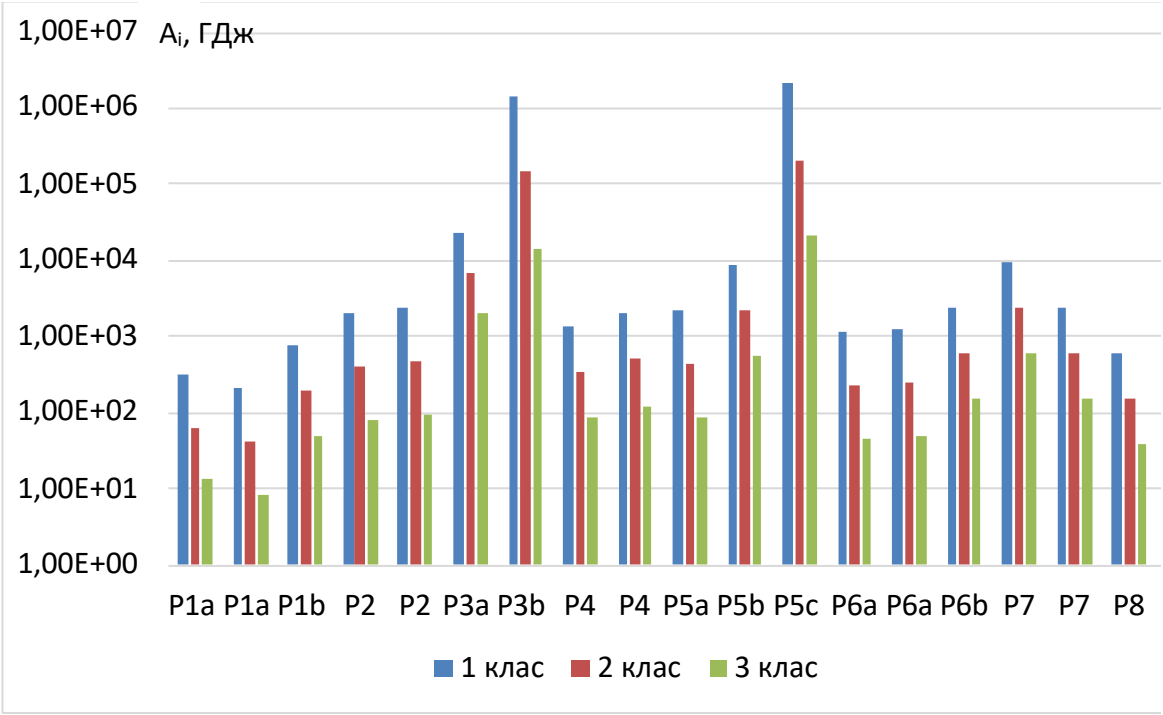


Рисунок 2 – Залежність енергії згоряння (участі в згоранні, розкладання та згорання) порогових мас небезпечних речовин відповідно до табл.2.

Аналіз рисунку показує, що загальна енергія в залежності від класу може відрізнятися в сотні та тисячі разів, що говорить про відсутність взаємозв'язку за даним показником. Більш того, в деяких випадках енергія згорання від небезпечних речовин на ОПН третього класу може перевищувати енергію згорання ОПН першого класу.

Оскільки в деяких класах та підгрупах було розглянуто декілька варіантів речовин, то було проведено усереднення енергії згорання (табл. 3).

Таблиця 3 – Усереднена залежність енергії згоряння A_i (участі в згорянні, розкладання та згоряння) порогових мас небезпечних речовин

Клас небезпечних речовин / Підгрупа	Енергія згоряння (участі в згорянні, розкладання та згорання) порогових мас небезпечних речовин, ГДж		
	1 клас	2 клас	3 клас
P1a	268	53,6	10,72
P1b	760	190	47,5
P2	2205	441	88,2
P3a	22900	6870	2061
P3b	1445000	144500	14450
P4	1700	425	106,25
P5a	2225	445	89
P5b	8800	2200	550
P5c	2100000	210000	21000
P6a	1192,5	238,5	47,7
P6b	2480	620	155
P7	5970	1492,5	373,125
P8	1840	460	115

На основі даних з табл. 3 та статистичного аналізу було отримано стандартне відхилення для вибірки

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(A_i - \overline{A}\right)^2}{n-1}}, \quad (3)$$

де $\overline{A}$ – математичне сподівання;

A_i – *i*-й елемент вибірки;

n=13.

Зведені дані для 1, 2 та 3 класу наведено в таблиці 4.

Таблиця 4– Залежність математичного сподівання та стандартного відхилення для трьох класів

	1 клас	2 клас	3 клас
Математичне сподівання ($\overline{A}$)	276564,7	28302,74	3007,192
Стандартне відхилення (S)	677270,4	67467,4	6689,539

Аналіз таблиці свідчить про високу варіативність, що вказує на те, що багато значень суттєво відрізняються від середнього. Дослідження величини A_i відносно середнього значення підтверджує високу варіативність. На рис. 3 наведено відношення A_i/A для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп.

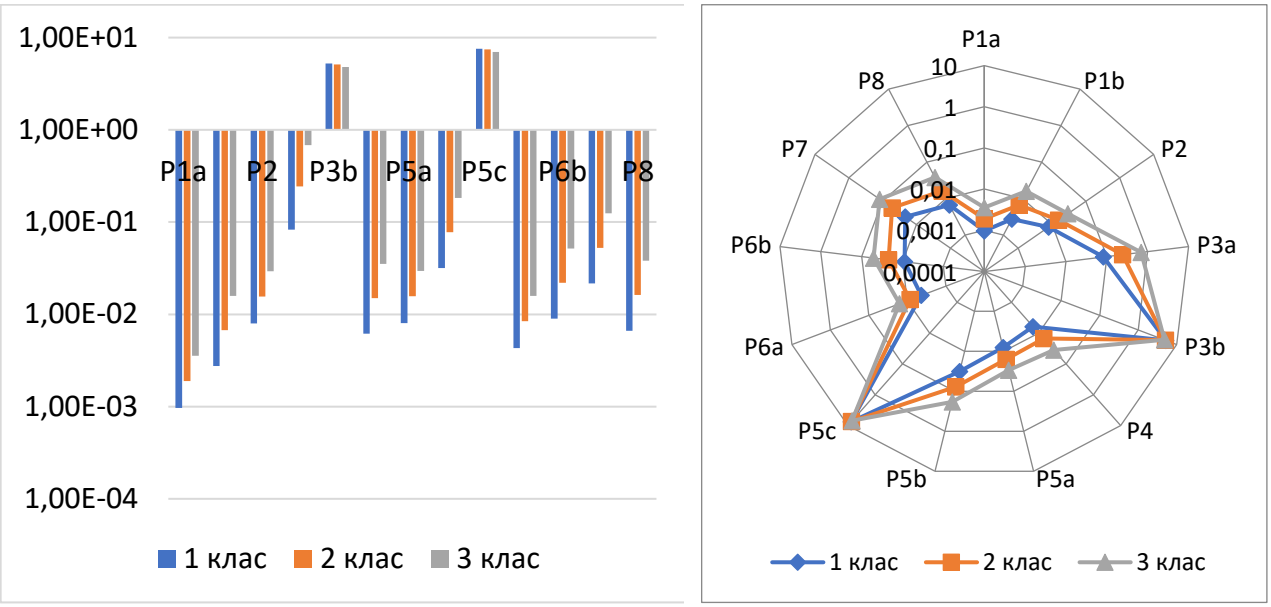


Рисунок 3 – Відношення Ai/A для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп.

Аналіз рисунку показує, що відношення A_i/A для 8 класів небезпечних речовин та їх підгруп може відрізнятися в 1000 разів. Даний факт може суттєво впливати на потенційні ризики, особливо коли причини виникнення НС можуть мати терористичний характер [11].

Обговорення

Результати проведеного дослідження вказують на відсутність прямої та послідовної залежності між встановленими в Україні пороговими масами небезпечних речовин категорії “Р” для різних класів ОПН та їхнім енергетичним потенціалом, вираженим через теплоту згоряння. Розрахована сумарна енергія для порогових мас демонструє надзвичайно високу варіативність, що сягає кількох порядків, між різними класами речовин в межах одного класу ОПН.

Слід визнати й обмеження даного дослідження: аналіз фокусувався переважно на теплоті згоряння (або аналогічних енергетичних показниках розкладу/реакції), використовувалися дані для репрезентативних речовин, а розрахунки для складних процесів (Р4, Р6, Р8) містили певні спрощення.

Тим не менш, виявлена варіативність має важливі практичні та теоретичні наслідки. З практичної точки зору, це ускладнює пряме порівняння рівня ризику об'єктів різних класів лише на основі їхньої формальної класифікації, що може впливати на пріоритети інспектування, вимоги до планування землекористування та комунікацію ризиків. З теоретичної точки зору, результати вказують на необхідність розробки більш диференційованих підходів до оцінки ризику, які б глибше враховували специфіку кожної категорії речовин та сценаріїв аварій, можливо, шляхом введення додаткових коригуючих коефіцієнтів або розробки альтернативних показників небезпеки. Результати також можуть слугувати підґрунтям для подальшого аналізу та потенційного вдосконалення нормативної бази України.

Висновки

1. Проведене дослідження взаємозв’язку між класами небезпечних речовин категорії “Р” (фізичні загрози) та їхніми пороговими масами, встановленими Постановою КМУ № 1030, показало відсутність чіткої кореляції за критерієм теплоти згорання (енергетичного

потенціалу). Аналіз співвідношень порогових мас для 1, 2 та 3 класів ОПН виявив значну нерівномірність між різними категоріями речовин, що свідчить про відсутність єдиного пропорційного підходу при їх встановленні.

2. Розрахунок сумарного енергетичного потенціалу порогових мас для представників кожної категорії речовин “P” продемонстрував високу варіативність цього показника як між різними категоріями речовин в межах одного класу ОПН, так і між самими класами. Енергетичний потенціал для різних категорій може відрізнятися в сотні та тисячі разів у межах одного й того ж класу ОПН.

3. Виявлено аномальну ситуацію: для деяких категорій небезпечних речовин (наприклад, P3b, P5c) розрахований енергетичний потенціал порогової маси для ОПН 3-го класу виявився вищим, ніж для деяких категорій речовин (наприклад, P1a, P6a) на ОПН 1-го класу. Це ставить під сумнів логічну послідовність системи класифікації, якщо її розглядати виключно з точки зору енергетичного критерію.

4. Отримані результати обґрунтовують необхідність подальших досліджень для уточнення критеріїв класифікації ОПН та/або розробки диференційованих підходів до оцінки ризику, які б враховували не лише масу речовини, а й її специфічний енергетичний потенціал та ймовірні сценарії аварій. Це є важливим кроком для забезпечення послідовного впровадження ризик-орієнтованого підходу в Україні.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Directorate for Civil Protection. (2018). *Directive 2012/18/EU (Seveso-III-Directive) — Questions & Answers* (version 2018). URL : https://www.dsb.no/contentassets/b7f3a384ca0b4c318e6d05579d3a2952/questions--answers-seveso-iii-directive-version-2018.pdf
2. Кабінет Міністрів України. Постанова від 13.09.2022 № 1030 “Деякі питання ідентифікації об'єктів підвищеної небезпеки” // Офіц. вісник України. — 2022. — № 75. — ст. 4554. — URL : https://zakon.rada.gov.ua/go/1030-2022-%D0%BF (дата звернення: 2025-10-27).
3. Ключка, Ю. (2025). Кореляція класу об’єкта підвищеної небезпеки, маси небезпечних речовин та його ризику. *Social Development and Security*, *15*(3), 149-162. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.15.
4. Григоренко О. М. Класифікація об’єктів підвищеної небезпеки з урахуванням імплементації директиви Севезо 3 на території України / О. М. Григоренко, Ю. П. Ключка, С. В. Гарбуз // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2017. – Вип. 25. – С. 14-21. – URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2017_25_5.
5. Salvi, O., Kirchsteiger, C., Delvosalle, C., Duijm, N. J., Casal, J., Goossens, L., Mazzarotta, B., Lebecki, K., Wybo, J.-L., Dusserre, G., & Londiche, H. (2002, лютий). ARAMIS: Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of SEVESO II directive. Colloque Urbanisation et Prévention des Accidents Majeurs, Lille, France.
6. Christou, M. D., Struckl, M., & Biermann, T. (Ред.). (2006). Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC (№ EUR 22634 EN). European Commission, Joint Research Centre.

7. Renn, O. (1989). Risk communication at the community level: European lessons from the Seveso directive. Journal of the Air & Waste Management Association, 39(10), 1301–1308. https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466628
8. Chen, C., Reniers, G., & Yang, M. (2022). Safety and security of domino effects in the process industry: The state of the art. У C. Chen, G. Reniers, & M. Yang, Integrating safety and security management to protect chemical industrial areas from domino effects (с. 1–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88911-1_1
9. Krausmann, E. Natech risk assessment and management. European Commission, Joint Research Centre. URL : https://unece.org/sites/default/files/2025-07/ENG_2_Natech_risk_assessment_and_management_Ms._Elisabeth_Krausmann_TechRisk_JRC.pdf.
10. Grønberg, C. D. (Ред.). (2000). Land use planning and chemical sites: Summary report (№ Risø-R-1234(EN)). Risø National Laboratory.
11. Klyuchka Y. (2019). Analysis of consequences of terrorist attacks at hazardous industrial facilities according to directive on prevention of severe accidents. Critical infrastructure protection (NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security, Vol. 52, pp. 13–20). IOS Press. https://doi.org/10.3233/978-1-61499-964-5-13

References

1. Directorate for Civil Protection. (2018). *Directive 2012/18/EU (Seveso-III-Directive) — Questions & Answers* (version 2018). https://www.dsb.no/contentassets/b7f3a384ca0b4c318e6d05579d3a2952/questions--answers-seveso-iii-directive-version-2018.pdf
2. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, September 13). Resolution No. 1030 “Certain issues of identification of high-risk facilities.” *Official Bulletin of Ukraine*, (75), Article 4554. https://zakon.rada.gov.ua/go/1030-2022-%D0%BF
3. Klyuchka, Y. (2025). Correlation Between the Class of a High-Hazard Object, the Mass of Hazardous Substances, and its Risk. *Social Development and Security*, *15*(3), 149-162. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.3.15.
4. Hryhorenko, O. M., Klyuchka, Y. P., & Harbuz, S. V. (2017). Classification of high-risk facilities considering the implementation of the Seveso III Directive in Ukraine. *Problems of Emergency Situations*, (25), 14–21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2017_25_5.
5. Salvi, O., Kirchsteiger, C., Delvosalle, C., Duijm, N. J., Casal, J., Goossens, L., Mazzarotta, B., Lebecki, K., Wybo, J.-L., Dusserre, G., & Londiche, H. (2002, лютий). ARAMIS: Accidental Risk Assessment Methodology for Industries in the framework of SEVESO II directive. Colloque Urbanisation et Prévention des Accidents Majeurs, Lille, France.
6. Christou, M. D., Struckl, M., & Biermann, T. (Ред.). (2006). Land Use Planning Guidelines in the context of Article 12 of the Seveso II Directive 96/82/EC as amended by Directive 105/2003/EC (№ EUR 22634 EN). European Commission, Joint Research Centre.
7. Renn, O. (1989). Risk communication at the community level: European lessons from the Seveso directive. Journal of the Air & Waste Management Association, 39(10), 1301–1308. https://doi.org/10.1080/08940630.1989.10466628
8. Chen, C., Reniers, G., & Yang, M. (2022). Safety and security of domino effects in the process industry: The state of the art. У C. Chen, G. Reniers, & M. Yang, Integrating safety and security management to protect chemical industrial areas from domino effects (с. 1–48). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-88911-1_1
9. Krausmann, E. Natech risk assessment and management. European Commission, Joint Research Centre. https://unece.org/sites/default/files/2025-

07/ENG_2_Natech_risk_assessment_and_management_Ms._Elisabeth_Krausmann_TechRisk_JRC.pdf.
10. Grønberg, C. D. (Ред.). (2000). Land use planning and chemical sites: Summary report (№ Risø-R-1234(EN)). Risø National Laboratory.
11. Klyuchka Y. (2019). Analysis of consequences of terrorist attacks at hazardous industrial facilities according to directive on prevention of severe accidents. Critical infrastructure protection (NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security, Vol. 52, pp. 13–20). IOS Press. https://doi.org/10.3233/978-1-61499-964-5-13

Інженерні рішення пасивного захисту об’єктів від безпілотних літальних апаратів

Engineering Solutions for Passive Protection of Objects from Unmanned Flying Machines

Василь Лоїк
канд. техн. наук, доцент, начальник кафедри цивільного захисту, e-mail: v.loik1984@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3772-1640

Ольга Бабаджанова
Corresponding author: канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цивільного захисту, e-mail: babaganova.ol.52@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0607-4791

Олександр Синельніков
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цивільного захисту, e-mail: o.synelnikov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0429-147X

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

Vasyl Loik
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: babaganova.ol.52@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0607-4791

Olga Babadzhanova
Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: babaganova.ol.52@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0607-4791

Alexander Sinelnikov
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: o.synelnikov@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0429-147X

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.14

Мета роботи. Дослідження сучасних підходів до організації пасивного захисту об’єктів критичної інфраструктури у сфері забезпечення логістики.

Метод дослідження. Методи системного аналізу, моделювання та синтезу.

Результати дослідження: Доведено, що різні способи захисту дозволяють мінімізувати ризики пошкодження об’єктів безпілотними літальними апаратами. Підтверджено практичну ефективність використання протидронових сіток для захисту транспортної критичної інфраструктури. Встановлено, що багаторівневий підхід до безпеки, коли кілька контрзаходів працюють узгоджено, може забезпечити більш комплексний та стійкий захист від різноманітних загроз безпілотників.

Теоретична цінність дослідження. Робота розширює теоретичні основи пасивного захисту об’єктів критичної інфраструктури від безпілотних літальних апаратів, зокрема шляхом влаштування протидронових сіток.

Практична цінність дослідження. Результати дослідження корисні для розробки нових заходів фізичного захисту від безпілотників. Обмін інформацією про успішні розгортання, нові загрози та технологічні інновації матиме важливе значення для оптимізації використання протидронових сіток та інших контрзаходів.

Тип статті. Теоретичний, описовий, з практичними рекомендаціями.

Ключові слова: об’єкти критичної інфраструктури, безпілотний літальний апарат, транспортна інфраструктура, система захисту, протидронові сітки.

Purpose. Research into modern approaches to organizing passive protection of critical infrastructure facilities in the field of logistics.

Method. Methods of system analysis, modeling and synthesis.

Findings: It is proven that various methods of protection can minimize the risks of damage to objects by unmanned aerial vehicles. The practical effectiveness of using anti-drone nets to protect critical transport infrastructure has been confirmed. It is found that a multi-layered approach to security, where multiple countermeasures work in concert, can provide more comprehensive and resilient protection against a variety of drone threats.

Theoretical implications. The work expands the theoretical foundations of passive protection of critical infrastructure facilities from unmanned aerial vehicles, in particular by installing anti-drone nets.

Practical implications. The results of the study are useful for developing new physical protection measures against drones. Sharing information about successful deployments, new threats, and technological innovations will be essential to optimizing the use of anti-drone nets and other countermeasures.

Paper type. Theoretical, descriptive, with practical recommendations.

Key words: critical infrastructure facilities, unmanned aerial vehicle, transport infrastructure, protection system, anti-drone nets.

Вступ

Питання захисту об’єктів завжди мало першочергове значення (Кодекс цивільного захисту України, 2012). Якщо раніше основну увагу приділяли захисту об’єктів від стороннього втручання, терористичних актів та надзвичайних ситуацій, то після російського вторгнення 2022 року актуалізувалися проблеми забезпечення захисту від безпілотних літальних апаратів (БпЛА), насамперед об’єктів критичної інфраструктури.

Упродовж останніх років прийнято низку нормативно-правових актів, що регулюють питання безпеки об’єктів критичної інфраструктури (ОКІ), зокрема Закон України “Про критичну інфраструктуру”, розпорядження Кабінету Міністрів України № 825-р, постанови

КМУ № 821 і № 471 та інші. У цих документах передбачено розроблення оптимальних методів забезпечення безпечного середовища та мінімізації наслідків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури; розвиток спроможностей суб'єктів національної системи захисту критичної інфраструктури реагувати на загрози, що виникають; реалізацію планів захисту об'єктів критичної інфраструктури відповідно до проєктних загроз національного рівня, зокрема "ударів засобами повітряного нападу та ракетно-артилерійських обстрілів".

Використання безпілотних літальних апаратів терористичними угрупованнями виявило новий тип уразливості системи захисту критичної інфраструктури. Від електростанцій, нафтобаз, об'єктів зв'язку, критично важливих підприємств і атомних електростанцій до гідротехнічних споруд та урядових установ — усі ці об'єкти піддаються дедалі більшому ризику атак, що потенційно можуть мати руйнівні наслідки. З огляду на зростання масштабів використання безпілотників, надзвичайно важливим є впровадження ефективних заходів із захисту критичної інфраструктури від загроз, пов'язаних із БпЛА.

Безпілотні літальні апарати становлять складну багатовимірну загрозу завдяки своїм унікальним характеристикам. На відміну від традиційних засобів ураження, БпЛА забезпечують безпрецедентні можливості фізичного та кібердоступу, оскільки здатні обминати стандартні системи безпеки для ведення спостереження, завдання ураження та отримання доступу до незахищених мереж або критично важливих елементів операційних систем.

Теоретичні основи дослідження

В умовах війни захист об'єктів критичної інфраструктури набуває додаткової актуальності, оскільки уразливість таких об'єктів негативно впливає на стійкість держави та її здатність до опору. Особливо це стосується транспортної інфраструктури, яка забезпечує логістику.

Транспортна інфраструктура є вкрай уразливим об'єктом щодо обстрілів і терористичних акцій. Руйнування доріг і мостів ускладнює або робить неможливим рух транспорту, перевезення вантажів і пасажирів; це впливає на забезпечення продовольством, паливом та іншими необхідними ресурсами як для цивільного населення, так і для потреб оборони. Ускладнюється пересування військ, що може знизити оборонні можливості країни.

Безпілотні літальні апарати (БпЛА, або дрони) — новий і, як показав досвід України, вельми ефективний тип озброєнь на полі бою. Як зазначають дослідники (Туранський М. О., 2021), перші БпЛА у складі озброєння провідних країн почали офіційно застосовувати ще з 1980-х років; загалом бойовими дронами озброєно вже понад 30 країн світу. Бурхливий розвиток БпЛА спричинив появу численних різновидів — від розвідувальних апаратів до ударних "камікадзе", які суттєво відрізняються за розмірами та призначенням.

БпЛА є одним із найперспективніших напрямів розвитку сучасної військової авіації. Уже сьогодні їхнє застосування змінило тактику ведення бойових дій; нерідко говорять, що сучасна війна частково перетворюється на "війну дронів". Залежно від розмірів і максимальної злітної маси (за класифікацією А. А. Саковського, С. М. Науменка, 2022), безпілотники поділяють на: малі — зі злітною масою до 100 кг; середні — до 300 кг; важкі — до 1000 кг; надважкі — понад 1000 кг.

У статтях (Таран М. В., Шулежко В. В., 2021; Мосов С. П., 2018) висвітлено тенденції бойового застосування безпілотних авіаційних комплексів у локальних війнах та сучасних збройних конфліктах. У низці публікацій (Чумаченко С. М., Кутовий О. П., 2023; Коваль М. В., Коваль В. В., 2022; Білик А. С., Коцюруба В. І., 2023; Гаврись А. П., Філіппова В. В., Тур Н. Ю., 2024; Білик А., Кашуба Я., 2024) запропоновано технічні рішення для протидії БпЛА.

Зростаюче застосування безпілотників трансформує сучасні стратегії безпеки й оборони та спричинило розробку систем протидії — "C-UAS" (Counter-Unmanned Aircraft Systems). Ці технології призначені для виявлення, відстеження й нейтралізації

несанкціонованих або зловмисних безпілотників у безпосередній близькості від об'єктів критичної інфраструктури, місць масового скупчення людей або за участю високопосадовців. Системи протидії БпЛА — зокрема радіолокаційні комплекси, радіочастотні детектори, засоби заглушення (ґлушилки), методи захоплення апаратів, системи спрямованої енергії та аналітика протоколів зв'язку — пропонують різні механізми захисту від атак безпілотників.

Постановка проблеми

Об'єкти критичної інфраструктури стали пріоритетними цілями для атак ворога через їх стратегічне значення у забезпеченні військових операцій та підтримці національної економіки. Уразливість таких об'єктів зумовлює необхідність упровадження надійних і багаторівневих стратегій захисту, спрямованих на зменшення ризиків, пов'язаних із БпЛА. Забезпечення безпеки та безперебійного функціонування критичної інфраструктури значною мірою залежить від рівня захисту об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ).

Метою дослідження є аналіз сучасних підходів до організації пасивного захисту об'єктів критичної інфраструктури у сфері забезпечення логістики.

Результати дослідження

Однією з головних мішеней ворога під час повномасштабної війни є енергетична та транспортна інфраструктура. Лише протягом першого року війни внаслідок обстрілів Україна втратила близько 61% генеруючих потужностей.

Об'єкти транспортної інфраструктури також стали однією з ключових сфер, які зазнали найбільш інтенсивних атак з боку агресора після початку широкомасштабної війни проти України. Зокрема, у перші тижні війни російські війська здійснювали масовані обстріли об'єктів авіаційної інфраструктури, а згодом основними цілями атак стали об'єкти залізничної мережі. Найбільших руйнувань — як в абсолютному, так і у вартісному вимірі — зазнали об'єкти дорожньої інфраструктури (за даними звіту громадської організації "Інститут Київська школа економіки").

Загалом пошкоджено понад 26 тис. км автомобільних доріг і 344 мости та мостові переходи державного, місцевого або комунального значення. Найбільших руйнувань зазнали транспортні шляхи північних, східних і південних регіонів України (рис. 1).

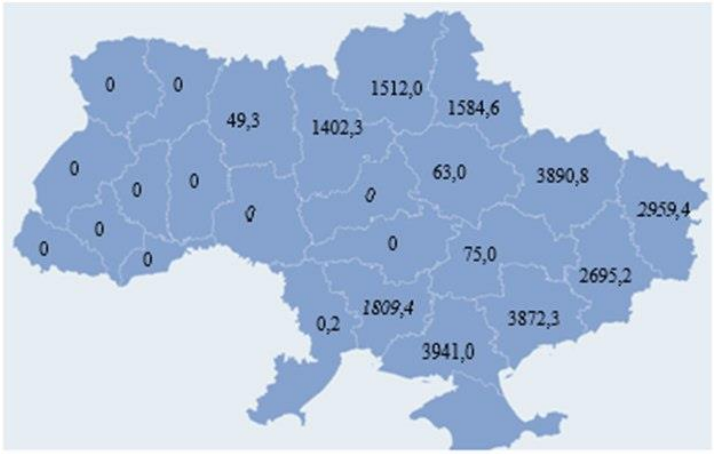


Рисунок 1 – Руйнування доріг (км) по областях

Джерело: сформовано авторами на основі (План відновлення України)

За попередніми оцінками (згідно зі звітом Київської школи економіки), загальний обсяг прямих збитків об'єктів транспортної інфраструктури в Україні становить близько 38,5 млрд

доларів США.

Триваюча війна в Україні характеризується інтенсивним застосуванням безпілотних літальних апаратів (БпЛА), відомих як дрони, обома сторонами конфлікту для ведення розвідки, здійснення цілеспрямованих атак і збору розвідувальної інформації. Масове використання дронів поширило спектр загроз на раніше відносно безпечні райони. Нафтобази, об'єкти енергетичної та транспортної інфраструктури стали пріоритетними цілями для таких атак через їх стратегічне значення у забезпеченні військових операцій та підтримці національної економіки.

Українська протиповітряна оборона — це система заходів, спрямованих на захист держави від усіх повітряних цілей, що порушують повітряний простір країни. Вона охоплює зенітно-ракетні комплекси, зенітно-артилерійські та радіотехнічні війська. Українська система ППО вже має на озброєнні одні з найсучасніших іноземних зенітних ракетних комплексів у світі — "IRIS-T", "NASAMS", "Crotale", "Aspid", "Avenger", "Gepard", "Patriot" та "SAMP/T".

Проте, як зазначається у дослідженні (Чумаченко С. М., 2023), ефективна боротьба з малорозмірними БпЛА за допомогою сучасних зенітно-ракетних систем залишається надзвичайно складною.

За останні місяці противник суттєво збільшив кількість БпЛА, застосованих для атак по території України. Лише у вересні 2025 року було випущено понад 5500 БпЛА (рис. 2). А згідно із заявою Президента України, лише протягом одного тижня жовтня армія РФ застосувала проти України понад 3270 ударних дронів.

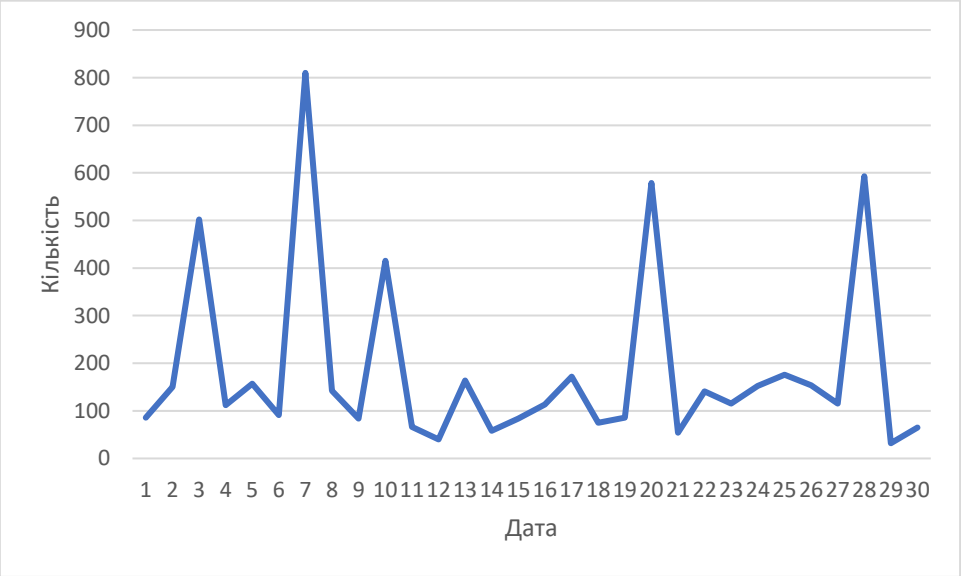


Рисунок 2 –Кількість ударів безпілотниками по території України у вересні 2025 р.
Джерело: сформовано авторами на основі https://armyinform.com.ua

Заходи протидії БпЛА поділяються на активний і пасивний захист. Системи активного захисту призначені для ураження безпілотних літальних апаратів шляхом їх прямого глушіння або знищення. Системи пасивного захисту реагують на загрози, створювані безпілотниками, шляхом виявлення та раннього попередження, а не прямої атаки. Такі системи включають радари, фотодетектори, акустичні датчики та обладнання для моніторингу сигналів.

Згідно з розробленим авторами (Коваль М. В., Коваль В. В., 2022; Білик А. С., Коцюруба В. І., 2023) принципом "Країна-фортеця", запропоновано три типи інженерного захисту об'єктів та етапи їх поступової реалізації: спорудження тимчасових захисних споруд для первинного, часткового укриття елементів ОКІ (з габіонів, біг-бегів, мішків, залізобетонних

збірних елементів тощо); будівництво укриттів типу “шелтер” із зовнішнім захисним екраном, який витримує прямі влучання БпЛА, та внутрішньої захисної оболонки, що забезпечує захист від ударної хвилі й уламків; підземну урбанізацію ключових елементів ОКІ, яка має на меті захист від прямого влучання ракет і БпЛА противника. У частині інженерного захисту концепцією передбачено насамперед захист ОКІ. Концепція “Країна-фортеця” вже схвалена постановою Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2024 року № 471.

Протидронові сітки, як форма пасивного захисту, набули популярності як потенційний контрзахід, особливо завдяки їх здатності фізично перешкоджати або захоплювати БпЛА, які наближаються, без використання електронних перешкод або кінетичного знищення. Їхня простота та потенційна ефективність роблять такі рішення привабливими в умовах обмежених ресурсів.

Протидронові сітки функціонують переважно шляхом фізичного перехоплення БпЛА у польоті, що призводить до їх заплутування в сітці, втрати керування та падіння або контрольованого спуску. Цей фізичний бар’єр безпосередньо перешкоджає руху апарата. Сітка може пошкодити пропелери БпЛА, унеможливлюючи подальший політ. Заплутування пропелерів є поширеним механізмом нейтралізації. У деяких випадках зіткнення з сіткою може призвести до детонації корисного навантаження БпЛА на безпечній відстані від передбачуваної цілі, що зменшує силу ураження основного об’єкта.

Вибір матеріалу для протидронових сіток повинен поєднувати міцність і довговічність зі стійкістю до специфічних умов навколишнього середовища, включаючи вплив екстремальних погодних факторів.

Зростання використання FPV (First-Person View) дронів у війні проти України підкреслює необхідність того, щоб протидронові сітки були ефективними проти цих маневрових і часто дистанційно підривних апаратів. FPV-дрони набули широкого поширення завдяки своїй низькій вартості, маневреності та здатності доставляти невеликі корисні навантаження з високою точністю. Їхня швидкість і маневреність, у поєднанні з можливістю дистанційного підриву оператором, який має пряму відеотрансляцію, створюють значні проблеми для захисту об’єктів. Тому будь-яка стратегія захисту, включаючи використання сіток, повинна враховувати специфічні характеристики FPV-дронів, такі як їх розмір, швидкість і траєкторія польоту, для забезпечення ефективного перехоплення.

Україна почала розгортати протидронові сітчасті конструкції над ключовими дорогами для захисту військових конвоїв від атак FPV-дронів. Такі тунелі дозволяють безпечніше переміщувати особовий склад, спорядження та здійснювати евакуацію поранених. Події останніх місяців, коли ворог цілеспрямовано атакує цивільні автомобілі й людей на прифронтових територіях, прискорили рішення військових адміністрацій цих регіонів закривати сітками навіть другорядні дороги (рис. 3). Практика антидронового захисту вже виправдала себе на Херсонщині, де планується захистити сітками 264 км автомобільних шляхів. Успішна адаптація рішень, таких як “протидронові тунелі” для доріг, свідчить про їх практичну ефективність. Уряд України вже розпочав реалізацію програми з укриття основних транспортних артерій у прифронтових районах. Такі тунелі, виготовлені здебільшого з рибальських сіток, спрямовані на заплутування FPV-дронів. Система захисту зазвичай має тришарову структуру і складається з сіток із різним діаметром клітинок, що дозволяє ефективно протидіяти дронам різних типів. Простота конструкції, швидкість монтажу та ефективність роблять такі рішення оптимальними в умовах дефіциту ресурсів і високої динаміки бойових дій.

Рисунок 3 – Антидронові сітки у Херсонській та Донецькій областях.
Джерело: Кадри з відео Суспільне

Стаціонарні сітки після розгортання забезпечують безперервний захист і не потребують постійного моніторингу чи споживання електричної енергії. Це робить їх економічно ефективним довгостроковим рішенням. Матеріали для сіток та основних опорних конструкцій можуть бути менш витратними, ніж складні електронні або кінетичні системи протидії БпЛА, що особливо важливо при покритті великих площ. Сітки здатні захоплювати БпЛА цілими, що дозволяє зберігати їх для криміналістичного аналізу з метою ідентифікації походження, оператора та потенційного корисного навантаження; це може бути цінним для збору розвідувальних даних та судового переслідування.

Аналогічний підхід, із застосуванням міцніших матеріалів і конструкцій, може бути розроблений для захисту резервуарів або інших критичних зон на об’єкті. Великі відкриті резервуари, що містять легкозаймисті матеріали, є привабливими цілями для атак; успішний удар може спричинити пожежі й вибухи, завдаючи значних збитків і порушуючи роботу об’єкта. Критична інфраструктура, така як трубопроводи, насосні станції та системи управління, також уразлива до пошкоджень або порушень функціонування внаслідок ударів БпЛА. Пошкодження цих компонентів може призвести до зупинки виробничих процесів і суттєво вплинути на ланцюги постачання.

Захист резервуарів може здійснюватися шляхом зведення сітчастих конструкцій безпосередньо над або навколо окремих резервуарів для створення фізичного бар’єра проти прямих влучань. Це може включати конструкції типу “клітки”, виготовлені з міцних металевих сіток або мережі тросів підвищеної міцності (рис. 4).

Рисунок 4 – Використання протидронових сіток на ОКІ
З відкритих джерел

На відміну від кінетичних методів знищення, сітки мінімізують ризик вибухів, осколкових уражень або пожеж, які можуть завдати додаткової шкоди об’єкту чи поранити персонал. Сітки не випромінюють жодних електромагнітних сигналів, тому не створюють перешкод для систем зв’язку, навігаційного обладнання чи іншої електронної інфраструктури.

Варто зазначити, що дуже малі та маневрені БпЛА, особливо FPV-дрони, можуть проникати крізь більші сітки або бути занадто швидкими для ефективного перехоплення розгорнутими сітчастими системами. Покриття великих площ ОКІ сітками для захисту від численних одночасних атак БпЛА може бути складним і дорогим із логістичної точки зору. Крім того, сітки можуть зазнавати пошкоджень унаслідок суворих погодних умов (зокрема сильного вітру, снігу, ожеледі) або ударів уламків.

Різні типи БпЛА мають різні характеристики та можливості. Малий комерційно доступний дрон має інші льотні параметри та уразливості, ніж більший ударний БпЛА або високошвидкісний FPV-дрон. Тому сітчасті рішення повинні бути ретельно підібрані й розгорнуті відповідно до типу передбачуваних загроз.

Поєднання протидронових сіток з іншими технологіями може зменшити частину їхніх недоліків. Наприклад, інтеграція з радарними або радіочастотними системами виявлення, які забезпечують раннє попередження про наближення дронів, здатна істотно підвищити ефективність розгорнутих сітчастих систем, надаючи персоналу служби безпеки більше часу для реагування й нейтралізації загрози.

Так само сітки можуть виступати базовим рівнем фізичного захисту від певних типів БпЛА, тоді як інші технології доповнюють їх, усуваючи додаткові уразливості. Багаторівневий підхід до безпеки, коли кілька контрзаходів функціонують узгоджено, забезпечує комплексний і стійкий захист від різних типів загроз БпЛА. Слабкі сторони однієї технології можуть бути компенсовані сильними сторонами іншої, формуючи більш ефективну загальну систему протидії безпілотним загрозам.

Висновки

Протидронові сітки пропонують цінний та відносно недорогий пасивний рівень захисту для українських доріг і ОКІ від атак БпЛА. Їхня здатність фізично захоплювати дрони без спричинення значних супутніх збитків або створення радіоперешкод робить їх важливою складовою ширшої стратегії безпеки.

Зважаючи на динамічний характер війни та швидку еволюцію технологій БпЛА, безперервний цикл оцінки загроз, оцінки технологій і адаптації стратегії захисту від БпЛА — включно зі стратегічним розгортанням та технічними характеристиками сіток — матиме вирішальне значення для підтримання ефективного довгострокового захисту критичної інфраструктури в Україні.

Необхідно розробити багаторівневу стратегію захисту, яка інтегрує протидронові сітки з системами виявлення БпЛА (зокрема радарами, РЧ-сканерами та акустичними датчиками) з метою забезпечення раннього попередження та відстеження. Слід впровадити надійну програму технічного обслуговування та періодичних оглядів усіх розгорнутих сітчастих систем для гарантування їхньої постійної ефективності та своєчасного усунення пошкоджень.

Потрібно постійно відстежувати еволюцію загроз БпЛА та відповідно адаптувати розгортання протидронових сіток і специфікацію матеріалів для протидії новим технологіям і тактикам застосування дронів.

Для розроблення та впровадження найефективніших стратегій захисту від БпЛА, включно з оптимальним використанням протидронових сіток, необхідна тісніша співпраця й обмін інформацією між українськими службами безпеки, операторами ОКІ та вітчизняними й міжнародними постачальниками технологій у сфері C-UAS. Така співпраця сприятиме обміну найкращими практиками, розвідувальними даними про загрози та технологічними інноваціями.

Обмін інформацією про успішні розгортання, нові загрози та технічні вдосконалення матиме ключове значення для подальшої оптимізації використання протидронових сіток та інших контрзаходів.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Білик А., Кашуба Я. (2024). Фактори загроз від БПЛА противника типу «Ланцет» та засоби інженерного захисту від них, у тому числі із використанням предетонаційних екранів. Військово-технічний збірник, (31), 71–82. URL: http://vtz.asv.gov.ua/article/view/318722
2. Білик А.С. Коцюруба В.І. (2023) Концепція національної безпеки України "Країна-фортеця" в ракурсі захисту критичної інфраструктури. IV Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції», Київ, 16-17. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/31/IV_2023_26.04.23.pdf
3. Гаврись А. П., Філіппова В. В., Тур Н. Ю. (2024). Інформаційний аналіз систем захисту об'єктів критичної інфраструктури в період дії воєнного стану. Вісник ЛДУБЖД, (30), 173-187. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/15330
4. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на листопад 2024 року. Громадська організація «Інститут Київська Школа Економіки». Лютий 2025. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf
5. Коваль М.В., Коваль В.В., Коцюруба В.І., Білик А.С. (2022) Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України. Наука і оборона (3-4), 11-16. URL: http://nio.nuou.org.ua/issue/view/278411
6. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Дата оновлення: 12.09.2025. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text
7. Методика оцінки стану захищеності об'єктів критичної інфраструктури. Наказ Адміністрації Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України від 14 січня 2025 року №17. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0376-25#Text
8. Мосов С.П. (2018) Особливості застосування стратегічної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах XXI століття / С.П. Мосов, С.Й. Хорошилова // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняховського, (3 (64), 97-102. URL: http://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/178003
9. Національний план захисту та забезпечення безпеки та стійкості критичної інфраструктури. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2023 р. № 825-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2023-p#Text
10. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів органами та підрозділами поліції: метод. рек. / А. А. Саковський, С. М. Науменко, С. І. Кравченко, І. М. Єфіменко та ін. Київ: Нац. акад. внутр. справ. 2022. 72 с. URL: https://www.navs.edu.ua/files/naukova-diyalnist/naukovi-laborator/lab_nni2/2023/metod_bpla.pdf
11. План відновлення України URL: https://recovery.gov.ua/
12. Порядок проведення моніторингу рівня безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 2022 р. № 821. URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2022-n#Text

13. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 квітня 2024 року № 471 (Для службового користування).
14. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 р. №1882-IX. Дата оновлення: 21.09.2024. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text
15. Таран М.В., Шулежко В.В. (2021) Визначення способів протидії та зниження ефективності застосування безпілотних авіаційних комплексів із врахуванням аналізу локальних війн і збройних конфліктів сучасності. Збройна боротьба: теорія, забезпечення, досвід.Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 1(67), 32-37. URL: https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/515
16. Туранський М. О., Пулим О. В., Корольова О. В. (2021) Історія розвитку та застосування розвідувальних і розвідувально-ударних безпілотних комплексів у збройних конфліктах сучасності. Військово-науковий вісник, (35), 252-267. URL: http://vnv.asv.gov.ua/issue/view/14285
17. Чумаченко С.М., Кутовий О.П., Попель В.А., Гуйда О.Г., Заїка Н.В., Мурасов Р.К. (2023) Науково-методичний підхід щодо безпеки інфраструктури на основі комплексу засобів захисту її об'єктів від БПЛА і крилатих ракет. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, Том 34 (73 (1), 144-154.

References

1. Bilyk A., Kashuba Y. (2024). Threat factors from enemy UAVs of the "Lancet" type and means of engineering protection against them, including the use of pre-detonation screens. *Military-Technical Collection*, (31), 71–82. http://vtz.asv.gov.ua/article/view/318722
2. Bilyk A.S. Kotsiuruba V.I. (2023) The Concept of National Security of Ukraine "Fortress Country" from the Perspective of Critical Infrastructure Protection. IV International Scientific and Practical Conference "Buildings and Structures for Special Purposes: Modern Materials and Structures", Kyiv, 16-17. https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/31/IV_2023_26.04.23.pdf
3. Gavrys, A.P., Filippova, V. V., Tur, N. Yu. (2024). Information analysis of critical infrastructure protection systems during martial law. *Bulletin of the Ukrainian State University of Railways*, (30), 173-187. https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/15330
4. Report on direct damage to infrastructure from destruction as a result of russia's military aggression against Ukraine as of November 2024. Public organization "Institute Kyiv School of Economics". February 2025. https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf
5. Koval M.V., Koval V.V., Kotsiuruba V.I., Bilyk A.S. (2022). Organizational and technical principles of building a system of engineering protection of critical infrastructure facilities of the energy sector of Ukraine. Science and Defense (3-4), 11-16. http://nio.nuou.org.ua/issue/view/278411
6. Law of Ukraine "Code of Civil Protection of Ukraine" from October 02, 2012, No 5403-VI. (n.d.). zakon.rada.gov. ua. Retrieved from: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text
7. Methodology for assessing the security status of critical infrastructure facilities. Order of the Administration of the State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine dated January 14, 2025 No. 17. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0376-25#Text
8. Mosov S.P. (2018). Peculiarities of the use of strategic unmanned reconnaissance aircraft in military conflicts of the 21st century / S.P. Mosov, S.Yu. Khoroshilova // Collection of scientific papers of the Center for Military-Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovsky, 3 (64), 97-102. http://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/178003

9. National Plan for the Protection and Ensuring the Security and Resilience of Critical Infrastructure. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine from September 19, 2023 No. 825-r. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/825-2023-p#Text
10. Peculiarities of the use of unmanned aerial vehicles by police agencies and units: methodical recommendations / A. A. Sakovsky, S. M. Naumenko, S. I. Kravchenko, I. M. Yefimenko and others. Kyiv: National Academy of Internal Affairs. 2022. 72 p.
11. Ukraine recovery plan. https://recovery.gov.ua/
12. Procedure for monitoring the security level of critical infrastructure facilities. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 22, 2022 No. 821. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2022-n#Text
13. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 26, 2024 No. 471 (For official use).
14. Law of Ukraine "About critical infrastructure" from September 21, 2024, No 1882-IX. (n.d.). zakon.rada.gov. ua. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text
15. Taran M.V., Shulezhko V.V. (2021). Determining ways to counteract and reduce the effectiveness of the use of unmanned aircraft systems taking into account the analysis of local wars and armed conflicts of today. Armed struggle: theory, support, experience. *Collection of scientific works of the Kharkiv National University of the Air Force*, 1(67), 32-37. https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/515
16. Turanskyi M. O., Pulym O. V., & Koroleva O. V. (2021). History of the development and application of reconnaissance and reconnaissance-strike unmanned systems in modern armed conflicts. *Military-scientific bulletin*. (35), 252-267. http://vnv.asv.gov.ua/issue/view/14285
17. Chumachenko S.M., Kutovyi O.P., Popel V.A., Huyda O.G., Zaika N.V., & Murasov R.K. (2023). Scientific and methodological approach to infrastructure security based on a complex of means of protecting its objects from UAVs and cruise missiles. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences*, Volume 34 (73 (1), 144-154.

Формалізація показників ефективності процесів життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів

Formalization of Efficiency Indicators in Life-Cycle Processes for Military Ground Robotic Complexes

Андрій Дядечко [A]

Corresponding author: доктор філософії, начальник науково-дослідної лабораторії проблем технологічної підтримки інформаційних систем, e-mail: andrewvvs@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0191-8326

Віталій Зуйко [A]

кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри геопросторової підтримки та застосування космічних систем, e-mail: vitalikzu@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1439-9502

Ігор Черних [A]

кандидат військових наук, доцент, заступник начальника інституту логістики та підтримки військ (сил), e-mail: igor-chernuh@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5144-6921

Михайло Ракушев [A]

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри геопросторової підтримки та застосування космічних систем, e-mail: r16mu0977@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-7703-3287

Andrii Diadechko [A]

Corresponding author: PhD, Head of the Research Laboratory for Problems of Information Systems Technological Support, e-mail: andrewvvs@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0191-8326

Vitalii Zuiko [A]

Candidate of Technical Science, Associate Professor, Professor of the Geospatial Support and Space Systems Application Department, e-mail: vitalikzu@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-1439-9502

Ihor Chernykh [A]

Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Logistics and Troops (Forces) Support Institute, e-mail: igor-chernuh@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-5144-6921

Mykhailo Rakushev [A]

Laureate of the National Prize of Ukraine named after Borys Paton, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Geospatial Support and Space Systems Application Department, e-mail: r16mu0977@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-7703-3287

[A] Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

[A] National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: June 13, 2025 | Revised: August 23, 2025 | Accepted: August 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.15

Мета роботи. Розробити науково обґрунтовану систему формалізованих показників для кількісного оцінювання ефективності процесів життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів.

Метод дослідження. Дослідження базується на багатокритерійному підході з використанням методу аналітичної ієрархії та апарату нечіткої логіки для поєднання кількісних показників та експертних якісних оцінок. Здійснено поетапну декомпозицію життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів і сформовано ієрархію показників, що охоплює технічні, експлуатаційні, кіберзахисні та економічні аспекти.

Результати дослідження. Визначено та математично формалізовано комплекс показників ефективності для кожного етапу життєвого циклу. Запропоновано концептуальну модель та алгоритм збору даних і зважування експертних оцінок, що забезпечує автоматизоване обчислення інтегральних індексів ефективності для процесів розроблення, випробувань, експлуатації, модернізації та виведення з експлуатації.

Теоретична цінність дослідження. Робота розширює теорію управління життєвим циклом кіберфізичних військових систем, запропонувавши уніфіковану методологію багатокритеріального оцінювання, адаптовану до автономних роботизованих платформ.

Практична цінність дослідження. Запропонована система показників може бути інтегрована в оборонні стандарти, процедури закупівель та цифрові платформи управління життєвим циклом, підвищуючи обґрунтованість рішень щодо розподілу ресурсів, планування модернізації та управління ризиками для військових наземних роботизованих комплексів.

Цінність дослідження. Вперше формалізовано повну ієрархію показників, спеціально розроблену для оцінювання ефективності життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів, з урахуванням їх кіберфізичної природи, частих оновлень програмного забезпечення та вимог кібербезпеки.

Тип статті. Методологічне дослідження.

Purpose. To develop a scientifically grounded system of formalized indicators for quantitative assessment of the efficiency of life-cycle processes of military ground robotic complexes.

Method. The study applies a multi-criteria decision-making framework combining analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy logic to capture both quantitative and expert qualitative assessments. The research integrates a stage-by-stage decomposition of the MGRC life cycle with a structured indicators hierarchy covering technical, operational, cybersecurity, and economic dimensions.

Findings. A comprehensive set of efficiency indicators for each life-cycle stage was defined and mathematically formalized. The approach enables consistent evaluation of development, testing, operation, modernization, and disposal processes. A conceptual model and algorithm for data collection and expert weighting were proposed, supporting automated calculation of integral efficiency indices.

Theoretical implications. The work extends the theory of life-cycle management of cyber-physical military systems by introducing a unified multi-criteria assessment methodology applicable to autonomous robotic platforms.

Practical implications. The proposed model can be used in the development of technical requirements, testing programs, life cycle documentation, and regulatory acts governing the adoption and logistical support of military ground robotic systems.

Value. This is the first study to formalize a complete indicators hierarchy specifically tailored to the life-cycle efficiency of military ground robotic complexes, accounting for their cyber-physical nature, frequent software updates, and cybersecurity requirements.

Paper type. Methodological study.

Ключові слова: управління життєвим циклом, оцінювання ефективності, багатокритеріальний аналіз, нечітка логіка, метод аналітичної ієрархії, військові наземні роботизовані комплекси, кіберфізичні системи, показники продуктивності.

Key words: life-cycle management, efficiency assessment, multi-criteria analysis, fuzzy logic, analytic hierarchy process, military ground robotic complexes, cyber-physical systems, performance metrics.

Вступ

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту, автономного керування та сенсорних систем суттєво розширює можливості застосування військових наземних роботизованих комплексів (ВНРК) у сучасних операціях. Ці кіберфізичні системи (КФС) здатні виконувати розвідувальні, логістичні, ударні та інші завдання в умовах підвищеної небезпеки, зменшуючи ризики для особового складу та підвищуючи ефективність військових дій. Водночас складність технічної архітектури ВНРК, постійна модернізація апаратного й програмного забезпечення, а також високі вимоги до кіберзахисту обумовлюють необхідність системного підходу до управління їхнім життєвим циклом.

Традиційні методики оцінювання ефективності процесів життєвого циклу (ЖЦ) здебільшого були розроблені для класичних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ). Вони не враховують специфічних особливостей ВНРК: інтеграції кібер- і фізичних компонентів, частих оновлень програмного забезпечення, потреби у швидкому реагуванні на вразливості та динамічні зміни середовища експлуатації. У результаті виникають труднощі у плануванні ресурсів, визначенні пріоритетів модернізації та обґрунтуванні управлінських рішень.

Сучасні підходи до управління ЖЦ КФС пропонують використання багато-критеріального аналізу, нечіткої логіки та методів експертного зважування для об’єктивного порівняння різних етапів ЖЦ і комплексного оцінювання їх ефективності. Проте відсутність стандартизованих, формалізованих показників для ВНРК унеможливлює створення уніфікованих моделей та ускладнює впровадження автоматизованих систем моніторингу.

У зв’язку з цим постає науково-практичне завдання: розробити систему формалізованих показників, що дозволить кількісно й об’єктивно оцінювати ефективність процесів життєвого циклу ВНРК. Її реалізація сприятиме підвищенню прозорості управління, своєчасному виявленню слабких ланок, оптимізації ресурсного забезпечення та, в підсумку, покращенню бойової готовності та стійкості роботизованих комплексів до сучасних загроз.

Теоретичні основи дослідження

Управління життєвим циклом складних технічних систем базується на стандартах системної інженерії та менеджменту якості, зокрема ISO/IEC 15288 [1] і національних стандартів ДСТУ В 15.003:2021 [2] та ДСТУ В 15.004:2022 [3]. Ці документи визначають загальні процеси та стадії ЖЦ ОВТ, проте не деталізують специфіку кіберфізичних комплексів, до яких належать ВНРК.

Сучасні дослідження управління ЖЦ КФС [4-6] акцентують на безперервному моніторингу стану, цифрових двійниках, інтеграції даних сенсорів і програмного забезпечення. Українські автори [7-10] пропонують адаптацію подібних підходів до військових роботизованих платформ, підкреслюючи важливість багатокритеріального оцінювання ефективності кожної фази ЖЦ.

У теорії багатокритеріального аналізу, що застосовується для оцінювання складних систем, найбільш поширеними є методи аналітичної ієрархії (AHP), нечіткої логіки та експертного зважування. Їх поєднання дозволяє враховувати як кількісні показники (технічні характеристики, витрати, час виконання процесів), так і якісні — наприклад, рівень кіберзахисту або адаптивність програмного забезпечення.

Таким чином, теоретичною основою цього дослідження є інтеграція стандартів управління ЖЦ ОВТ та підходів до оцінювання КФС з методами багатокритеріального аналізу. Така комбінація забезпечує формалізацію показників, здатних відобразити специфіку ВНРК і створити підґрунтя для їх об’єктивного оцінювання на всіх етапах життєвого циклу.

Постановка проблеми

Наземні роботизовані комплекси дедалі активніше впроваджуються у військову сферу як ключові елементи КФС. Вони виконують завдання розвідки, логістики, вогневої підтримки та технічного забезпечення. Ефективність їх застосування безпосередньо залежить від якості управління ЖЦ — від ініціації, розроблення до модернізації та виведення з експлуатації.

Наявні нормативні документи й методики оцінювання ефективності процесів ЖЦ переважно орієнтовані на класичні зразки ОВТ. Вони не враховують специфічних чинників НРК, серед яких:

поєднання апаратної, програмної та мережевої складових;

потреба в регулярному оновленні програмного забезпечення та алгоритмів штучного інтелекту;

високий темп технологічного старіння й потреба в гнучкій модернізації;

взаємодія з іншими елементами кіберфізичних і мережево-центричних систем.

У науковій літературі наявні дослідження, що частково торкаються питань оцінювання ефективності роботизованих систем. Так, у роботі [11] проаналізовано механіку й керованість НРК у складних умовах, що дозволяє визначити технічні показники продуктивності й надійності. Праця [12] розглядає підходи до оцінювання ефективності роботизованих систем у виробничому середовищі, результати якої можуть бути адаптовані для ВНРК. Дослідження [10] пропонує показники оцінювання ефективності безпілотних авіаційних комплексів, що є корисним аналогом для розроблення показників для наземних роботизованих платформ. Крім того, в статті [13] демонструється застосування методів теорії масового обслуговування для оцінювання бойової ефективності мобільних роботів, а в роботі [14] узагальнюється сучасний стан і перспективи розвитку наземних мобільних робототехнічних комплексів ЗСУ.

Попри наявність цих напрацювань, жодна з досліджених праць не формує цілісного підходу до формалізації показників оцінювання ефективності саме процесів ЖЦ ВНРК, що включають проєктування, виробництво, експлуатацію, модернізацію та виведення з експлуатації. Відсутність такої інтегрованої системи ускладнює обґрунтування управлінських рішень і планування ресурсів протягом усього ЖЦ.

Отже, наукова проблема полягає у розробленні та формалізації системи показників оцінювання ефективності процесів ЖЦ ВНРК з урахуванням їх кіберфізичної природи, потреби в постійній цифровій підтримці та динамічності умов застосування. Її вирішення дозволить підвищити обґрунтованість рішень щодо розроблення, експлуатації, модернізації та виведення з експлуатації ВНРК і сприятиме вдосконаленню нормативної бази у сфері військових роботизованих систем.

Методологія дослідження

Методологія ґрунтується на системному підході та структурно-функціональному аналізі ЖЦ ВНРК, які розглядаються як складні КФС. Дослідження спрямоване на формалізацію показників оцінювання ефективності кожного етапу ЖЦ, що забезпечує кількісне й якісне порівняння процесів та підтримку управлінських рішень.

А. Ключові етапи життєвого циклу

В основу роботи покладено оновлену нормативну модель ЖЦ, запропоновану у [15]. Вона відображає замкненість циклу та особливості ВНРК:

Ініціація потреби

аналіз оперативних задач;

ідентифікація функціональних прогалин;

формування тактико-технічного завдання.

Концептуальне проєктування

побудова цифрової концептуальної моделі;
аналіз життєздатності у симульованому середовищі;
попередній аналіз ризиків і вразливостей.

Розроблення дослідного зразка

створення фізичного прототипу НРК;
розроблення модульних версій програмного забезпечення;
розгортання цифрового двійника.

Випробування і сертифікація

функціональні випробування;
кіберзахисна перевірка (пентести, статичний/динамічний аналіз ПЗ);
верифікація відповідності конфігурації цифровому двійнику.

Постачання і впровадження

адаптація до оперативного середовища;
навчання операторів;
імплементація системи моніторингу в реальному часі.

Експлуатація з динамічним супроводженням

постійний зворотний зв'язок (лог-файли, телеметрія);
впровадження оновлень ПЗ через захищені канали;
автоматичне керування конфігурацією.

Модернізація / Відновлення / Виведення з експлуатації

інтеграція з новими технологіями (edge-AI, нові сенсори);
аналіз рентабельності модернізації;
цифрова фіксація утилізації та ініціація нової потреби.

Б. Підхід до формалізації показників

Для кожного етапу визначено групи показників: технічні (надійність, відповідність стандартам), організаційні (часові витрати, координація підрозділів), економічні (вартість розроблення та утримання), а також експлуатаційні (готовність, інтенсивність відмов). Застосовано багатокритеріальний аналіз та експертні оцінки для отримання інтегральних індикаторів ефективності.

В. Нормативна та методична база

Робота спирається на чинні національні стандарти України (ДСТУ В 15.003:2021, ДСТУ В 15.004:2022) та міжнародні підходи до управління ЖЦ КФС, адаптовані до специфіки військових роботизованих комплексів.

Застосування зазначених методів забезпечує комплексне бачення проблеми: від аналізу нормативної та технічної бази — до формування кількісних показників і перевірки їх придатності для управління всіма етапами ЖЦ ВНРК.

Результати

У ході роботи визначено сукупність показників ефективності для кожного з семи етапів нормативної моделі ЖЦ ВНРК – від ініціації потреби до модернізації чи виведення з експлуатації. Для кожного етапу сформовано групи показників і відповідних індикаторів (див. таблицю).

В статті для формалізації показників ефективності запропоновано метод багатокритеріального аналізу, який перетворює сукупність показників у єдиний інтегральний індикатор для кожного етапу ЖЦ. Це забезпечує порівнянність різних комплексів і дає змогу виявляти "вузькі місця" у процесах. Кожен показник ефективності подано у вигляді безрозмірного показника k_i, нормованого до інтервалу [0;1] за лінійною шкалою. Приведемо приклади нормування показників:

Таблиця 1 – Сукупність показників ефективності

№ з/п	Етап ЖЦ ВНРК	Група показників ефективності	Приклади індикаторів
1.	Ініціація потреби	Організаційні	Час погодження тактико-технічного завдання; кількість узгоджень/доопрацювань; рівень відповідності потребам ЗС.
2.	Концептуальне проєктування	Технічні, експлуатаційні	Точність цифрової концептуальної моделі; відсоток виявлених критичних ризиків на ранньому етапі; час моделювання.
3.	Розроблення дослідного зразка	Технічні, економічні	Відсоток повторно використаних модулів; середня вартість прототипу; кількість збоїв під час випробувань прототипу.
4.	Випробування і сертифікація	Технічні, експлуатаційні	Середній час безвідмовної роботи; результати кіберзахисного тестування (покриття тестами, виявлені вразливості); відповідність цифровому двійнику.
5.	Постачання і впровадження	Організаційні, економічні	Витрати на підготовку персоналу; відсоток виконання графіка постачань; коефіцієнт готовності до використання у військах.
6.	Експлуатація з динамічним супроводженням	Експлуатаційні, економічні	Середній час відновлення після відмови (MTTR); коефіцієнт готовності (A_o); частота оновлень ПЗ; витрати на техобслуговування.
7.	Модернізація / Відновлення / Виведення з експлуатації	Економічні, технічні	Рентабельність модернізації (ROI); час інтеграції нових технологій; коефіцієнт утилізації та повторного використання компонентів.

Коефіцієнт готовності :

$$k_{A_o} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{відн}}$$

де $T_{роб}$ – час безвідмовної роботи;
$T_{відн}$ – час відновлення.

Показник кіберстійкості:

$$k_{кібер} = 1 - \frac{N_{враз}}{N_{тест}}$$

де $N_{враз}$ – кількість виявлених критичних вразливостей;
$N_{тест}$ – загальна кількість тестів.

Енергетична автономність:

$$k_{енерг.} = \frac{t_{роб}}{t_{норм}}$$

де $t_{роб}$ – фактичний час роботи від одного заряду;
$t_{роб}$ – нормативне значення часу роботи від одного заряду.

Для кожного етапу життєвого циклу сформовано власний інтегральний показник ефективності K_e:

$$K_e = \sum_{i=1}^{n} \omega_i k_i$$

де k_i – нормований показник;
ω_i – його ваговий коефіцієнт ($\sum \omega_i = 1$).

Ваговий коефіцієнт визначається методом аналітичної ієрархії та експертного ранжування.

Для оцінки загальної ефективності ЖЦ ВНРК інтегральні оцінки етапів також агреговано:

$$K_{ЖЦ} = \sum_{j=1}^{m} \upsilon_j K_{e_j}$$

де K_{e_j} – інтегральний показник *j*-го етапу;
v_j – його ваговий коефіцієнт ($\sum v_i = 1$).

Щоб визначити вплив кожного показника на підсумкову ефективність, проводиться чутливісний аналіз. Для кожного показника обчислюється коефіцієнт еластичності E_i:

$$E_i = \frac{\Delta \omega_i / \omega_i}{\Delta K_{ЖЦ} / K_{ЖЦ}}$$

де $\Delta\omega_i$ – варіація ваги *i*-го показника;
$\Delta K_{ЖЦ}$ – відповідна зміна інтегральної оцінки ефективності етапів ЖЦ.

Визначення коефіцієнту еластичності дозволяє з'ясувати на скільки відсотків зміниться інтегральний показник $K_{ЖЦ}$, якщо вага окремого показника ω_i зміниться на 1%. Тобто, якщо E_i>1 – інтегральний показник дуже чутливий до цього показника, якщо E_i<1 – вплив показника відносно невеликий, якщо E_i≈0 – показник практично не впливає.

З метою практичної реалізації запропонованої системи показників пропонується концептуальна модель збору та обробки даних (рис. 1), що поєднує автоматизовані джерела інформації (телеметрія, логи програмного забезпечення, результати випробувань) із експертними оцінками. Модель складається з трьох взаємопов'язаних підсистем:

1. Підсистема первинного збору даних;
2. Підсистема експертного оцінювання;
3. Підсистема інтеграції даних.

Підсистема первинного збору даних забезпечує автоматичне надходження вимірюваних параметрів із прототипів і діючих НРК (наприклад, дані сенсорів, журнали роботи, результати випробувальних стендів).

Підсистема експертного оцінювання формує групу експертів за напрямами: інженерно-технічний, експлуатаційний, кіберзахисний та економічний. Для збирання думок використовується модифікований метод Делфі.

Метод Делфі – це процедура багатоетапного анонімного опитування групи експертів з подальшим узгодженням їхніх оцінок. У статті використано модифіковану версію, що складається з таких етапів:

1. Визначення цілей і складу експертної групи

Формується пул із 15 експертів – представників промисловості, науковців, військових операторів та фахівців з кібербезпеки.

Для кожного визначено вагу компетентності c_j (0–1) на підставі досвіду та публікацій.

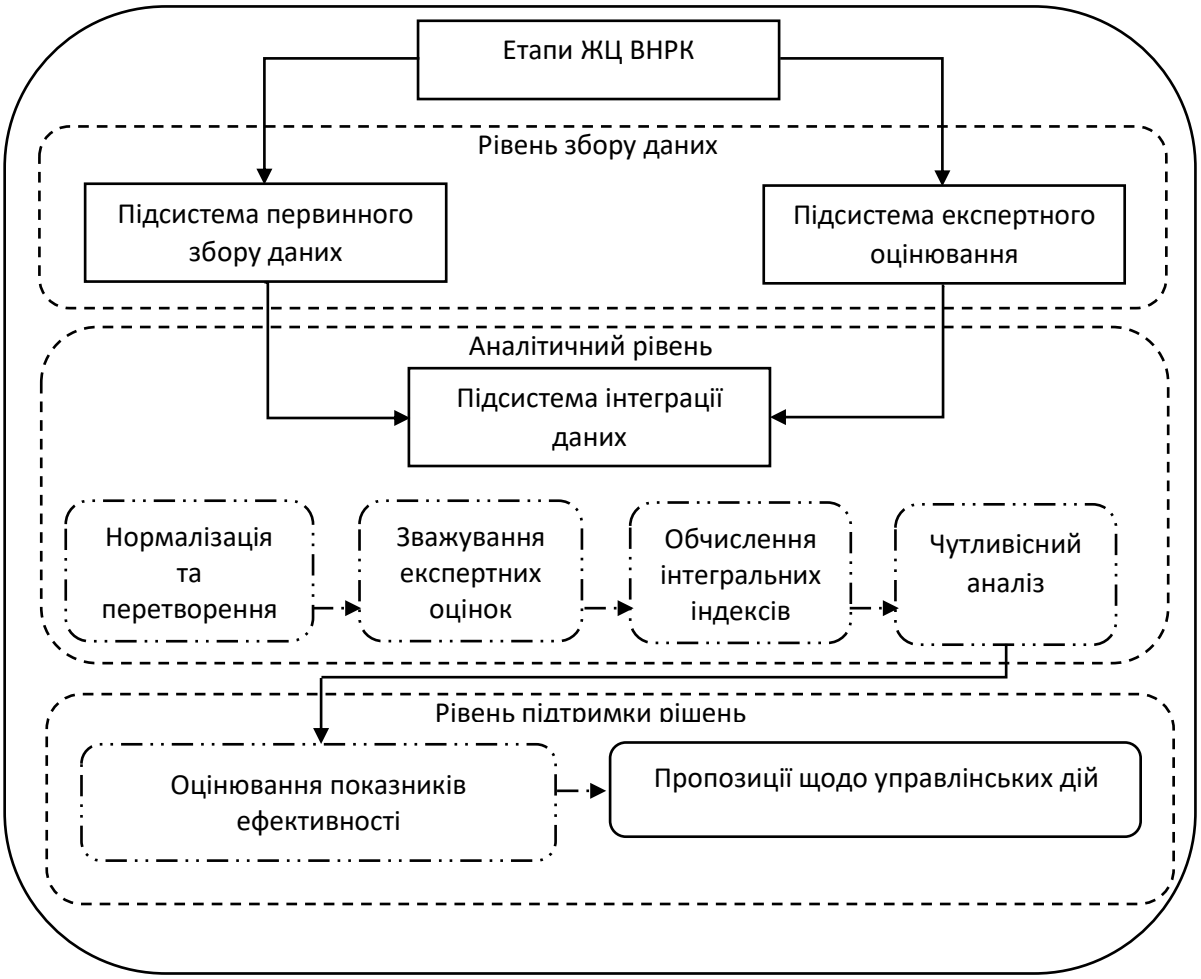


Рисунок 1. Концептуальна модель збору та обробки даних

2. Перший раунд опитування

Експерти індивідуально оцінюють значущість кожного показника ефективності (за шкалою від 1 до 9).

Дані збираються анонімно, що виключає вплив авторитету окремих учасників.

3. Аналіз та зворотний зв'язок

Обчислюються середні значення, медіани та коефіцієнт варіації для кожного показника.

Учасникам надсилається узагальнений результат без розкриття персональних відповідей.

4. Другий раунд уточнень

Експерти переглядають свої відповіді, враховуючи статистику попереднього раунду.

Можливе аргументоване коригування власних оцінок.

5. Фіналізація та зважування

За результатами двох раундів обчислюються остаточні ваги показників:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} c_j \tau_{ij}}{\sum_{j=1}^{m} c_j}$$

де τ_{ij} – оцінка *i*-го показника *j*-м експертом;
c_j – коефіцієнт компетентності експерта.

6. Перевірка узгодженості

Для кожної групи показників розраховується коефіцієнт конкордації Кендалла, *W*.

Якщо $W \geq 0.7$, результати вважаються узгодженими. У разі нижчих значень можливий додатковий раунд.

Особливістю модифікації методу Делфі є скорочення кількості раундів до двох за рахунок попереднього тренінгу експертів, запровадження вагових коефіцієнтів компетентності c_j, що підвищує об'єктивність, інтеграція результатів безпосередньо у формулу обчислення інтегрального показника ефективності для кожного етапу ЖЦ ВНРК.

В свою чергу підсистема інтеграції даних поєднує автоматизовані дані з експертними оцінками шляхом нормалізації та агрегування.

Зазначена модель складається з трьох інтегрованих рівнів (рис.1): рівень збору даних, рівень аналітичної обробки та рівень прийняття рішень. На першому рівні моделі потокові дані збираються сенсорними мережами та каналами захищеної передачі, а експертні оцінки надходять у вигляді стандартизованих анкет. Аналітичний рівень забезпечує нормалізацію та перетворення показників ефективності, зважування експертних оцінок, обчислення інтегральних показників ефективності для кожного етапу ЖЦ ВНРК та чутливісний аналіз отриманих показників. На рівні підтримки рішень проводиться формування дашбордів для керівництва: індекси ефективності, графіки тенденцій тощо. За потреби ініціюється перегляд планів модернізації, додаткові випробування чи технічне обслуговування ВНРК.

Ключова особливість моделі – замкнений цикл, тобто зміни конфігурації або модернізації ВНРК автоматично запускають новий цикл збору й оцінювання, ваги й нормативи оновлюються при появі нових даних або експертних висновків. Система дозволяє накопичувати історичні ряди для трендів та машинного навчання.

Переваги моделі:

поєднання об'єктивних сенсорних даних та суб'єктивних експертних суджень;

прозоре зважування та перевірка узгодженості оцінок;

можливість масштабування на різні типи ВНРК та інтеграція з цифровими двійниками.

Модель працює як єдина платформа моніторингу ефективності процесів ЖЦ ВНРК, забезпечуючи автоматичний збір, аналітичну обробку й обґрунтоване прийняття рішень на кожному етапі – від ініціації потреби до модернізації чи виведення з експлуатації.

В результаті дослідження сформовано систему показників ефективності для кожного етапу ЖЦ ВНРК, що дозволило забезпечити їхню математичну формалізацію у вигляді інтегральних індексів. Запропоновано концептуальну модель збору та обробки даних, яка поєднує експертні оцінки, вагові коефіцієнти та автоматизовану агрегацію показників у єдиний інструмент оцінювання. Використання цієї моделі забезпечує об'єктивність і прозорість аналізу, а також створює основу для реалізації системи підтримки управлінських рішень щодо модернізації, експлуатації та подальшого розвитку ВНРК.

Висновки

У ході дослідження розроблено науково-методичний підхід до оцінювання ефективності процесів ЖЦ ВНРК, що базується на формалізації показників та використанні методу багатокритеріального аналізу.

Сформовано систему показників ефективності, що охоплює всі етапи ЖЦ ВНРК – від ініціації потреби до модернізації та виведення з експлуатації. Для кожного етапу визначено групи показників та приклади їх індикаторів, що дозволяє отримати кількісну оцінку складних процесів.

Запропоновано концептуальну модель збору та обробки даних, яка передбачає використання експертних оцінок, вагових коефіцієнтів та інтеграційних формул для розрахунку узагальнених індексів ефективності. Це забезпечує системність та прозорість підходу, а також можливість його автоматизації.

Проведено чутливісний аналіз, який довів адекватність запропонованої системи показників і стійкість результатів до зміни вагових коефіцієнтів та варіацій вхідних даних. Це підвищує достовірність отриманих оцінок і придатність методики для практичного використання.

Результати дослідження створюють підґрунтя для розробки систем підтримки прийняття рішень щодо управління ЖЦ ВНРК, оптимізації їх експлуатації та своєчасної модернізації.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку програмно-алгоритмічного забезпечення, що дозволить інтегрувати запропоновані результати у цифрові двійники та автоматизовані системи управління життєвим циклом військової техніки.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016. Інженерія систем і програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу систем. Дійсний з 01.01.2018. ДП «УкрНДНЦ», 2016.
2. ДСТУ В 15.003:2021 Система керування життєвим циклом озброєння та військової техніки. Процеси життєвого циклу озброєння та військової техніки. Дійсний з 01.09.2022. ДП «УкрНДНЦ», 2021.
3. ДСТУ В 15.004:2022. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Стадії життєвого циклу озброєння та військової техніки. Дійсний з 01.10.2023. ДП «УкрНДНЦ», 2022.
4. Jay Lee, Behrad Bagheri, Hung-An Kao. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0 – Based Manufacturing Systems. Manufacturing Letters, Vol. 3, 2015, p. 18-23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001.
5. Tsega Y. Melesse, Valentina Di Pasquale, Stefano Riema. Digital Twin Models in Industrial Operations: State-of-the-art and Future Research Directions. IET Collaborative Intelligent Manufacturing. Vol. 3, 2021, p. 37-47. DOI: https://doi.org/10.1049/cim2.12010.
6. Yang Lu. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. Journal of Industrial Information Integration, Vol. 6, 2017, p. 1-10. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005.
7. Залипка В.Д. Особливості створення та застосування наземних роботизованих комплексів у провідних країнах світу та Україні. Науковий вісник НЛТУ України, № 32 (4), 2022, с. 60-65. DOI: https://doi.org/10.36930/40320410.
8. Миколайчук В.Р. Використання функціонального поля для оцінювання ефективності роботизованої системи моніторингу місцевості. Зв'язок, № 1, 2021, с. 62-65. DOI: https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.0162-68.
9. Струтинський В.Б., Гуржій А.М. Наземні роботизовані комплекси: монографія. ПП «Рута», Житомир, 2023, 497 с.

10. Zhyvotovskyi, R., Gorobets, Yu., Momit. O. Indicators and Criteria of Efficiency Evaluation of Safety Aviation Complexes Application. Системи управління, навігації та зв'язку, № 5 (51), 2018, с. 8-12. https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.008.
11. Довгополий А.С., Загірський А.В.. Механіка та керованість безпілотних наземних роботизованих комплексів в умовах складного рельєфу. Механіка гіроскопічних систем, № 46, 2023, с. 5-21. https://doi.org/10.20535/0203-3771462023302678.
12. Зарубін І.С., Сотник С.В. Ефективність використання роботизованих систем у виробництві. Матеріали І-ї Всеукраїнської конференції «Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (CITAR-24)», 16-17 травня 2024 року, Харків, ХНУРЕ, с. 150-153.
13. Зінько Р.В., Казан П.І., Черевко Ю.М., Білик О.С. Оцінка ефективності дій мобільних бойових роботів методом теорії масового обслуговування. Військово-технічний збірник, № 22, 2020, с. 37-43. https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.37-43.
14. Мирончук Ю.В. Сучасний стан та перспективи розвитку наземних мобільних робототехнічних комплексів для Сухопутних військ Збройних Сил України. Військово-технічний збірник, № 14, 2016, с. 31-35. https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.31-35.
15. Дядечко, А., & Зуйко, В. (2025). Формування нормативної моделі життєвого циклу військових наземних роботизованих комплексів. *Social Development and Security*, *15*(4), 95-105. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.4.9

References

1. DSTU ISO/IEC/IEEE 15288:2016. Inzheneriia system i prohramnoho zabezpechennia. Protsesy zhyttievoho tsyklu system. Diisnyi z 01.01.2018. [Engineering of systems and software. System life cycle processes. Effective from 01.01.2018]. DP "UkrNDNTs", 2016.
2. DSTU V 15.003:2021. Systema keruvannia zhyttievoho tsyklu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Protsesy zhyttievoho tsyklu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Diisnyi z 01.09.2022. DP "UkrNDNTs", 2021.
3. DSTU V 15.004:2022. Systema rozroblennia i postavlennia na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Stadii zhyttievoho tsyklu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Diisnyi z 01.10.2023. DP "UkrNDNTs", 2022.
4. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters, 3*, 18–23. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001
5. Melesse, T. Y., Di Pasquale, V., & Riema, S. (2021). Digital twin models in industrial operations: State-of-the-art and future research directions. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing, 3*, 37–47. https://doi.org/10.1049/cim2.12010
6. Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration, 6*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005
7. Zalypka, V. D. (2022). Osoblyvosti stvorennia ta zastosuvannia nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv u providnykh krainakh svitu ta Ukraini [Features of creation and use of ground robotic systems in leading countries and Ukraine]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy, 32(4)*, 60–65. https://doi.org/10.36930/40320410
8. Mykolaichuk, V. R. (2021). Vykorystannia funktsionalnoho polia dlia otsiniuvannia efektyvnosti robotyzovanoi systemy monitorynhu mistsevosti [Using a functional field to evaluate the efficiency of a robotic terrain monitoring system]. *Zviazok, 1*, 62–65. https://doi.org/10.31673/2412-9070.2021.0162-68

9. Strutynskyi, V. B., & Hurzhii, A. M. (2023). *Nazemni robotyzovani kompleksy: monohrafiia* [Ground robotic systems: A monograph]. Zhytomyr: Ruta. 497 p.
10. Zhyvotovskyi, R., Gorobets, Yu., & Momit, O. (2018). Indicators and criteria of efficiency evaluation of safety aviation complexes application. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku, 5(51)*, 8–12. https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.008
11. Dovhopolyi, A. S., & Zahirskyi, A. V. (2023). Mekhanika ta kerovanist bezpilotnykh nazemnykh robotyzovanykh kompleksiv v umovakh skladnoho reliefu [Mechanics and controllability of unmanned ground robotic systems in complex terrain]. *Mekhanika hiroskopichnykh system, 46*, 5–21. https://doi.org/10.20535/0203-3771462023302678
12. Zarubin, I. S., & Sotnyk, S. V. (2024). Efektyvnist vykorystannia robotyzovanykh system u vyrobnytstvi [Effectiveness of robotic systems in production]. In *Proceedings of the 1st All-Ukrainian Conference on Computer-Integrated Technologies, Automation and Robotics (CITAR-24)* (pp. 150–153). Kharkiv: KhNURE.
13. Zinko, R. V., Kazan, P. I., Cherevko, Yu. M., & Bilyk, O. S. (2020). Otsinka efektyvnosti dii mobilnykh boiovykh robotiv metodom teorii masovoho obsluhovuvannia [Evaluation of the effectiveness of mobile combat robots using queuing theory]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk, 22*, 37–43. https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.37-43
14. Myronchuk, Yu. V. (2016). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku nazemnykh mobilnykh robototekhnichnykh kompleksiv dlia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy [Current state and development prospects of mobile terrestrial robotic systems for the Ukrainian Ground Forces]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk, 14*, 31–35. https://doi.org/10.33577/2312-4458.14.2016.31-35
15. Diadechko, A., & Zuiko, V. (2025). Forming a Regulatory Model of the Life Cycle for Military Ground Robotic Systems. *Social Development and Security*, *15*(4), 95-105. https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.4.9

Порошкові електродні матеріали для створення біметалевих бронепластин методом електродугового наплавлення

Powder Electrode Materials for Creating Bimetallic Armor Plates by Electric Arc Deposition

Анатолій Бабінець [A]
Corresponding author: кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник, e-mail: aa_babinets@sstc.ua, ORCID ID: 0000-0003-4432-8879

Ігор Рябцев [B]
доктор технічних наук, професор, завідувач відділу, e-mail: ryabtsev39@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7180-7782

Андрій Панфілов [C]
доктор філософії, директор, e-mail: a.panfilov@apis-holding.com, ORCID ID: 0009-0001-0738-6706

Антон Євдокимов [D]
доктор філософії, головний зварник, e-mail: a.evdokimov@steel-work.net, ORCID ID: 0009-0005-1289-3592

Олександр Приходько [E]
заступник директора, e-mail: a.prihodko@apis-holding.com, ORCID ID: 0009-0005-0203-6060

Валерій Перемітько [F]
д. тех. наук, професор, декан факультету, e-mail: vperemitko1965@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9032-6116

Anatoliy Babinets [A]
Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, e-mail: aa_babinets@sstc.ua, ORCID ID: 0000-0003-4432-8879

Ihor Ryabtsev [B]
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, e-mail: ryabtsev39@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7180-7782

Andriy Panfilov [C]
Doctor of Philosophy, Director, e-mail: a.panfilov@apis-holding.com, ORCID ID: 0009-0001-0738-6706

Anton Yevdokymov [D]
Doctor of Philosophy, Head Welder, e-mail: a.evdokimov@steel-work.net, ORCID ID: 0009-0005-1289-3592

Oleksandr Prykhodko [E]
Deputy Director, e-mail: a.prihodko@apis-holding.com, ORCID ID: 0009-0005-0203-6060

Valerii Peremitko [F]
Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty, e-mail: vperemitko1965@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9032-6116

[A] Державне підприємство "Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки", м. Київ, Україна
[B] Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, м. Київ, Україна
[C] ТОВ "АПІС ХОЛДІНГ", м. Кривий Ріг, Україна
[D] ТОВ "Стіл Ворк", м. Кривий Ріг, Україна
[E] ТОВ "АПІС ХОЛДІНГ", м. Кривий Ріг, Україна
[F] Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, Україна

[A] The State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety, Kyiv, Ukraine
[B] E.O. Paton Electric Welding Institute, Kyiv, Ukraine
[C] "APIS HOLDING" LLC, Kryvyi Rih, Ukraine
[D] "STEEL WORK" LLC, Kryvyi Rih, Ukraine
[E] "APIS HOLDING" LLC, Kryvyi Rih, Ukraine
[F] Dniprovsky State Technical University, Kamianske, Ukraine

Received: October 23, 2025 | Revised: October 30, 2025 | Accepted: October 31, 2025

UDC 623.093, 623.445, 621.791.927.5

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.4.16

Мета роботи. Розроблення хімічного складу, техніки та технології для електродугового наплавлення порошковим дротом зносостійкого та ударостійкого шару, з метою створення біметалевих бронепластин, здатних забезпечити панцеровий захист спеціалізованого автомобіля (ПЗСА) по 4-му класу.

Метод дослідження. Запропоновано концепцію створення біметалевих бронепластин шляхом електродугового наплавлення високоміцного шару на основу з конструкційної сталі з використанням порошкового дроту оптимізованого складу. Хімічний склад осердя дроту та режими наплавлення визначали розрахунково-експериментальним методом. Виконували металографічний аналіз, визначення твердості та балістичні тести.

Результати дослідження. Розроблено порошковий дріт, який забезпечує формування якісного бездефектного наплавленого шару, що відповідає броньовим сталям класу підвищеної твердості. Балістичні випробування підтвердили відповідність класу захисту ПЗСА-4.

Теоретична цінність дослідження. Стаття поглиблює уявлення про закономірності формування структури та властивостей наплавленого металу, комплексно легованого хромом, молібденом, ванадієм та нікелем з урахуванням впливу мікролегуючих добавок карбіду бору.

Практична цінність дослідження. Запропоноване рішення дозволяє оперативно виготовляти або відновлювати броньові

Purpose. Development of chemical composition, technique and technology for electric arc surfacing of a wear-resistant and impact-resistant layer with a flux cored wire, in order to create bimetallic armor plates capable of providing armor protection of a specialized vehicle (PZSA) according to the 4th class.

Method. The concept of creating bimetallic armor plates by electric arc welding of a high-strength layer on a structural steel base using flux cored wire of optimized composition was proposed. The chemical composition of the wire core and the welding modes were determined by the computational-experimental method. Metallographic analysis, hardness determination, and ballistic tests were performed.

Findings. A flux cored wire has been developed that ensures the formation of a high-quality, defect-free welded layer that corresponds to armor steels of the increased hardness class. Ballistic tests confirmed compliance with the PZSA-4 protection class.

Theoretical implications. The article deepens the understanding of the regularities of the formation of the structure and properties of the deposited metal, complexly alloyed with chromium, molybdenum, vanadium and nickel, taking into account the influence of microalloying additives of boron carbide.

Practical implications. The proposed solution allows for the rapid production or restoration of armor elements in conditions of

елементи в умовах обмеженого виробництва та дефіциту імпортних матеріалів. Технологія є придатною для польового застосування та дозволяє адаптувати її до різних типів базової сталі. Пластини можуть застосовуватися як для підсилення кузовів бронетехніки, так і для засобів індивідуального захисту.

Цінність дослідження. Дослідження є першим, в якому створено вітчизняний порошковий дріт з борвмісними карбідами для наплавлення бронестійких шарів на сталеву основу, що забезпечує клас захисту ПЗСА-4. Запропонована технологія поєднує простоту та ефективність, забезпечуючи балістичний захист, притаманний високовартісним імпортним аналогам.

Тип статті. Науково-прикладна експериментальна стаття.

Ключові слова: біметалева бронепластина, дугове наплавлення, порошковий дріт, балістичний захист, зносостійкий шар.

limited production and shortage of imported materials. The technology is suitable for field application and allows it to be adapted to different types of base steel. The plates can be used both for reinforcing armored vehicles and for personal protective equipment.

Value. The research is the first to create a domestic flux-cored wire with boron-containing carbides for welding armor-resistant layers onto a steel base, providing protection class PZSA-4. The proposed technology combines simplicity and efficiency, providing ballistic protection inherent in high-cost imported analogues.

Paper type. Scientific and applied experimental article.

Key words: bimetallic armor plate, arc surfacing, flux cored wire, ballistic protection, wear-resistant layer.

Вступ

Повномасштабна військова агресія рф проти України створила безпрецедентні виклики для її оборонної промисловості та ремонтних підрозділів Збройних Сил України (Павлов Ю. 2024), (Antis R.M., Mullis T.R. 2023), (Aleksic M. та інші 2023). За даними роботи (Єманов В. 2022) у сучасному бою втрати військової техніки можуть досягати 30 %. Тому однією з нагальних потреб, від якої залежить успіх у виконанні бойових завдань є швидке виготовлення, модернізація та ремонт елементів захисту легкобронюваної колісної військової техніки (Krobot Z. та інші 2023), (Жирний В. 2024), (Рікунов О. 2024).

Використання для цієї мети броньових сталей імпортного виробництва може бути ускладнене через низку економічних та технологічних факторів: високої вартості продукції та невизначених строків виготовлення й транспортування (Antis R.M., Mullis T.R. 2023), (Aleksic M. та інші 2023), а також обмеженої здатності броньових сталей до зварювання (Prysyazhnyuk P. та інші 2025), (Cabrilo A., Janjic N. 2022), (Ворон М. та інші 2024). Окрім того, значна залежність від зовнішньої допомоги створює стратегічну вразливість для України. Розвиток внутрішнього виробництва, особливо з використанням доступних матеріалів та наявної інфраструктури, є життєво необхідним для зміцнення національної безпеки та оборони.

Одним із перспективних напрямів локального підвищення бронестійкості легкої колісної військової техніки та заміни бронепластин імпортного виробництва, є розробка матеріалів та технологій дугового наплавлення для створення біметалевих бронепластин із поверхневим шаром підвищеної твердості, які не поступаються за ефективністю імпортним аналогам, проте мають нижчу вартість, кращу технологічність і доступність виготовлення в умовах воєнного часу.

Важливо також враховувати, що велика різноманітність імпортних броньових сталей, які використовуються для захисту техніки, яка експлуатуються ЗСУ, ускладнює її технічне обслуговування при відновленні та модернізації, при цьому часто виникають питання до якості поставленої продукції (Сливінський О.А. та інші 2017). Перевагою використання порошкових дротів для електродугового наплавлення є можливість отримання хімічного складу та властивостей наплавленого металу в широких межах, в тому числі при виконанні робіт в польових умовах (Prysyazhnyuk P. та інші 2025). Це має важливе значення для підтримки різноманітного парку легкобронюваних транспортних засобів та швидкого повернення пошкодженої техніки до експлуатаційного стану або її модернізації.

Запропонований підхід повністю відповідає меті посилення оборонно-промислового потенціалу України та сприяє самозабезпеченню. Таким чином, розробка матеріалів та технологій для створення біметалевих бронепластин методами дугового наплавлення, є обґрунтованою, актуальною та практично значущою задачею, спрямованою на підвищення обороноздатності України.

Теоретичні основи дослідження

Огляд характеристик сучасних бронематеріалів, а також проблем та перспектив створення біметалевих бронепластин методами наплавлення

Сучасні броньові сталі в основному класифікуються за твердістю. До них, наприклад, належить катана гомогенна броня з твердістю до 47 HRC (MIL-DTL-12560K 2013), броня підвищеної твердості – до 54 HRC (MIL-DTL-46100E 2008), та броня ультрависокої твердості - понад 57 HRC (MIL-DTL-32332A 2018).

У світовій практиці для виготовлення бронестійких елементів зазвичай використовують:

монолітні бронесталі типу Armox, Hardox, Ramor, Mars, що мають високу твердість (45...58 HRC) і високий опір проникненню, однак мають суттєві обмеження щодо зварюваності та високу вартість (Basmaci M., Saklakoglu I.E. 2025), (Ворон М. та інші 2024), (Сливінський О.А. та інші 2017);

композитну броню (Chen H. та інші 2025), (Tsirogiannis E. C. 2023), (Wang Y. 2023) або багатошарові системи (Kovalchuk D.V. та інші 2025), (Zukas J. A., Scheffler D. R. 2001), (Markovsky P.E. та інші 2021), які мають добру стійкість до певних типів загроз, але технологічно складні у виготовленні та ремонті.

Броньована сталь повинна мати унікальне поєднання високої твердості для опору локальним ударам високої інтенсивності та достатньої в'язкості для уникнення крихкого руйнування (Prysyazhnyuk P. та інші 2025), (Markovsky P.E. та інші 2021), (Ворон М. та інші 2024). Ці властивості досягаються за допомогою точного хімічного складу та ретельно контрольованих складних виробничих процесів, включаючи плавлення, легування, безперервне лиття, гарячу прокатку та термічну обробку.

Збільшення твердості сталевих бронепластин значно покращує балістичний захист до певної межі, завдяки чому можна зменшити товщину, а отже і вагу пластини. Наприклад, бронепластина товщиною 6,5 мм, виготовлена із високотвердої сталі може замінити пластину товщиною 15 мм, виготовлену зі звичайної сталі, при цьому забезпечуючи однаковий клас захисту (Babinets A.A. та інші 2018).

Однак, як зазначалось вище, підвищені балістичні характеристики високотвердих сталей мають і певні недоліки: їх легкість оброблення та зварювання суттєво погіршується (Gaivoronskyi O.A. та інші 2023), (Cabrilo A., Janjic N. 2022), (Сливінський О.А. та інші 2017), а значне підвищення твердості може привести до зміни характеру ураження із в'язкого на крихке, що навпаки – негативно вплине на кулестійкість (Горбачова Я. 2021). Окрім того, складні та точні виробничі процеси, пов'язані з виготовленням цих спеціалізованих сталей неминуче підвищують їх вартість. Це може створювати значні перешкоди для реалізації процесу швидкого виробництва та ремонту, особливо з використанням зварювання.

При цьому для уникнення появи тріщин при зварюванні високотвердих броньових сталей найчастіше застосовують хромонікелеві аустенітні сталі які, втім, не забезпечують достатньої бронестійкості швів (Kumar S.N. та інші 2022), (Souza E.R.S. та інші 2021), (Özdemir T. 2020). Згідно з даними робіт (Prysyazhnyuk P. та інші 2025), (Garašić I. Та інші 2019) часто для зміцнення зварних швів доводиться наплавляти шари високотвердого покриття, що ще більше ускладнює технологію зварювання броньових листів та часто не приносить бажаного результату.

Альтернативною відповіддю на цей виклик може бути використання методів дугового наплавлення, які широко застосовуються для відновлення та зміцнення зношених металевих поверхонь різних деталей в тому числі і в цивільному секторі (Lozynskyi V. Та інші 2024), (Kuskov Y.M. та інші 2022), (Bembenek M. Та інші 2022), і можуть бути успішно реалізовані з метою створення біметалевих бронестійких пластин для військової техніки.

Дугове наплавлення порошковими дротами характеризується низкою важливих техніко-технологічних переваг:

можливість керованого варіювання хімічного складу наплавленого металу для забезпечення необхідних властивостей – твердості, міцності, корозійної стійкості тощо;

стабільність властивостей наплавленого шару, що досягається завдяки рівномірному розподілу легувальних компонентів;

висока продуктивність процесу;

можливості наплавлення у різних просторових положеннях;

мінімальні вимоги до підготовки поверхні;

відносна технологічна простота процесу та низька вартість обладнання, що дозволяє виконувати процес наплавлення навіть в польових умовах.

Ідея створення біметалевих листів методами наплавлення, або нанесення покриттів за своєю суттю не нова: наприклад, у роботі (Prysyazhnyuk P. та інші 2025) в якості основного металу використовували спеціальну зносостійку сталь Armox 440T (твердість 42…48 HRC) на яку наносили захисні шари металу при орієнтовному вмісті в ньому: 15…17 % Mn, 7…15 % Mo, 1,0 % B та C, решта – залізо. Основним недоліком наведеної роботи є використання в якості матеріалу основи спеціальної сталі, яка в 5…7 разів дорожча за низьколеговану сталь. У роботі (Nicolescu C. Та інші 2025) аналогічне завдання вирішували нанесенням на спеціальну сталь HARDOX 450 шару композитного матеріалу на основі оксиду алюмінію, товщиною 0,2 мм. Автори отримали якісне покриття із гарної адгезією до основного металу, і зробили припущення що такий матеріал можна використовувати в якості бронепластин, однак даних щодо бронестійкості не наводили. У роботі (Kovalchuk D.V. та інші 2025) в якості основного металу використовували титан та композитні шари. Однак недоліком представленого рішення є значна вага бронепластини: при необхідній товщині захисту композитної пластини в 27 мм, її вага в два рази перевищує вагу сталевого бронелиста товщиною 8 мм аналогічного класу захисту. У роботі (Altuncu E., Tarım M. 2020) на основу зі сталі Armox 500T за допомогою лазерного наплавлення наносили шар високотвердого (62 HRC) покриття. Однак через свою невелику товщину (менше 1,0 мм), даний спосіб не зміг суттєво підвищити кулестійкість бронеплатини.

Зазначені недоліки відсутні у підході, запропонованому в даній роботі. Створення біметалевої бронепластини на основі поєднання легкодоступного, легкозварюваного дешевого пластичного основного матеріалу типу низьковуглецевої низьколегованої сталі та високоміцного поверхневого шару, отриманого методом дугового наплавлення, потенційно створює більш сприятливий баланс властивостей, вартості та технологічності для досягнення поставленої мети.

Матеріали та методики досліджень й концепція створення біметалевих бронепластин методом наплавлення

В Україні бронепластини, що застосовуються для захисту легкоброньованої колісної техніки, повинні відповідати вимогам стандарту (ДСТУ 3975 2000) де, зокрема, встановлюються сім класів захисту. Рівень захисту ПЗСА-4 повинен забезпечувати захист від кулі 5,45 мм автоматного набою 7Н10, випущеної з автомата АК-74 або кулі 7,62 мм гвинтівкового набою 57-Н-323с, випущеної з гвинтівки СВД.

В роботі запропонована концепція створення біметалевої бронепластини, шляхом поєднання двох типів матеріалів – основи, виготовленої з пластичної сталі та високоміцного шару, отриманого методом дугового наплавлення. Дана концепція ґрунтується на принципах поверхнево-зміцненої броні, де твердий передній шар призначений для руйнування або деформації кулі, тоді як більш в'язкий, пластичний задній шар підтримує тверду поверхню під час удару та поглинає залишкову енергію, запобігаючи повному проникненню та відколу (Babinets A.A. та інші 2018).

В якості основного металу використовували пластини розмірами 300х300 мм та товщиною 5 мм зі сталей типу Ст.3, 09Г2С тощо, які характеризуються високою пластичністю, гарною оброблюваністю та зварюваністю.

Для наплавлення високоміцного шару використовували порошковий дріт з осердям із феросплавів та металічних матеріалів, вміст яких був розрахований для отримання наплавленого металу системи легування C-Cr-Mo-V-Ni-Si-Mn та додатково мікролегованого карбідами бору.

Запропонована система легування наплавленого металу та орієнтовний вміст легувальних елементів (табл. 1) визначені на основі аналізу хімічного складу імпортних бронесталей та практичного досвіду (Рікунов О. та інші 2024), (Ворон М. та інші 2024), (Babinets A.A. та інші 2018), з метою отримання балансу високої твердості, зносостійкості та ударної в'язкості, що є вирішальним для балістичного захисту.

Таблиця 1 – Орієнтовні діапазони вмісту основних легувальних елементів в наплавленому металі – аналогу бронестійкої сталі (мас. %)

Масова частка елементів, %							
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	B
0,3-0,5	0,25-1,65	0,3-1,5	0,5-3,0	0,9-4,0	0,2-1,95	0,2-0,5	≤ 0,2

Джерело: підготовлено авторами за матеріалами робіт (Рікунов О. та інші 2024), (Ворон М. та інші 2024), (Babinets A.A. та інші 2018).

При цьому враховували вплив окремих легувальних елементів на властивості наплавленого металу (Cabrilo A., Janjic N. 2022), (Tandon D. Та інші 2023), (Jorge J.C.F. та інші 2001):

вуглець є основним елементом для досягнення високої твердості в сталях, головним чином через утворення мартенситу при загартуванні та виділення різних карбідів. Високий вміст вуглецю сприяє утворенню твердих карбідних фаз, які є критично важливими для зносостійкості та загальної твердості в наплавлених сплавах. Однак, високий вміст вуглецю ускладнює зварювання броньових сталей, підвищуючи чутливість до воднево-індукованого холодного розтріскування;

хром є потужним карбідоутворювачем. У поєднанні з вуглецем він утворює надзвичайно тверді карбіди, які значно підвищують абразивну зносостійкість та загальну твердість наплавленого шару. Однак, збільшення вмісту хрому в деяких випадках може погіршувати ударну в’язкість;

молібден підвищує твердість та міцність сталі шляхом утворення твердих розчинів із залізом та сприяння утворенню стабільних карбідів. Він відіграє вирішальну роль у покращенні в’язкості сталі, що є життєво важливим для опору ударам та деформації під динамічними навантаженнями;

ванадій є сильним карбідоутворювачем, карбіди ванадію ефективно блокують ріст аустенітних дендритів під час затвердіння, що призводить до більш дрібнозернистої мікроструктури, яка, як правило, покращує як твердість, так і зносостійкість;

нікель в основному додається для підвищення в’язкості та пластичності сталі. Він є сильним стабілізатором аустеніту і може покращити ударну в’язкість наплавлених сплавів;

кремній покращує текучість розплавленого зварювального металу, що є корисним для зварюваності. З металургійного погляду, кремній може підвищувати в’язкість та ударну зносостійкість, можливо, впливаючи на морфологію карбідів;

марганець є поширеним легувальним елементом, який діє як розкислювач та поглинач сірки, покращуючи зварюваність. Однак, збільшення вмісту вуглецю, часто в поєднанні з марганцем, може призвести до зниження ударної в’язкості через утворення небажаних мікроструктурних складових;

бор навіть у невеликих кількостях (до 0,1 мас.%) може значно підвищити прогартовуваність сталі шляхом пригнічення утворення м'якших фаз (фериту, бейніту, перліту), тим самим сприяючи більшому перетворенню в мартенсит. Цей ефект відбувається, коли бор сегрегує до меж зерен аустеніту (Prysyazhnyuk P. та інші 2025), (Bembenek M. та інші 2022), (Keleş-Dayauç A., Baran-Acımert Ö. 2025).

Вибір методу електродугового наплавлення порошковим дротом ґрунтується на його перевагах: високій швидкості наплавлення, можливості наплавлення у всіх просторових положеннях, мінімальними вимогами до підготовки поверхні та здатністю створювати міцне та довговічне з'єднання.

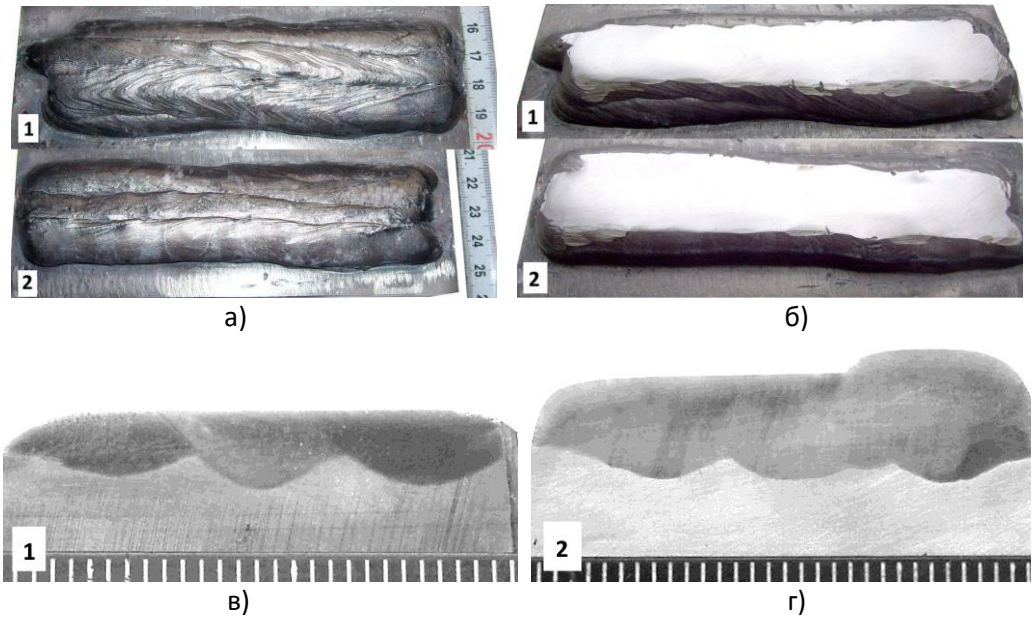
Наплавлення пластин виконували на режимах, які забезпечують мінімізацію тепловкладення (погонної енергії), що зменшує ступінь розширення та стиснення матеріалу, тим самим зменшуючи залишкову деформацію. Режими обирались, враховуючи результати власних попередніх експериментальних досліджень. Крім того, для збалансування сил усадки та мінімізації деформацій, наплавлення пластин виконували з дотриманням певної послідовності накладання окремих валиків з певним кроком, та з пристосуванням для охолодження тильної сторони листа, що є ефективним методом впливу на умови кристалізації розплавленого металу та залишкові напруження (Colegrove P. та інші 2009).

Металографічні дослідження виконували при збільшеннях х300…х600, використовуючи оптичний мікроскоп Neophot-2. Підготовку зразків виконували за стандартними методами, які включають багатоетапне шліфування. Хімічне травлення виконували в 4%-му розчині азотної кислоти.

Балістичні випробування наплавлених біметалевих бронепластин здійснювали в сертифікованій лабораторії відповідно до вимог стандарту (ДСТУ 3975 2000).

Результати та обговорення

Зовнішній вигляд та поперечні макрошліфи зразків, наплавлених розробленим порошковим дротом оптимізованого та базового складів, який був використаний у якості еталона, наведено на рис. 1. З рис. 1 рисунку видно, що якість формування металу, наплавленого обома типами порошкових дротів є високою, зовнішніх та внутрішніх макро- та мікродефектів у наплавленому металі не виявлено.



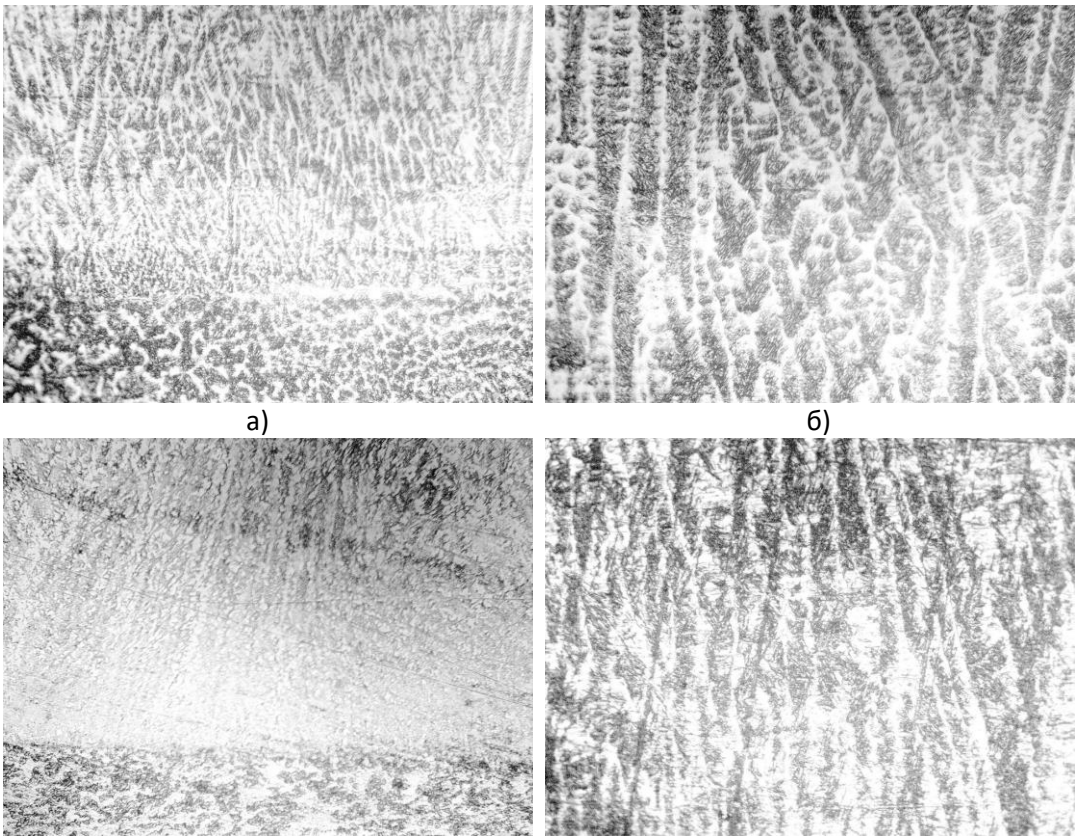
а) б)

в) г)

Рисунок 1 – Поверхня наплавлених зразків, до (а) та після (б) механічної обробки та поперечні макрошліфи зразків (в, г): 1 – еталон; 2 – дослідний

Металографічний аналіз зразків показав, що при наплавленні обома типами дротів, лінія сплавлення між основним (внизу) та першим шаром наплавленого (вгорі) металу простежується чітко (рис. 2, а, б). Структура в верхній частині наплавленого металу є достатньо однорідною, причому у випадку наплавлення дротом оптимізованого складу, спостерігається її подрібнення (рис. 2, в, г).

Експериментально встановлено, що властивості металу, наплавленого дротом оптимізованого складу, знаходяться на високому рівні у порівнянні із дротом-еталоном. Внаслідок оптимізації складу порошкового дроту, твердість верхнього шару наплавленого ним металу зросла з 53…54 HRC до 57…60 HRC, що відповідає твердості імпортних броньових сталей підвищеної твердості типу UHS (MIL-DTL-32332A 2018).



а) б) в) г)

Рисунок 2 – Мікроструктура зразків, наплавлених дротом-еталоном (а, б) та дослідним дротом (в, г) поблизу лінії сплавлення зразка (а, в) та у верхній частині наплавленого металу (б, г). х240.

З метою отримання біметалевих бронепластин було розроблено технологію наплавлення листів зі сталі Ст.3, 09Г2С тощо, розробленим порошковим дротом оптимізованого складу. Як зазначалося вище, для мінімізації залишкових деформацій після наплавлення, дана технологія включає в себе вибір режимів наплавлення з мінімальним тепловкладенням, певний порядок накладання наплавлених валиків та спеціальні пристосування для охолодження тильної сторони пластин в процесі наплавлення. Візуальним оглядом поверхні серії наплавлених біметалевих листів, отриманих із використанням розробленого порошкового дроту підтвердив високу якість формування наплавленого металу та відсутність зовнішніх дефектів (рис. 3). Цей аспект дуже важливий, адже якість поверхні наплавленого металу та наявність в ньому дефектів значно впливає на обсяг механічної обробки поверхні і, як наслідок, на товщину високоміцного шару, а отже і на кулестійкість бронепластини та технологічність її виготовлення.

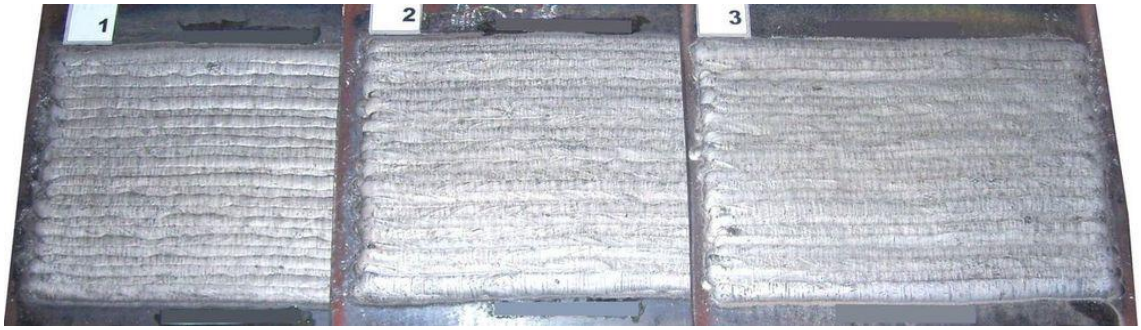


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд серії біметалевих бронепластин, які були отримані шляхом електродугового наплавлення

Балістичні випробування наплавлених біметалевих пластин, загальною товщиною близько 8 мм, проводили відповідно до вимог класу захисту ПЗСА-4, використовуючи два типи озброєнь і боєприпасів, характеристики яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Найменування зброї та засобів ураження, які використовувались під час дослідно-промислової перевірки

Зброя та засіб ураження	Опис кулі	Маса кулі, г	Нормована швидкість кулі, м/с	Відстань від зрізу ствола до поверхні зразка, м
Автомат АК-74, куля 5,45 мм набою 7Н10	Сталеве загартоване осереддя у сталевій оболонці	3,6	910±15	10,0±0,5
Гвинтівка СВД, куля 7,62 мм набою 57-Н-323С	Сталеве осердя у сталевій оболонці	9,6	850±15	10,0±0,5

Результати випробувань підтвердили відповідність наплавлених бронепластин вимогам класу захисту ПЗСА-4: у жодному зразку не було зафіксовано пробоїв при використанні калібру 7,62 мм включно, а також не спостерігалося утворення вторинних осколків. Зовнішній вигляд пластин без механічної обробки та з нею, після балістичних випробувань наведено на рис. 4.

а) б)

Рисунок 4. Зовнішній вигляд біметалевих наплавлених пластин до механічної обробки (а) та після неї (б) після балістичних випробувань. Кружками указані місця попадання куль

Таким чином, за результатами балістичних випробувань встановлено, що біметалеві пластини, наплавлені розробленим порошковим дротом повністю відповідають вимогам класу захисту ПЗСА-4 згідно (ДСТУ 3975 2000), та можуть бути використані для локального підсилення елементів кузовів легкоброньованої колісної техніки. Також можливе використання для засобів індивідуального захисту особового складу (плит бронежилетів та плитоносок) згідно стандарту (ДСТУ 8782 2018).

Основними перевагами запропонованого у роботі підходу створення біметалевої бронепластини із використанням в якості основного металу широкорозповсюдженої конструкційної сталі 09Г2С та дугового наплавлення високоміцних шарів на відміну від подібних технологічних рішень (Prysyazhnyuk P. та інші 2025), (Altuncu E., Tarım M. 2020) є:

у 7 разів нижча собівартість виготовлення за рахунок використання більш дешевого матеріалу основи та економного легування наплавлених шарів;

високий рівень зварюваності та ремонтопридатності за рахунок використання основних та наплавлювальних матеріалів не схильних до окрихчення;

відсутність потреби у закупівлі імпортних сталей, що особливо важливо в мінливих умовах сьогодення;

можливість виготовлення самозахисних порошкових дротів для локального зміцнення або ремонту елементів захисту військової техніки, який можна виконати в умовах ремонтної майстерні.

Висновки

1. Проведене дослідження підтверджує високу актуальність та перспективність ідеї створення біметалевих бронепластин методом наплавлення з використанням порошкових дротів. В умовах повномасштабної військової агресії рф, потреба України у технологічних, ефективних та економічно доцільних рішеннях спрямованих на відновлення та модернізацію бронеелементів військової техніки є критичною.

2. Розроблено оптимальний хімічний склад осердя порошкового дроту, що забезпечує отримання бездефектного наплавленого шару, з твердістю більше 57 HRC в верхньому шарі наплавленого металу.

3. Визначені оптимальні параметри електродугового наплавлення (струм, напруга, швидкість подачі дроту та швидкість наплавлення) для зниження теплового впливу на основу і забезпечення мінімальних залишкових деформацій після наплавлення бронепластин.

4. Розроблена техніка та технологія для мінімізації внутрішніх напружень та виникнення поверхневих дефектів у вигляді тріщин та западань.

5. Проведені балістичні випробування наплавлених зразків біметалевих бронепластин товщиною 8 мм, які показали що вони відповідність вимогам класу захисту ПЗСА-4 згідно з ДСТУ 3975-2000.

6. Напрямок є перспективним для подальших досліджень щодо використання для захисту від зброї більш високого класу ПЗСА-5 та ПЗСА-6 з модифікацією осердя дроту полімерами.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

Aleksic M., Cvrk S., & Bozovic D. Analysis of Land Army Maintenance Techniques in the War in Ukraine. *Military Review*. 2023. URL: https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/May-June-2023/Land-Army-Maintenance-Techniques

Altuncu E., & Tarim M. Laser cladding of martensitic stainless steels on armor steels. *Emerging Materials Research*. 2020. Vol. 9, No. 1, 55–58. https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00120

Antis R.M. & Mullis T.R. *Russian war against Ukraine lessons learned. Curriculum guide*. 2023. Brussels: NATO Headquarters, 150 p. URL: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/12/pdf/231208-RusWar-Ukraine-Lessons-Curriculum.pdf

Babinets A.A., Ryabtsev I.A. & Panfilov A.I. Materials for individual armour protection (Review). *The Paton Welding Journal*. 2018. Is. 8. 39-43. https://doi.org/10.15407/tpwj2018.08.07

Basmaci M., & Saklakoglu I.E. Classification of modern armor steels, history, material properties and heat treatment procedures. *Machines. Technologies. Materials*. 2025. Vol. 19, is. 3, 105-109.

Bembenek M., Prysyazhnyuk P., Shihab T., Machnik R., Ivanov O., & Ropyak L. Microstructure and wear characterization of the Fe-Mo-B-C-based hardfacing alloys deposited by flux-cored arc welding. *Materials*. 2022. vol. 15, no. 14. https://doi.org/10.3390/ma15145074

Cabrilo A., & Janjic N. Welding of High-Hardness Armor Steel. *Advanced Engineering Letters*. 2022. Vol. 1(4), 148–155. https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.4.5

Chen H., Li H., Zong S., Weng J. & Xiong X. Study on the Optimal Thickness Ratio and Backing Plate Stacking Sequence of Ceramic Composite Armor Components. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2025. https://doi.org/10.1007/s11665-025-11252-z

Colegrove P., Ikeagu C., Thistlethwaite A., Williams S., Nagy T., Suder W., Steuwer A., & Pirling T. Welding process impact on residual stress and distortion. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2009. Vol. 14(8), 717-725. https://doi.org/10.1179/136217109X406938

ДСТУ 3975. Захист панцеровий спеціалізованих автомобілів. Загальні технічні вимог. [Чинний від 2001-01-01]. Київ: Держстандарт України, 2000. 13 с.

ДСТУ 8782. Засоби індивідуального захисту. Бронежилети. Класифікація. Загальні технічні умови. [Чинний від 01.07.2019]. Київ: Держстандарт України, 2018. 17 с.

Gaivoronskyi O.A., Poznyakov V.D., Zavdoveyev A.V., Klapatyuk A.V., & Denysenko A.M. Prevention of cold cracking in armour steel welding. *The Paton Welding Journal*. 2023. Is. 5. 3-10. https://doi.org/10.37434/tpwj2023.05.01

Garašić I., Jurica M., Iljkić D., & Barišić A. Determination of ballistic properties on ARMOX 500T steel welded joint. *Engineering Review*. 2019. Vol. 39(2). 186-196. https://doi.org/10.30765/er.39.2.8

Горбачова Я. Формулювання вимог до захищеності бойових броньованих машин від ураження боєприпасами кінетичної дії. *Social Development and Security*. 2021. Vol. 11(2), 115-124. https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.12

Jorge J.C.F, Souza L.F.G, & Rebello J.M.A. The effect of chromium on the microstructure/toughness relationship of C–Mn weld metal deposits. *Materials Characterization*. 2001. Vol. 47, is. 3–4, 195-205. https://doi.org/10.1016/S1044-5803(01)00168-1

Keleş-Dayauç A., Baran-Acımert Ö. Investigation of the Structural, Mechanical, Tribological and Electrochemical Properties of B4C Films Deposited by Different Techniques. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2025. 34, 13751–13760. https://doi.org/10.1007/s11665-025-11153-1

Kovalchuk D.V., Savvakin D.G., Janiszewski J., Fikus B., Piasta K., Nevmerzhytskiy V., Tkachuk V., Stasiuk O.O., Oryshych D.V., Skoryk M.A., Sienkiewicz J. & Markovsky P.E. Terminal ballistic effects for 3D-printed multi-layered material consisting of Ti-6Al-4V alloy, metal matrix

composite and porous titanium. *Scientific reports*. 2025. 15, 12767. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97087-z

Krobot Z., Stodola P., & Stodola J. Methodology for Evaluating the Combat Capability of Armored Vehicle. *Proc. of the 27th Int. Sci. Conf. on Transport Means*. 4-6 October, 2023. Palanga, Lithuania. 617 – 622.

Kumar S.N., Balasubramanian V., Malarvizhi S., Rahman A.H., & Balaguru V. Effect of welding consumables on shielded metal arc welded ultra high hard armour steel joints. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 2022. vol. 31, no. 1. 8-21. https://doi.org/10.1515/jmbm-2022-0002

Kuskov Y.M., Zadorozhna K.R., Makarenko V.D., Tishchenko V.D., Gordan G.N., Bogaychuk I.L. & Kaida T.V. Pulse-Arc Surfacing of Corrosion-Resistant Austenitic-Martensitic Steel. *Materials Science*. 2022. Vol. 58, 28–34. https://doi.org/10.1007/s11003-022-00626-6

Lozynskyi V., Trembach B., Hossain M., Kabir M.H., Silchenko Yu., Krbata M., Sadovyi K., Kolomiitse O., & Ropyak L. Prediction of phase composition and mechanical properties Fe–Cr–C–B–Ti–Cu hardfacing alloys: Modeling and experimental validations. *Heliyon*. 2024. vol. 10, no. 3. e25199. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25199

Markovsky P.E., Savvakin D.G., Stasiuk O.O., Sedov S.H., Golub V.A., Kovalchuk D.V., & Prikhodko S.V. Ballistic Resistance of Layered Titanium Armour Made Using Powder Metallurgy and Additive 3D Printing. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol*. 2021. Vol. 43, is. 12, 1573–1588. https://doi.org/10.15407/mfint.43.12.1573

MIL-DTL-12560K. *High Strength Armor Steel specified by the U.S. Department of Defense. Rolled Homogeneous Alloy Steel (RHA)*. 2013. 52 p.

MIL-DTL-32332A. *Armor plate, steel, wrought, ultra-high-hardness*. 2018. 27 p.

MIL-DTL-46100E. *Armor plate, steel, wrought, high-hardness*. 2008. 29 p.

Nicolescu C., Munteanu C., Lupescu Ș., Țigănescu V., Miculescu M., Istrate B., & Antoniac I. Characterization of the alumina layer deposited by plasma spray deposition on the hardox steel for ballistic protection. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*. 2025. Vol. 87, Is. 1. 215-226.

Özdemir T. Mechanical & microstructural analysis of armor steel welded joints. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2020. Vol. 12, is. 1. 166-175. https://doi.org/10.29137/umagd.488104

Павлов Я. Алгоритми дій ремонтних підрозділів з відновлення автобронетанкової техніки в умовах ведення бойових дій. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2024. Том 2, № 44. 115-121. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518

Prysyazhnyuk P., Biały W., Bembenek M., Panchuk V., Medvid I., Duriagina Z., Romanyshyn T. & Vytvytskyi V. Improving Ballistic Resistance of Armor Steel by FCAW with Hardfacing Alloys of Fe–Mo–Mn–B–C System. *Management Systems in Production Engineering*. 2025. Vol. 33(3). 380-387. https://doi.org/10.2478/mspe-2025-0036

Рікунов О., Смагін О., Бісик В. Удосконалення методики оцінювання можливостей ремонтно-відновлювальних органів військових частин НГУ з проведення ремонту пошкоджених зразків озброєння та військової техніки у ході виконання завдань за призначенням. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. 2024. Том 1, № 43. 101-105. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/1/43/307908

Souza E.R.S., Weber R.P., Monteiro S.N., & Oliveira S. Microstructure effect of heat input on ballistic performance of welded high strength armor steel. *Materials*. 2021. vol. 14, is. 19, 5789. https://doi.org/10.3390/ma14195789

Сливінський О.А., Бісик С.П., Чепков І.Б., Васьківський М.І., & Чернозубенко О.В. Проблеми виготовлення зварних бронекорпусів вітчизняних бойових броньованих машин.

Weapons and military equipment. 2017. 4. 29-38. https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4(16).29-38

Tandon D., Li H., Pan Z., Yu D., & Pang W. A Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works. Metals. 2023. Vol. 13(9). 1512. https://doi.org/10.3390/met13091512

Tsirogiannis E. C., Daskalakis E., Hassan M. H., Omar A.M., & Bartolo P. Ballistic design and testing of a composite armour reinforced by CNTs suitable for armoured vehicles. *Defence Technology*. 2023. Vol. 32. 173-195. https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.04.013

Ворон М., Скоробагатько Ю., Тимошенко А., Семенко А., Шваб С., & Смірнов О. Потенціал застосування надлегких сталей для виробництва елементів броні військової техніки. *Social Development and Security*. 2024. 14(5). 106-112. https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.10

Wang Y., Liu Q., Zhang B., Wang H., Hazell P.J., Han Z., Li J., Li B., Li L., Liu F., Ye F. Ballistic performance of functionally graded B4C/Al composites without abrupt interfaces: Experiments and simulations. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023. vol. 25. 1011-1029. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.021

Єманов В. Проблемні питання систем експлуатації та відновлення автобронетанкової техніки національної гвардії України. *Честь і закон*. 2022. Том 2, № 81. 63-71. https://doi.org/10.33405/2078-7480/2022/2/81/263780

Жирний В., Задорожній І., Найко А., Третяк Н. Інновації щодо бронезахисту військової техніки. *Military Science*. 2024. Том 2, № 3. 120-132. https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.3.10

Zukas J.A. & Scheffler D. R. Impact effects in multilayered plates. International Journal of Solids and Structures. Vol. 38, Is. 19. 3321-33282001. https://doi.org/10.1016/S0020-7683(00)00260-2

References

Aleksic M., Cvrk S., & Bozovic D. Analysis of Land Army Maintenance Techniques in the War in Ukraine. *Military Review*. 2023. URL: https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/English-Edition-Archives/May-June-2023/Land-Army-Maintenance-Techniques

Altuncu E., & Tarim M. Laser cladding of martensitic stainless steels on armor steels. *Emerging Materials Research*. 2020. Vol. 9, No. 1, 55–58. https://doi.org/10.1680/jemmr.18.00120

Antis R.M. & Mullis T.R. *Russian war against Ukraine lessons learned. Curriculum guide*. 2023. Brussels: NATO Headquarters, 150 p. URL: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2023/12/pdf/231208-RusWar-Ukraine-Lessons-Curriculum.pdf

Babinets A.A., Ryabtsev I.A. & Panfilov A.I. Materials for individual armour protection (Review). *The Paton Welding Journal*. 2018. Is. 8. 39-43. https://doi.org/10.15407/tpwj2018.08.07

Basmaci M., & Saklakoglu I.E. Classification of modern armor steels, history, material properties and heat treatment procedures. *Machines. Technologies. Materials*. 2025. Vol. 19, is. 3, 105-109.

Bembenek M., Prysyazhnyuk P., Shihab T., Machnik R., Ivanov O., & Ropyak L. Microstructure and wear characterization of the Fe-Mo-B-C-based hardfacing alloys deposited by flux-cored arc welding. *Materials*. 2022. vol. 15, no. 14. https://doi.org/10.3390/ma15145074

Cabrilo A., & Janjic N. Welding of High-Hardness Armor Steel. *Advanced Engineering Letters*. 2022. Vol. 1(4), 148–155. https://doi.org/10.46793/adeletters.2022.1.4.5

Chen H., Li H., Zong S., Weng J. & Xiong X. Study on the Optimal Thickness Ratio and Backing Plate Stacking Sequence of Ceramic Composite Armor Components. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2025. https://doi.org/10.1007/s11665-025-11252-z

Colegrove P., Ikeagu C., Thistlethwaite A., Williams S., Nagy T., Suder W., Steuwer A., & Pirling T. Welding process impact on residual stress and distortion. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2009. Vol. 14(8), 717-725. https://doi.org/10.1179/136217109X406938

DSTU 3975. Armored protection of specialized vehicles. General technical requirements. [Valid from 2001-01-01]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2000. 13 p. (In Ukrainian).

DSTU 8782. Personal protective equipment. Body armor. Classification. General technical conditions. [Valid from 01.07.2019]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2018. 17 p. (In Ukrainian).

Gaivoronskyi O.A., Poznyakov V.D., Zavdoveyev A.V., Klapatyuk A.V., & Denysenko A.M. Prevention of cold cracking in armour steel welding. *The Paton Welding Journal*. 2023. Is. 5. 3-10. https://doi.org/10.37434/tpwj2023.05.01

Garašić I., Jurica M., Iljkić D., & Barišić A. Determination of ballistic properties on ARMOX 500T steel welded joint. *Engineering Review*. 2019. Vol. 39(2). 186-196. https://doi.org/10.30765/er.39.2.8

Horbachova Y. Formulation of requirements for the protection of armored combat vehicles from damage by kinetic ammunition. *Social Development and Security*. 2021. Vol. 11(2), 115-124. https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.2.12 (In Ukrainian).

Jorge J.C.F, Souza L.F.G, & Rebello J.M.A. The effect of chromium on the microstructure/toughness relationship of C–Mn weld metal deposits. *Materials Characterization*. 2001. Vol. 47, is. 3–4, 195-205. https://doi.org/10.1016/S1044-5803(01)00168-1

Keleş-Dayauç A., Baran-Acımert Ö. Investigation of the Structural, Mechanical, Tribological and Electrochemical Properties of B4C Films Deposited by Different Techniques. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2025. 34. 13751–13760. https://doi.org/10.1007/s11665-025-11153-1

Kovalchuk D.V., Savvakin D.G., Janiszewski J., Fikus B., Piasta K., Nevmerzhytskiy V., Tkachuk V., Stasiuk O.O., Oryshych D.V., Skoryk M.A., Sienkiewicz J. & Markovsky P.E. Terminal ballistic effects for 3D-printed multi-layered material consisting of Ti-6Al-4V alloy, metal matrix composite and porous titanium. *Scientific reports*. 2025. 15, 12767. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97087-z

Krobot Z., Stodola P., & Stodola J. Methodology for Evaluating the Combat Capability of Armored Vehicle. *Proc. of the 27th Int. Sci. Conf. on Transport Means*. 4-6 October, 2023. Palanga, Lithuania. 617 – 622.

Kumar S.N., Balasubramanian V., Malarvizhi S., Rahman A.H., & Balaguru V. Effect of welding consumables on shielded metal arc welded ultra high hard armour steel joints. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 2022. vol. 31, no. 1. 8-21. https://doi.org/10.1515/jmbm-2022-0002

Kuskov Y.M., Zadorozhna K.R., Makarenko V.D., Tishchenko V.D., Gordan G.N., Bogaychuk I.L. & Kaida T.V. Pulse-Arc Surfacing of Corrosion-Resistant Austenitic-Martensitic Steel. *Materials Science*. 2022. Vol. 58, 28–34. https://doi.org/10.1007/s11003-022-00626-6

Lozynskyi V., Trembach B., Hossain M., Kabir M.H., Silchenko Yu., Krbata M., Sadovyi K., Kolomiitse O., & Ropyak L. Prediction of phase composition and mechanical properties Fe–Cr–C–B–Ti–Cu hardfacing alloys: Modeling and experimental validations. *Heliyon*. 2024. vol. 10, no. 3. e25199. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25199

Markovsky P.E., Savvakin D.G., Stasiuk O.O., Sedov S.H., Golub V.A., Kovalchuk D.V., & Prikhodko S.V. Ballistic Resistance of Layered Titanium Armour Made Using Powder Metallurgy and Additive 3D Printing. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol*. 2021. Vol. 43, is. 12, 1573–1588. https://doi.org/10.15407/mfint.43.12.1573

MIL-DTL-12560K. *High Strength Armor Steel specified by the U.S. Department of Defense. Rolled Homogeneous Alloy Steel (RHA)*. 2013. 52 p.

MIL-DTL-32332A. *Armor plate, steel, wrought, ultra-high-hardness*. 2018. 27 p.

MIL-DTL-46100E. *Armor plate, steel, wrought, high-hardness*. 2008. 29 p.

Nicolescu C., Munteanu C., Lupescu Ș., Țigănescu V., Miculescu M., Istrate B., & Antoniac I. Characterization of the alumina layer deposited by plasma spray deposition on the hardox steel for ballistic protection. *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science*. 2025. Vol. 87, Is. 1. 215-226.

Özdemir T. Mechanical & microstructural analysis of armor steel welded joints. *International Journal of Engineering Research and Development*. 2020. Vol. 12, is. 1. 166-175. https://doi.org/10.29137/umagd.488104

Pavlov Y. Algorithms of actions of repair units on the restoration of armored tank vehicles in the conditions of combat operations. *The collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine*. 2024. Vol. 2, No. 44. 115-121. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/2/44/319518 (In Ukrainian).

Prysyazhnyuk P., Biały W., Bembenek M., Panchuk V., Medvid I., Duriagina Z., Romanyshyn T. & Vytvytskyi V. Improving Ballistic Resistance of Armor Steel by FCAW with Hardfacing Alloys of Fe–Mo–Mn–B–C

System. *Management Systems in Production Engineering*. 2025. Vol. 33(3). 380-387. https://doi.org/10.2478/mspe-2025-0036

Rikunov O., Smahin O., & Bisyk V. Improving the methods of assessing the capabilities of the repair and restoration bodies of the military units of the national guard of Ukraine to repair damaged samples of weapons and military equipment in the performance of tasks meaning. *The collection of scientific works of the National Academy of the National Guard of Ukraine*. 2024. Vol. 1 No. 43. 101-105. https://doi.org/10.33405/2409-7470/2024/1/43/307908 (In Ukrainian).

Souza E.R.S., Weber R.P., Monteiro S.N., & Oliveira S. Microstructure effect of heat input on ballistic performance of welded high strength armor steel. *Materials*. 2021. vol. 14, is. 19, 5789. https://doi.org/10.3390/ma14195789

Slyvinsky O.A., Bisyk S.P., Chepkov I.B., Vaskovskiy M.I., & Chernozubenko O.V. Problems of manufacturing welded armored hulls of domestic armored combat vehicles. *Weapons and military equipment*. 2017. 4. 29-38. https://doi.org/10.34169/2414-0651.2017.4(16).29-38 (In Ukrainian).

Tandon D., Li H., Pan Z., Yu D., & Pang W. A Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works. Metals. 2023. Vol. 13(9). 1512. https://doi.org/10.3390/met13091512

Tsirogiannis E. C., Daskalakis E., Hassan M. H., Omar A.M., & Bartolo P. Ballistic design and testing of a composite armour reinforced by CNTs suitable for armoured vehicles. *Defence Technology*. 2023. Vol. 32. 173-195. https://doi.org/10.1016/j.dt.2023.04.013

Voron M., Skorobagatko Y., Tymoshenko A., Semenko A., Schwab S., & Smirnov O. The potential of lightweight steels application for the production of armor elements for military technique. *Social Development and Security*. 2024. 14(5). 106-112. https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.10 (In Ukrainian).

Wang Y., Liu Q., Zhang B., Wang H., Hazell P.J., Han Z., Li J., Li B., Li L., Liu F., Ye F. Ballistic performance of functionally graded B4C/Al composites without abrupt interfaces: Experiments and simulations. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023. vol. 25. 1011-1029. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.06.021

Yemanov V. Problem issues of systems of operation and restoration of armored vehicles of the national guard of Ukraine. *Honor and Law*. Vol. 2 No. 81 (2022). 63-71. https://doi.org/10.33405/2078-7480/2022/2/81/263780 (In Ukrainian).

Zhyrnyi V., Zadorozhnii I., Naiko A., & Tretyak N. Armoured military equipment innovations. *Military Science*. 2024. Vol. 2(3), 120-132. https://doi.org/10.62524/msj.2024.2.3.10 (In Ukrainian).

Zukas J.A. & Scheffler D. R. Impact effects in multilayered plates. International Journal of Solids and Structures. Vol. 38, Is. 19. 3321-33282001. https://doi.org/10.1016/S0020-7683(00)00260-2

Дослідження методів захищеної передачі даних у локальній мережі

Research of Methods of Secured Data Transmission in a Local Network

Михайло Соколовський [A]
студент кафедри захисту інформації, e-mail: mykhailo.sokolovskyi.mkbst.2024@lpnu.ua, ORCID ID: 0009-0007-3726-2273

Максим Турега [A]
Corresponding author: студент кафедри захисту інформації, e-mail: maksym.tureha.mkbst.2024@lpnu.ua, ORCID ID: 0009-0006-5121-166X

Марія Швед [A]
кандидат технічних наук, старший викладач кафедри захисту інформації, e-mail: mariia.y.shved@lpnu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0428-7777

Mykhailo Sokolovskyi [A]
Student of the Department of Information Security, e-mail: mykhailo.sokolovskyi.mkbst.2024@lpnu.ua, ORCID ID: 0009-0007-3726-2273

Maksym Tureha [A]
Corresponding author: Student of the Department of Information Security, e-mail: maksym.tureha.mkbst.2024@lpnu.ua, ORCID ID: 0009-0006-5121-166X

Mariia Shved [A]
Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Information Security, e-mail: mariia.y.shved@lpnu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0428-7777

[A] Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

[A] Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Received: October 20, 2025 | Revised: October 30, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.17

Мета роботи. Дослідження методів і принципів забезпечення захищеної передачі даних у локальній мережі та розроблення програмної утиліти для встановлення захищеного каналу зв'язку.

Метод дослідження. Ґрунтується на використанні криптографічного алгоритму AES та протоколу обміну ключами Діффі-Хеллмана, а також на застосуванні перетворень байтових послідовностей під час генерації спільного секретного ключа.

Результати дослідження. Аналіз принципів функціонування наскрізного шифрування (End-to-End Encryption, E2EE), розгляді криптографічних алгоритмів, що застосовуються в межах E2EE, та дослідженні загроз типу «людина посередині» (Man-in-the-Middle, MITM) для таких систем. У межах практичної частини реалізовано утиліту, що забезпечує захищену передачу даних у локальній мережі.

Теоретична цінність дослідження. Поглиблення розуміння механізмів криптографічного захисту при організації безпечного обміну даними в локальних мережах.

Практична цінність дослідження. Створення прикладної програмної реалізації, яка може бути використана для формування захищеного каналу зв'язку в умовах загальнодоступних або потенційно вразливих локальних мереж.

Цінність дослідження. Можливість використання запропонованого підходу під час проектування або модернізації систем захищеного обміну даними в мережевій інфраструктурі різного масштабу.

Тип статті. Прикладна.

Purpose. Study of methods and principles of ensuring secure data transmission in a local network and development of a software utility for establishing a secure communication channel.

Method. Based on the use of the AES cryptographic algorithm and the Diffie-Hellman key exchange protocol, as well as the application of byte sequence transformations during the generation of a shared secret key.

Findings. Consist in the analysis of the principles of functioning of end-to-end encryption (E2EE), consideration of cryptographic algorithms used within E2EE, and the study of Man-in-the-Middle (MITM) threats for such systems. Within the practical part, a utility was implemented that ensures secure data transmission in a local network.

Theoretical implications. Consists in deepening the understanding of cryptographic protection mechanisms when organizing secure data exchange in local networks.

Practical implications. Consists in creating an applied software implementation that can be used to form a secure communication channel in the conditions of publicly accessible or potentially vulnerable local networks.

The value. Consists in the possibility of using the proposed approach when designing or upgrading secure data exchange systems in network infrastructure of various scales.

Paper type. Applied.

Ключові слова: шифрування, захищена передача даних, криптографічні протоколи, захищений канал зв'язку, E2EE.

Key words: encryption, secure data transmission, cryptographic protocols, secure communication channel, E2EE.

Вступ

Захищена передача даних є важливою складовою кібербезпеки. В історії людства спостерігається постійні спроби максимально приховати інформацію, що передається: від шифру Цезаря до електромеханічної шифрувальної машини "Enigma", яка широко застосовувалась під час Другої світової війни [1]. Усі ці методи об'єднувала одна загальна ціль — безпечно та конфіденційно передати таємну інформацію відкритими каналами зв'язку. В

основі своїй для кожного з них потрібна була певна інформація — ключ, за допомогою якого можливе шифрування та дешифрування повідомлення. Зазвичай основною проблемою була безпечна передача цього ключа, що і визначає, чи дійсно канал зв'язку є захищеним. Тому саме на ключ шифрування часто спрямовувались зусилля тих, хто перехоплював інформацію.

З появою електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) класичні методи шифрування відходять у минуле, хоча їхні цілі й принципи залишаються актуальними. ЕОМ дозволили обробляти інформацію в масштабах, які раніше були недоступні. З появою комп'ютерів стало можливим шифрувати будь-які дані, представлені у двійковому форматі, на відміну від класичних шифрів, призначених переважно для текстових повідомлень. Це значно знизило ефективність лінгвістичних методів криптоаналізу. Багато сучасних шифрів працюють з послідовностями бітів (часто — у вигляді блоків), тоді як класичні або механічні системи переважно оперували літерами. Проте комп'ютери також отримали застосування у криптоаналізі, що в певній мірі компенсує зростання складності самих алгоритмів. У відповідь на стрімкий розвиток обчислювальних потужностей алгоритми шифрування стали складнішими й обчислювально витратнішими, проте це дозволило захищати значно більші обсяги інформації, ніж будь-коли до того [2]. Зі зростанням ролі ЕОМ також розвивалися комп'ютерні мережі для їхньої взаємодії, хоча на початкових етапах дані передавалися у відкритому форматі, оскільки контроль над доступом до мереж був достатньо жорстким, і більша увага приділялась фізичному захисту інформації на кінцевих точках. Але із поширенням портативних комп'ютерів та глобальної мережі Internet з'явилася необхідність застосовувати шифрування для передачі даних у загальнодоступних мережах, щоб гарантувати конфіденційність інформації. У першу чергу потреба у цьому виникла в оборонній сфері, оскільки мережами передавалась значна кількість секретної інформації.

У сучасному світі комп'ютерні мережі охоплюють практично всі сфери людської діяльності. Через них передаються значні обсяги важливої, конфіденційної або критично важливої для безпеки інформації — від даних транзакцій до медичних записів, від конфіденційних документів до інформації з грифом, що має значення для національної безпеки. Цей факт створює постійний стимул для розвитку методів шифрування, обміну ключами та їхнього впровадження в різних типах комп'ютерних мереж і альтернативних каналах зв'язку. Захист таких мереж буде залишатись актуальним незалежно від епохи. Проте, якщо ви читали книги з комп'ютерної безпеки, то, мабуть, зустрічалися з поширеним поглядом на криптографію. "Криптографія, – кажуть автори, – найміцніша ланка в ланцюжку". Такий погляд на криптографію ідеалізований, та насправді є міфом. Криптографія міцна в теорії, але на практиці так само схильна до помилок, як і будь-який інший аспект системи безпеки (зокрема через людський фактор, неправильну конфігурацію чи реалізацію) [3].

Теоретичні основи дослідження

End-to-end encryption (E2EE), або наскрізне шифрування, – це технологія захисту даних, що виникла в процесі розвитку криптографії та методів безпечної передачі інформації. Суть E2EE полягає в тому, що доступ до ключів шифрування та повідомлень мають лише користувачі, які беруть участь у спілкуванні. Використання цього методу шифрування унеможливлює доступ до ключів або змісту повідомлень третім особам, включно з провайдерами сервісів, що забезпечує високий рівень конфіденційності [4]. На сьогодні наскрізне шифрування є одним із найбільш надійних і поширених способів захисту інформації в цифрових комунікаціях, зокрема в месенджерах, електронній пошті та хмарних сервісах.

Загальний принцип роботи наскрізного шифрування полягає в тому, що до вихідних даних, будь-то повідомлення чи файли, мають доступ лише відправник і одержувач. Інформація стає конфіденційною та недоступною для провайдерів, серверів і сторонніх осіб, через які здійснюється передача даних у загальнодоступній мережі. Для реалізації E2EE на

кінцевих пристроях необхідно попередньо обмінятися ключами шифрування. Після цього дані шифруються на пристрої відправника, передаються мережею в зашифрованому вигляді та розшифровуються лише на пристрої одержувача, відтворюючи їх у вихідному форматі. Таким чином, протягом усього маршруту передавання дані залишаються зашифрованими й недоступними для сторонніх осіб, забезпечуючи високий рівень конфіденційності та захисту.

Ідея та розвиток наскрізного шифрування почали формуватися зі створенням асинхронного обміну повідомленнями через SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) [5], оскільки на той час не існувало ефективних методів, які б забезпечували конфіденційність електронної пошти. У 1991 році було розроблено пакет програмного забезпечення PGP (Pretty Good Privacy) [6], що реалізував наскрізне шифрування та електронний підпис для електронних листів. PGP швидко здобув популярність серед користувачів, але його впровадження як стандарту E2EE для електронної пошти відбулося лише в 1997 році під назвою OpenPGP [7]. На сьогодні OpenPGP застосовується у різних поштових клієнтах і мобільних додатках, таких як Enigmail для Thunderbird, iPGMail для iOS, а також у системі управління ключами OpenKeychain для Android. Технологія E2EE стала логічним продовженням і розвитком концепції, закладеної у PGP, розширюючи можливості захисту даних у цифрових комунікаціях.

В основі сучасних месенджерів широко використовується протокол OTR (Off-the-Record Messaging), який був розроблений у 2004 році. OTR є розширенням XMPP – відкритого мережевого протоколу для миттєвого обміну повідомленнями та інформацією про користувачів у мережі. Цей криптографічний протокол забезпечує E2EE у програмах для швидкого обміну повідомленнями. Протокол OTR поєднує AES-шифрування, протокол Діффі-Геллмана та хеш-функцію SHA-1, що гарантує конфіденційність та цілісність переданих даних. Однією з головних переваг протоколу є неможливість ідентифікації користувачів за ключами та доступу до вихідних повідомлень [8, 9]. OTR застосовується у сучасних месенджерах, таких як Telegram, Viber та WhatsApp. Ще одним сучасним протоколом є Signal, розроблений компанією Open Whisper Systems для забезпечення наскрізного шифрування голосових викликів, відеодзвінків, миттєвих повідомлень та інших даних. Протокол використовує Double Ratchet Algorithm і розширений протокол потрійного обміну ключами Діффі-Хеллмана (3-DH), а також криптографічні примітиви Curve25519, AES-256 і HMAC-SHA256. Протокол застосовується в однойменному месенджері Signal [10] і забезпечує високий рівень безпеки.

Огляд алгоритмів шифрування, що застосовуються у E2EE. Основними алгоритмами шифрування у E2EE, є симетричний алгоритм AES (Advanced Encryption Standard) та асиметричний алгоритм RSA. AES – це симетричний блочний алгоритм шифрування, який переміг у конкурсі та був прийнятий як стандарт шифрування урядом США у 2002 році. Станом на 2009 рік AES є одним із найпоширеніших алгоритмів симетричного шифрування [11].

AES використовує блочне шифрування, де вхідні дані розбиваються на блоки фіксованого розміру (128 біт у стандартній версії AES). Кожен блок обробляється окремо з використанням ключа шифрування, а результат стає вхідним для наступного блоку. Алгоритм оперує станом, який представляє собою масив 4×4 байт. Версії AES із більшими блоками включають додаткові колонки в масиві стану. Процес шифрування відбувається у раундах, кожен з яких є основною одиницею обробки даних. У кожному раунді виконуються чотири послідовні операції:

1. SubBytes – заміна кожного байта вхідного блоку на відповідний байт із таблиці замін, яка формується на основі ключа шифрування.
2. ShiftRows – перестановка байтів у кожному рядку вхідного блоку на фіксований зсув, залежно від номера рядка.
3. MixColumns – лінійне перетворення кожного стовпця вхідного блоку за допомогою фіксованої матриці, що забезпечує дифузію даних.

4. AddRoundKey – комбінування вхідного блоку з частинами ключа шифрування шляхом операції додавання.

У останньому раунді операція MixColumns не виконується, а дані стають остаточно зашифрованими. Така структура забезпечує стійкість до сучасних атак криптоаналізу.

Основні переваги AES перед іншими алгоритмами шифрування включають високу ефективність, безпеку та надійність. Алгоритм підтримує різні довжини ключів – 128, 192 та 256 біт, що забезпечує стійкість до атак методом перебору ключів (brute force). Довжина ключа безпосередньо впливає на кількість раундів шифрування: 128 біт – 10 раундів, 192 біт – 12 раундів, 256 біт – 14 раундів, що дозволяє адаптувати рівень безпеки залежно від вимог до захисту даних [3, 12]. Так як, AES є офіційним стандартом національної безпеки США (National Institute of Standards and Technology, NIST), це забезпечує його застосування в урядових установах та організаціях з підвищеними вимогами до безпеки. Завдяки комбінації високої продуктивності, гнучкості у виборі ключів та перевіреної надійності AES є найбільш поширеним алгоритмом симетричного шифрування у світі, включно з використанням у системах E2EE.

RSA (від прізвищ його розробників Rivest, Shamir та Adleman) – це алгоритм шифрування з відкритим ключем, що базується на факторизації великих цілих чисел. RSA став першим практично застосовним асиметричним алгоритмом, придатним як для шифрування, так і для створення електронного підпису [13]. Принцип роботи алгоритму RSA можна описати наступними кроками: (1) згенерувати два простих числа p та q; (2) Обчислити їхній добуток $n = p \cdot q$; (3) Обчислити функцію Ейлера $\varphi(n) = (p-1)(q-1)$; (4) Вибрати секретну експоненту d, яка задовольняє умову $d \cdot e \equiv 1 \pmod{\varphi(n)}$, де e – відкрита експонента; (5) Опублікувати відкритий ключ (e, n) та зберегти приватний ключ (d, n) у таємниці; (6) Вибрати дані для шифрування та обчислити шифротекст за допомогою відкритого ключа: $C = M^e \bmod n$, де M – повідомлення; (7) Розшифрувати повідомлення за допомогою приватного ключа: $M = C^d \bmod n$.

Варто зауважити, що RSA у порівнянні з AES потребує значно більших обчислювальних ресурсів та часу для шифрування, тому для швидкого обміну повідомленнями доцільніше застосовувати симетричні алгоритми (наприклад, AES), а для передавання важливих повідомлень або конфіденційних даних – асиметричні алгоритми [13].

Методи та алгоритми обміну ключами шифрування у мережі. Наразі можна виокремити два основні методи обміну ключами шифрування: за допомогою алгоритму RSA та протоколу Діффі-Хеллмана. Найпростішим методом є обмін публічними ключами в алгоритмі RSA. Під час такого обміну відправнику надсилається публічний ключ тієї сторони, яка буде шифрувати дані. Передача ключа може здійснюватися різними способами: електронною поштою, через месенджер або навіть на електронному носії при особистій передачі. Для цього необхідно мати певну попередню інформацію про того, з ким планується обмін даними. Модель процесу обміну ключами в RSA наведено на рис. 1.

З точки зору простоти, цей метод є найбільш доступним, оскільки не вимагає складних алгоритмічних обчислень. Проте існують потенційні вразливості, що можуть поставити під загрозу безпечність передачі даних. Такі загрози включають можливість підробки або перехоплення публічного ключа зловмисником, що може призвести до компрометації каналу зв’язку. Детальніше ці загрози будуть розглянуті далі [14].

Протокол Діффі-Хеллмана – це метод узгодження ключів шифрування у мережі, учасники якої не мають попередньої інформації один про одного. На відміну від RSA, де сторони обміну повинні знати певні відомості про ключі та учасників, протокол Діффі-Хеллмана дозволяє здійснити узгодження ключів повністю анонімно. Для отримання спільного ключа між кінцевими точками протокол вимагає виконання певних алгоритмічних обчислень, що забезпечує безпечну генерацію секретного ключа навіть у відкритій мережі. Зазвичай цей метод використовується для обміну ключами симетричних алгоритмів

шифрування, таких як AES, що дозволяє згодом ефективно шифрувати дані. Протокол Діффі-Хеллмана забезпечує високий рівень конфіденційності, оскільки ключ ніколи не передається мережею у відкритому вигляді. Проте його ефективність залежить від розміру чисел, що використовуються, та обчислювальних потужностей кінцевих пристроїв [15].

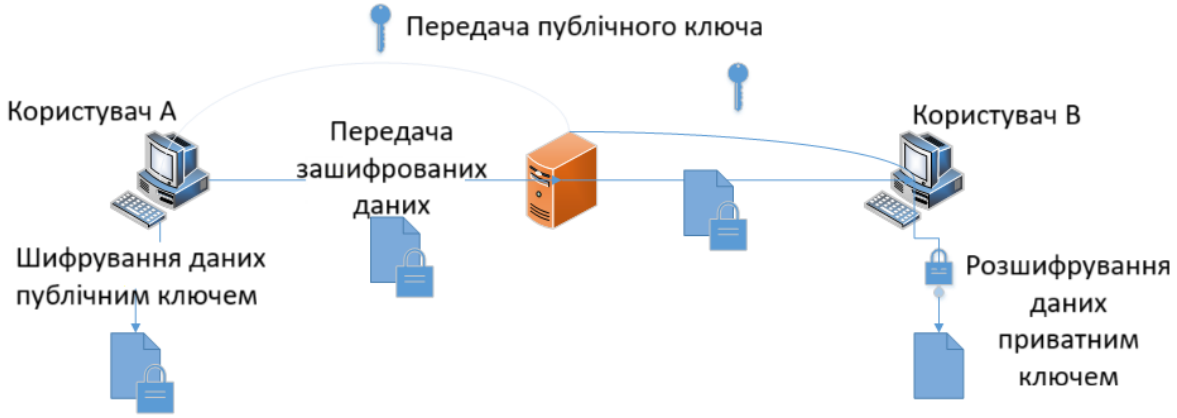


Рисунок 1 – Візуальне представлення безпечної передачі даних за допомогою RSA

Атака MITM в E2EE. Атака “людина посередині” (MITM) — це вид мережевої атаки, при якій зловмисник перехоплює та/або перенаправляє трафік між двома сторонами, що спілкуються, при цьому для жертв ця проміжна присутність залишається непоміченою. Такі атаки дозволяють нападнику перехоплювати, підмінювати або підслуховувати повідомлення, що серйозно підриває конфіденційність і цілісність обміну даними.

У контексті алгоритмів шифрування та обміну ключами MITM становить особливу загрозу: під час передачі або обміну публічними ключами зловмисник може перехопити повідомлення і замінити публічний ключ однієї зі сторін на свій власний (key substitution). У цьому випадку відправник помилково шифрує дані ключем нападника, який, у свою чергу, може їх розшифрувати, прочитати й за необхідності повторно зашифрувати для одержувача — таким чином зловмисник отримує доступ до всього шифрованого трафіку (рис. 2.). Цей механізм використовують для компрометації сесій, викрадення облікових даних або доступу до банківських кабінетів та іншої конфіденційної інформації [16].

Технічно MITM-атаку можна реалізувати різними способами. Для локальних мереж типовою технікою є ARP-спуфінг (ARP poisoning / ARP spoofing), при якому атакуючий підмінює ARP-записи в кешах хостів, змушуючи їх відправляти трафік через вузол нападника. Інші методи включають підробку DNS-відповідей, створення фіктивних (rogue) Wi-Fi-точок доступу, SSL/TLS-стріппінг або примусове встановлення “довірених” кореневих сертифікатів на клієнтських пристроях [17, 18]. Як наслідок, захист від MITM вимагає як криптографічних заходів (наприклад, автентифікація ключів через довірені PKI, перевірені fingerprint-значення, використання протоколів з автентифікацією на етапі обміну ключами). MITM атаки можна використати для злому ключів шифрування, наприклад при визначені прогалин в генераторах псевдовипадкових чисел, що використовуються при створенні ключів RSA. Виявлені вади роблять практично досяжною факторизацію використаних при генерації ключів простих чисел. Зловмисник має можливість відновити секретний ключ за відкритим ключем жертви [14].

Методи та засоби захисту від атак на E2EE. Електронний цифровий підпис (ЕЦП) є першочерговим засобом для захисту та безпечної передачі ключів у мережі. Використання ЕЦП дозволяє переконатися, що публічний ключ дійсно надіслано саме тією стороною, з якою встановлено зв’язок, та запобігти підміні або підробці ключів під час обміну [19].

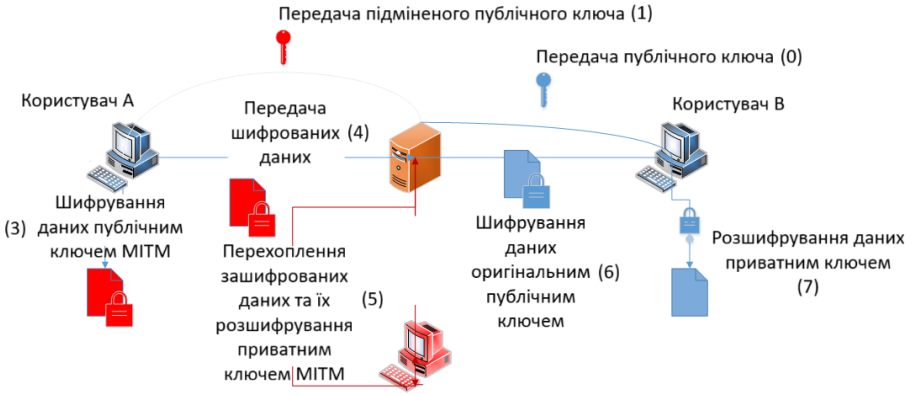


Рисунок 2 – Схема проведення MITM атаки на підміну ключів шифрування

Щоб уникнути вразливостей, пов’язаних із ненадійною роботою генераторів псевдовипадкових чисел, рекомендовано використовувати апаратні можливості процесора для генерування істинно випадкових чисел (апаратні генератори випадкових чисел). Це підвищує стійкість ключів до атак методом підбору або відтворення. Однак не всі платформи й процесори підтримують такі можливості, тому в рамках цього дослідження передбачено використання генератора псевдовипадкових чисел як уніфікованого рішення для сумісності з різними платформами.

Постановка проблеми

У сучасних локальних мережах обмін даними відбувається з високою інтенсивністю, що, у свою чергу, підвищує ризик несанкціонованого доступу, перехоплення трафіку та здійснення атак на передавані дані. Однією з найбільш поширених та небезпечних загроз є атака типу “людина посередині” (MITM), за якої зловмисник може перехопити та модифікувати інформацію під час її передачі. Попри наявність криптографічних механізмів захисту, існуючі рішення не завжди забезпечують належну безпеку в межах локальних мереж, та у випадках неправильного обміну ключами або відсутності перевірки автентичності сторін.

Таким чином, виникає потреба у створенні практичного інструменту, який би дозволяв підвищити рівень захищеності обміну даними в локальному середовищі. Основна проблема полягає в поєднанні ефективних криптографічних алгоритмів із зручними та надійними механізмами їх реалізації, зокрема із захистом від підміни ключів під час обміну. Це потребує комплексного підходу, що включає не лише шифрування даних, але й перевірку їх цілісності та автентичності, а також безпечне узгодження ключів між сторонами каналу зв’язку.

Методологія дослідження

Для генерації та обміну ключами шифрування в межах розроблюваної утиліти було обрано протокол Діффі–Хеллмана. Його використання дає змогу здійснювати узгодження спільного секретного ключа між двома або більше сторонами без необхідності попереднього обміну конфіденційною інформацією. Такий підхід забезпечує стійкість до перехоплення ключів, оскільки навіть у разі повного контролю трафіку зловмисник не зможе відтворити секретний ключ без знання приватних параметрів сторін. Для безпосереднього шифрування даних було обрано симетричний алгоритм AES, який характеризується високою швидкодією та криптографічною стійкістю. Завдяки використанню спільного секретного ключа, отриманого в результаті виконання протоколу Діффі–Хеллмана, AES може ефективно забезпечувати конфіденційність переданих повідомлень у режимі реального часу.

Загалом поєднання цих двох алгоритмів дозволяє реалізувати сучасну гібридну криптосистему, де асиметричний механізм використовується виключно для безпечного

узгодження ключів, а симетричний — для подальшого захищеного обміну даними. Це забезпечує як високий рівень захищеності, так і оптимальну продуктивність системи.

Результати

Для створення захищеного каналу зв’язку в системі використовується комбінований підхід, що базується на поєднанні алгоритму Діффі–Хеллмана для узгодження спільного секретного ключа та алгоритму AES для подальшого шифрування переданих даних. Процес встановлення захищеного з’єднання здійснюється покроково. Спочатку ініціатор з’єднання надсилає запит на встановлення захищеного каналу, передаючи службовий пакет із параметрами довжини ключа та своїми відкритими даними, необхідними для виконання протоколу обміну. Отримувач повинен підтвердити цей запит, після чого сторони переходять до генерування спільного секретного ключа шифрування за допомогою алгоритму Діффі–Хеллмана. Після успішного завершення узгодження ключів секретний ключ використовується як основа для подальшого симетричного шифрування даних за стандартом AES. Таким чином забезпечується висока стійкість з’єднання до підміни ключів та перехоплення трафіку, оскільки фактичні ключі шифрування ніколи не передаються мережею у відкритому вигляді. Схематичне представлення процесу ініціалізації захищеного з’єднання наведено на рис. 3.

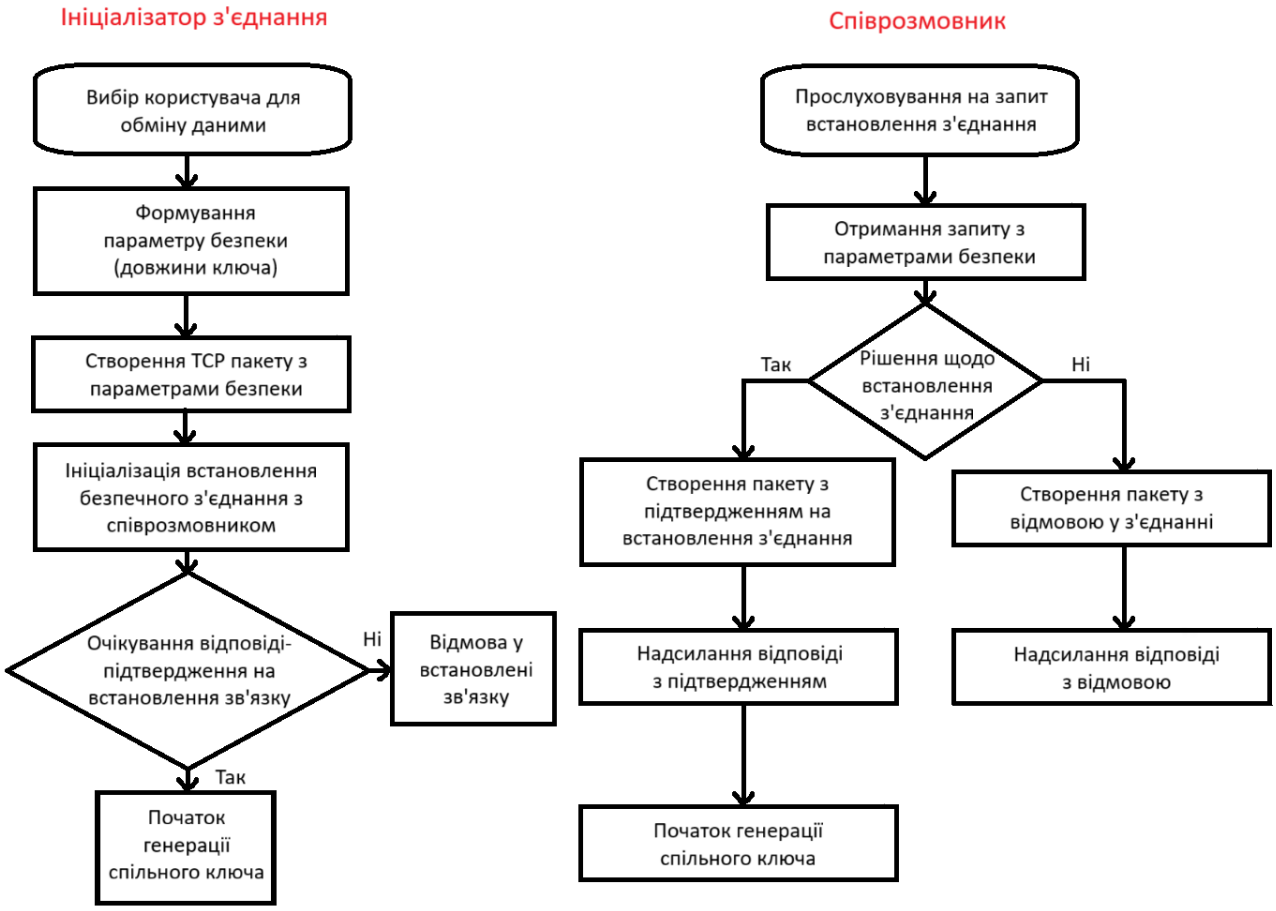


Рисунок 3 – Алгоритм ініціалізації встановлення захищеного з’єднання

Після завершення етапу ініціалізації розпочинається процес генерування спільного секретного ключа шифрування. Цей процес виконується окремою внутрішньою функцією системи та є повністю прозорим для користувача, тобто не потребує його участі й не відображається у вигляді жодних додаткових дій. Як зазначалося вище, узгодження ключів здійснюється за допомогою алгоритму Діффі–Хеллмана (DH). Для передавання службових

даних у цьому процесі використовується транспортний протокол TCP, що забезпечує гарантовану доставку пакетів та можливість підтвердження отримання (через механізм SYN/ACK). У відповіді, що надсилається ініціатору з'єднання, міститься другий відкритий параметр (Q), необхідний для обчислення спільного секретного ключа. На основі обміну цими параметрами обидві сторони обчислюють однаковий ключ шифрування, який у подальшому використовується алгоритмом AES для захисту трафіку. Схематичне зображення процесу узгодження та генерації ключа шифрування наведено на рис. 4.

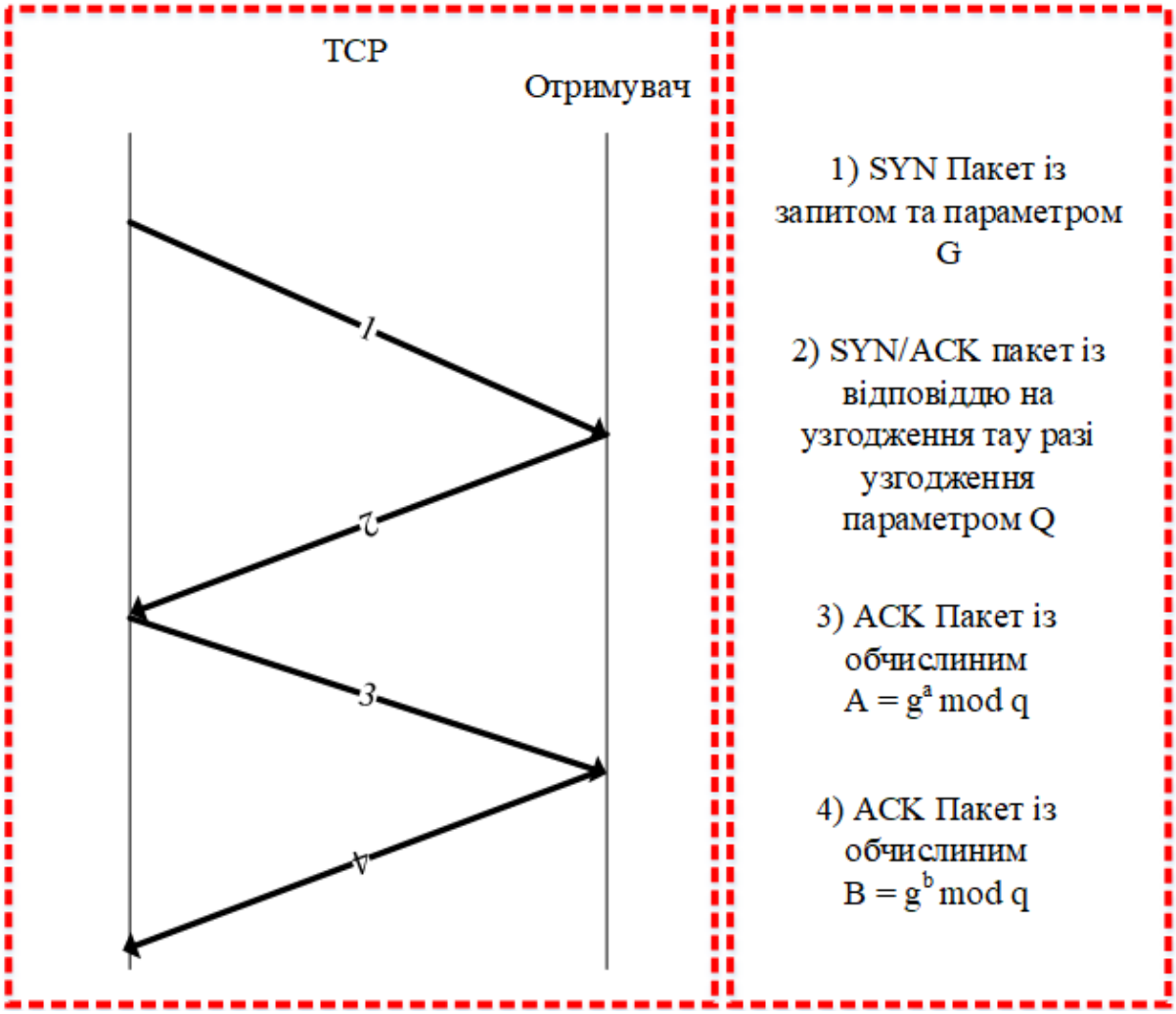


Рисунок 4 – Процес узгодження та генерації ключа в мережі за допомогою алгоритму DH

Після завершення процесу узгодження спільного секретного ключа встановлюється захищене з'єднання між сторонами. Отриманий ключ використовується для шифрування та дешифрування всіх даних, що передаються в межах цієї сесії. Водночас важливим є не лише факт його отримання, а й обмеження строку його дії, оскільки довготривале використання одного й того ж ключа знижує загальний рівень криптографічної стійкості. Для забезпечення додаткової безпеки в системі передбачене періодичне оновлення ключа шифрування: він автоматично регенерується кожні 30 хвилин або при кожному повторному встановленні з'єднання (тобто під час ініціації нової захищеної сесії). Такий підхід мінімізує ризик компрометації ключа та відповідає сучасним практикам криптографічного захисту інформації. Схематичний опис функціонування та підтримання захищеної сесії наведено на рис. 5.

Рисунок 5 – Процес підтримки або завершення захищеного обміну даними

Інструменти для розробки утиліти. Для створення утиліти було обрано мову програмування Python, оскільки вона є високорівневою, кросплатформеною та широко застосовується у сфері мережевої безпеки та криптографії. Python забезпечує швидку розробку програмних рішень, підтримує великий набір бібліотек і дозволяє легко комбінувати різні програмні модулі та функції. У межах проєкту використовувалася версія Python 3.x.x. Для реалізації основного функціоналу утиліти були задіяні такі бібліотеки:

- socket – використовується для створення та керування мережевими з’єднаннями;
- multiprocessing та threading – призначені для створення підпроцесів і потоків, що дозволяє виконувати паралельні операції та підвищувати продуктивність системи;
- pycryptodome – забезпечує реалізацію криптографічних алгоритмів, зокрема обмін ключами, шифрування та генерацію псевдовипадкових чисел.

Для розробки утиліти було використано середовище virtualenv, яке дозволяє створювати ізольоване середовище Python та уникати конфліктів між різними версіями бібліотек і пакетів. Це є важливим для стабільності розробки та повторюваності результатів. Розробка та тестування здійснювалися в операційних системах Kali Linux та Ubuntu, які є Unix-подібними дистрибутивами на базі Debian. Застосовуються в інфраструктурі кібербезпеки та підходять для роботи з мережевими інструментами та криптографічними додатками.

Огляд основного функціоналу утиліти. Процедура авторизації або реєстрації виконується щоразу при запуску програми та забезпечує ідентифікацію користувача в системі. Це дозволяє кожному користувачу мати власний обліковий запис і зберігати налаштування та

параметри доступу. Під час запуску утиліта пропонує вибір: зареєструватися або авторизуватися. У разі реєстрації введені користувачем ім'я (username) та пароль зберігаються у JSON-файлі користувачів. Паролі не зберігаються у відкритому вигляді — перед записом вони хешуються за допомогою алгоритму bcrypt, спеціально розробленого для захищеного зберігання паролів і стійкого до brute-force атак. Якщо ж такий користувач уже існує, система повідомляє про це й завершує виконання. Після успішної реєстрації користувач автоматично вважається авторизованим. Авторизація відбувається у два етапи: (1) перевірка наявності облікового запису; (2) порівняння хешу введеного паролю з хешем, що збережений у файлі. Якщо дані збігаються — доступ надано, і користувач може продовжити роботу з утилітою. У протилежному випадку програма завершує свою роботу.

Після успішної авторизації користувач обирає режим роботи: очікування отримання повідомлень або їх відправлення. На екран виводиться список усіх активних користувачів у локальній мережі, з якими можна встановити захищене з'єднання. Для цього запускається підпроцес, який періодично надсилає службові пакети про поточний стан користувача, тим самим сигналізуючи іншим вузлам про його активність. Серверна частина програми постійно прослуховує визначений порт і оновлює список активних користувачів: якщо новий вузол ще не зареєстрований у списку, він автоматично додається.

Після вибору співрозмовника ініціюється процедура узгодження криптографічних параметрів, і починається процес генерування спільного ключа шифрування за алгоритмом Діффі–Хеллмана, який буде використано для встановлення захищеного каналу зв'язку.

Генерація спільного ключа шифрування. Для формування спільного ключа шифрування використовується алгоритм Діффі–Хеллмана. Його реалізацію поділено на дві частини: клієнтську та серверну. Для генерації випадкових байтів застосовується функція get_random_bytes з бібліотеки Crypto.Random. Отримані байти перетворюються у числа типу integer, на основі яких обчислюється спільний секретний ключ. Довжину ключа задає ініціатор з'єднання — вона може становити 16, 24 або 32 байти. Формування кожного байту відбувається окремо, тому для кожного з них генерується нова узгоджена основа та секретні числа. Процес генерування спільного ключа включає такі кроки:

1. Клієнт надсилає серверу випадково згенероване число A;
2. Сервер отримує A та у відповідь передає клієнту своє число B;
3. Генеруються секретні значення: C — на стороні клієнта, D — на стороні сервера;
4. Сторони виконують обчислення узгоджених значень: H = A^C mod B, G = A^D mod B;
5. Клієнт і сервер обмінюються обчисленими величинами H та G;
6. Кожна сторона обчислює спільний секретний ключ: K = G^C mod B, K = H^D mod B.

Після успішного узгодження ключ надсилається у головний виконуваний модуль програми, де він використовується для подальшого шифрування та дешифрування повідомлень. На цьому етапі активуються функції обміну повідомленнями, які використовують алгоритм AES зі згенерованим ключем. Для полегшення розуміння процесу на рис. 6 наведено його графічне (кольорове) та математичне (формульне) представлення.

Процес шифрування та відправлення повідомлень. Для надсилання повідомлень створено окремий клієнтський модуль, який постійно перебуває в режимі очікування нового введення. Перед відправленням текст повідомлення попередньо шифрується з використанням згенерованого спільного секретного ключа за алгоритмом AES. Після шифрування сформоване повідомлення передається до функції відправлення, де відкривається новий клієнтський сокет та здійснюється передача зашифрованих даних на вказану IP-адресу та порт отримувача у вигляді TCP-пакету. Після завершення передачі сокет закривається, а система повертається до очікування нового повідомлення.

Рисунок 6 – Візуально представлений процес обміну ключами

Процес отримання та дешифрування повідомлень. Для приймання вхідних даних запускається серверний модуль, який прослуховує визначений порт. Після надходження пакету з зашифрованим повідомленням він передається до функції дешифрування, де використовується попередньо узгоджений спільний ключ. У результаті отримане повідомлення відновлюється до відкритого тексту та відображається користувачу.

Таблиця 1 – Лістинг програми (серверна функція сканування)

```
def client_listen():
    data_dict ={}
    client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    client_socket.bind(('', server_port))

    while True:
        try:
            print("[*] Listening for broadcast messages...")
            print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
            data, addr = client_socket.recvfrom(1024)
            lens = (len(data_dict)+1)
            if lens != 0:
                for i in range(lens):
                    print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
            print("[*] Received message:", data.decode())
            print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
            ip, username, status = (data.decode()).split(' + ')
            if ip in data_dict:
                if data_dict[ip][0] == username :
                    if data_dict[ip][1] == status :
                        online_users_printing(data_dict)
                elif data_dict[ip] != [username, status] :
                    data_dict[ip][0] = username
                    data_dict[ip][1] = status
                    online_users_printing(data_dict)
            else:
```

```
            data_dict[ip] = [username, status]
            online_users_printing(data_dict)
        except:
            time.sleep(1)

def online_users_printing(users_dict):
    for i in users_dict :
        print(f"[*] User: {users_dict[i][0]} | Status: {users_dict[i][1]} | IP: {i}")
    print("[*] Input the last 3 digits IP of user that you want send data or 0 if you - receiver:")
```

Таблиця 2 – Лістинг програми (клієнтська функція сканування)

```
import socket

import netifaces

def get_local_ip():
    interfaces = netifaces.interfaces()
    for interface in interfaces:
        if interface != "lo":
            addresses = netifaces.ifaddresses(interface)
            if netifaces.AF_INET in addresses:
                ip_address = addresses[netifaces.AF_INET][0]["addr"]
                return ip_address

def server_broadcast(port, message):
    server_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
    server_socket.setsockopt(socket.SOL_SOCKET, socket.SO_BROADCAST, 1)
    server_socket.sendto(message.encode(), ('192.168.0.255', port))

    server_socket.close()
```

Таблиця 3 – Лістинг програми (клієнтська частина функції генерації спільного ключа)

```
import socket
import threading
import signal
import sys

from Crypto.Random import get_random_bytes

def generate_private_value():
    return int.from_bytes(get_random_bytes(1), byteorder='big')

def compute_partial_key(base, private, modulus):
    return pow(base, private, modulus)

def key_exchange(target_host, key_length):
    target_port = 9990
    client = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    client.connect((target_host, target_port))
    print(f"[*] Key generation and exchange with {target_host}")
    client.sendall(f"L:{key_length}".encode())
    key_all = ''
    for i in range(0, key_length):
        try:
            a = generate_private_value()
```

```
        print(a)
        client.sendall(f"A:{a}".encode())

        b = client.recv(1024)
        if b.startswith(b"B:"):
            b = int((b.decode("utf-8")).split(":")[1])
            print(b)
        c = generate_private_value()

        print(c)

        result = compute_partial_key(a, c, b)
        print(result)
        client.sendall(f"H:{result}".encode())

        g_2 = client.recv(1024)
        if g_2.startswith(b"G:"):
            g = int((g_2.decode("utf-8")).split(":")[1])
            key = compute_partial_key(g, c, b)
            print(f"DH: Shared secret key: {key}")
            key_all = key_all + "/" + str(key)

    except:
        return False
  return key_all
```

Таблиця 4 – Лістинг програми (серверна частина функції генерації спільного ключа)

```
def DH_server(server_ip):
  try:
    server = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    server.bind((server_ip, 9990))
    server.listen(5)
    print(f"[*] Key exchange server started on {server_ip} [*]")
    key = ""
    data = []
    connection, address = server.accept()
    key_lenght = connection.recv(4096)
    for i in range(0,int((key_lenght.decode("utf-8")).split(":")[1])):
      print(f"[*] Connection accepted from {address[0]}:{address[1]} [*]")
  #     threading.Thread(target=handle_DH, args=(connection,)).start()
      key = key + "/" + str(handle_DH(connection))
  #     connection, address = server.accept()
    data.append(address[0])
    data.append(key)
    return data
  except:
    server.close()

def handle_DH(client_socket):

  request = client_socket.recv(4096)
  print(f'[*] Received: {request.decode("utf-8")}')

  if request.startswith(b"A:"):
    a = int((request.decode("utf-8")).split(":")[1])
    b = generate_private_value()
```

```
        client_socket.send(f"B:{b}".encode())

        h = int((client_socket.recv(4096)).decode("utf-8").split(":")[1])
        d = generate_private_value()
        g = compute_partial_key(a, d, b)
        key = compute_partial_key(h, d, b)
        print(f"DH_server: Shared secret key: {key}")
        client_socket.send(f"G:{g}".encode())
        return key
    else:
        client_socket.send(f"Connection refused".encode())
```

Таблиця 5 – Лістинг програми (функція шифрування)

```
from Crypto.Cipher import AES
from Crypto.Random import get_random_bytes
from Crypto.Util.Padding import pad, unpad

def encr(message, key):
    print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
    print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
    print(f"[*] YOUR MESSAGE : {message}")
    print("[*] ENTER YOUR MESSAGE : ")
    key_ints = [int(x) for x in key.split('/')[1:]]
    dkey = bytes(key_ints)
    cipher = AES.new(dkey, AES.MODE_CFB)
    encrypted_data = cipher.encrypt(pad(message.encode(),AES.block_size))
    en_data=cipher.iv
    en_data += encrypted_data

    return en_data
```

Таблиця 6 – Лістинг програми (функція надсилання повідомлень)

```
import socket

target_port = 9983

def send_message(target_host,message):
    client = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    client.connect((target_host, target_port))
    client.sendall(message)
    client.close()
```

Таблиця 7 – Лістинг програми (функція сервера для отримування повідомлень)

```
def server_start(server_ip, key):
    server = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
    server.bind((server_ip, 9983))
    server.listen(5)

    while True:
        connection, address = server.accept()
        client_handing = threading.Thread(target=handle_client, args=(connection, key, address[0]))
        client_handing.start()

def handle_client(client_socket, key, user2):
    while True:
        try:
            request = client_socket.recv(4096)
```

```
            message = decr(request, key)
            print('\x1b[1A\x1b[2K', end='')
            print(f'[*] {user2} : {message.decode("utf-8")}')
            print("[*] ENTER YOUR MESSAGE :")
            client_socket.send(b'ACK')
        except:
            return False
```

Таблиця 8 – Лістинг програми (функція дешифрування)

```
from Crypto.Cipher import AES
from Crypto.Random import get_random_bytes
from Crypto.Util.Padding import pad, unpad

def decr(data, key):
    key_ints = [int(x) for x in key.split('/')[1:]]
    dkey = bytes(key_ints)
    iv=data[:AES.block_size]
    encrypted_data = data[AES.block_size:]
    decryption = AES.new(dkey, AES.MODE_CFB, iv=iv)
    decrypt_data=decryption.decrypt(encrypted_data)
    return decrypt_data
```

Таблиця 9 – Лістинг програми (основний файл main.py)

```
import threading
import signal
import sys
import time
import multiprocessing

from server import *
from scan import *
from Crypto.Random import get_random_bytes
from DH import key_exchange
from client import *
from encryption import encr
from auth import *

ready = "online"

def main():
    global ready
    global scan_f
    global client_listen_thread
    global Server_listen_thread
    username = auth()
    while True:
        if username == False :
            return False

        else:
            break

    signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)
    my_ipaddr = get_local_ip()
    scan_f = multiprocessing.Process(target=scan_function, args=(5, username, ready, ))
    scan_f.start()
    client_listen_thread = multiprocessing.Process(target=client_listen)
```

```
    client_listen_thread.start()
    target_user = input()
    key = ""
    if int(target_user) != 0 :
        scan_f.kill()
        client_listen_thread.kill()
        target_ip = my_ipaddr.split('.')
        target_ip[-1] = target_user
        target_ip = '.'.join(target_ip)
        key_length = input("Input key length : ")
        #DH_listen_thread = multiprocessing.Process(target=DH_server, args=(my_ipaddr,))
        #DH_listen_thread.start()
        key =""
        key = str(key_exchange(target_ip,int(key_length)))
#       DH_listen_thread.kill()
        print(key)
    else:
        client_listen_thread.kill()
        scan_f.kill()
        connection_data = DH_server(my_ipaddr)
        key = connection_data[1]
        target_ip = connection_data[0]
        print(key)

    Server_listen_thread = multiprocessing.Process(target=server_start, args=(my_ipaddr, key, ))
    Server_listen_thread.start()

    while True:
        message = input()
        message = encr(message, key)
        print(f"[*] ENCRYPTED MESSAGE :{message}")
        send_message(target_ip,message)

def scan_function(timeing, username, ready):
    while True:
        my_ipaddr = get_local_ip()
        status = f"{my_ipaddr} + {username} + {ready}"
        server_broadcast(9981, status)
        time.sleep(timeing)

def signal_handler(sig, frame):

    print("[*] Ctrl+C pressed. Stopping server...")
    scan_f.kill()
    client_listen_thread.kill()
    try:
        Server_listen_thread.kill()
    except:
#   DH_listen_thread.kill()
        sys.exit(0)

if __name__=="__main__":
    main()
```

Тестування утиліти. Для перевірки працездатності та оцінки безпечності утиліти було проведено тестування в локальній мережі за участю двох віртуальних машин, між якими здійснювався обмін даними. Також було виконано прослуховування мережевого трафіку з

метою аналізу переданих пакетів як у зашифрованому, так і в незашифрованому вигляді. Для дослідження того, як виглядають TCP-пакети, що передаються без використання шифрування, застосовано програму Wireshark (рис. 7.), яка дає змогу детально переглядати структуру мережевих пакетів та вміст переданих даних у відкритому вигляді.

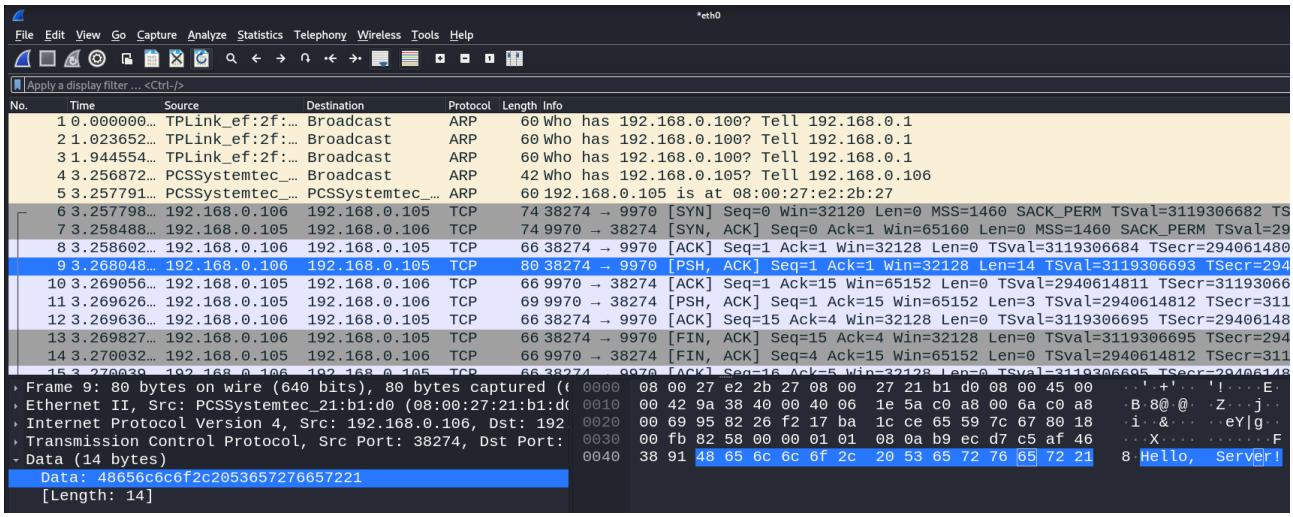


Рисунок 7 – Перехоплення нешифрованого зв’язку між двома хостами у локальній мережі

Як показано на рис. 7, у локальній мережі з хоста з IP-адресою 192.168.0.106 було відправлено повідомлення на хост 192.168.0.105 із текстом “Hello, server!”. Під час прослуховування мережі за допомогою програми Wireshark ці пакети були успішно перехоплені, і їхній зміст відображено у відкритому вигляді, оскільки передача даних здійснювалася без використання шифрування. Після цього було проведено тестування обміну повідомленнями вже з використанням шифрування. Для демонстрації роботи механізму захисту та порівняння з незашифрованим трафіком у програмі було додано виведення шифрованого повідомлення безпосередньо перед його відправленням (рис. 8). Це дозволяє наочно показати, що під час передачі через мережу вміст пакету є нерозбірливим та недоступним для читання без відповідного ключа дешифрування. Далі отримувач дешифрує повідомлення за допомогою спільного ключа і виводить його у термінал (рис. 9). Було також здійснено перехоплення цього з’єднання з подальшим аналізом переданих пакетів. У результаті перехоплення вдалося зафіксувати лише один пакет з корисним навантаженням, що відповідає моменту надсилання зашифрованого повідомлення “test message2” (рис. 10).

Рисунок 7 – Відправка та виведення зашифрованого повідомлення

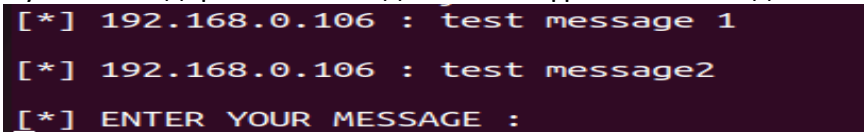


Рисунок 9 – Отримане і виведене дешифроване повідомлення

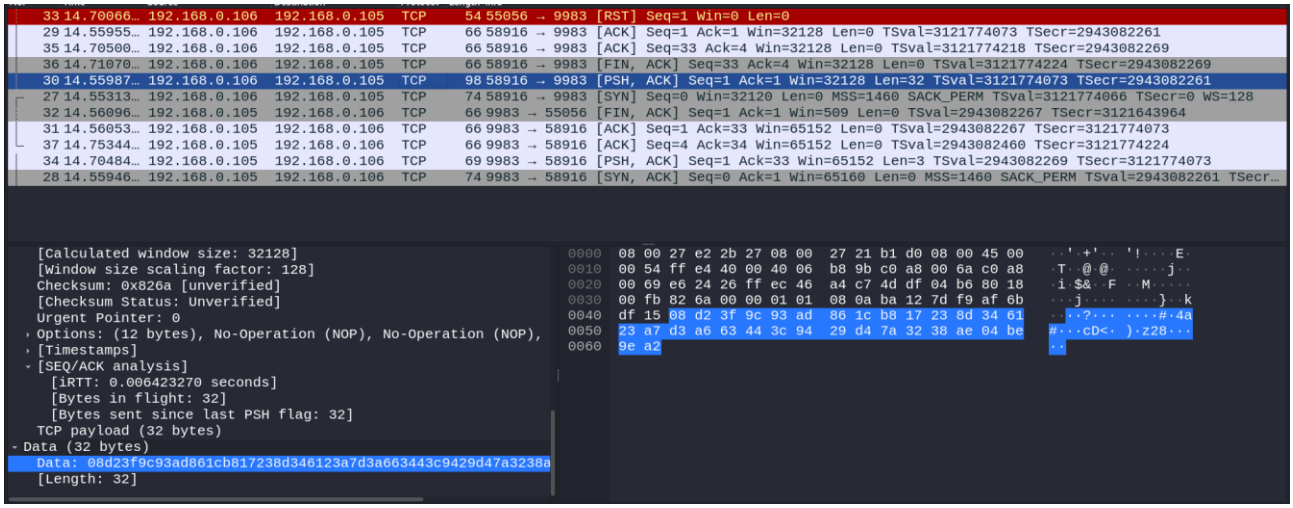


Рисунок 10 – Перехоплене шифроване повідомлення “test message2”

Як видно із перехопленого пакета, переглянути зміст повідомлення неможливо, оскільки воно зашифроване та не містить жодних відкритих даних. Це підтверджує, що утиліта коректно виконує поставлені перед нею завдання: забезпечує встановлення захищеного каналу зв’язку та передачу даних у локальній мережі.

Висновки

Було розглянуто основні методи наскрізного мережевого шифрування та створено утиліту, що реалізує функціонал месенджера у локальній мережі з використанням End-to-End Encryption для встановлення захищеного каналу передачі повідомлень.

Під час розробки утиліти застосовано симетричний алгоритм шифрування AES. Реалізація підтримує всі стандартні довжини ключів, доступні для AES, що дає користувачу можливість обирати розмір ключа та впливає на рівень безпеки передачі даних. Оскільки алгоритм є симетричним, один і той самий ключ використовується для шифрування та дешифрування повідомлень. Для генерації спільного ключа шифрування у мережі реалізовано алгоритм Діффі–Хеллмана. На відміну від класичного обміну готовими ключами, у цій утиліті використовується побайтове обчислення спільного ключа: випадково згенеровані байти перетворюються у двійкове, а потім у десяткове число, що використовується для формування ключа. Такий підхід підвищує стійкість алгоритму до атак на генератор псевдовипадкових чисел, оскільки передбачити значення кожного байта стає значно складніше.

Утиліта реалізована переважно з використанням стандартних бібліотек мови програмування Python, що робить її розробку простою, а виконання ефективним та надійним.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Jean Jarry, C., Rouphael, R., & Serror, J. (2019, March 4). From Julius Caesar to the blockchain: A brief history of cryptography. Variances. URL : https://www.ensae.org/fr/variances/article/from-julius-caesar-to-the-blockchain-a-brief-history-of-cryptography/4942

2. Sidhpurwala, H. (2023, January 12). *A brief history of cryptography*. URL : https://www.redhat.com/en/blog/brief-history-cryptography
3. Aumasson, J.-P. (2017). Serious Cryptography: A Practical Introduction to Modern Encryption. No Starch Press. URL : https://www.google.com.ua/books/edition/Serious_Cryptography/hLcrDwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0
4. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. (2023, 12 липня). Що таке end-to-end шифрування, яке часто згадують, говорячи про месенджери? URL : https://www.cip.gov.ua/ua/news/sho-take-end-to-end-shifruvannya-yake-chasto-zgaduyut-govoryachi-pro-mesendzheri
5. Amazon Web Services. (n.d.). What Is SMTP? URL : https://aws.amazon.com/what-is/smtp/?nc1=h_ls
6. Краснов, О. В. (н. д.). Функції програми шифрування PGP та її застосування / Утиліти безпеки. Сучасна інформатика (сила практики в теорії). URL : https://alextexnok.blogspot.com/p/pgp.html
7. OpenPGP. (2024, 29 вересня). Про OpenPGP. URL : https://www.openpgp.org/about/
8. XMPP Standards Foundation. (n.d.). Про XMPP. URL : https://xmpp.org/about/
9. Goldberg, I., & команда розробників OTR. (н. д.). Off-the-Record Messaging [Сторінка проекту]. URL : https://otr.cypherpunks.ca/
10. Ehrenkret, M. (2023, 19 вересня). Квантова стійкість і протокол Signal. Signal. URL : https://signal.org/blog/pqxdh/
11. Національний інститут стандартів і технологій (NIST), Дворкін, М. Д., Баркер, Е., Нехватал, Дж., Фоті, Дж., Бассем, Л., Робак, Е., & Дрей молодший, Дж. (2001, 26 листопада). Advanced Encryption Standard (AES). Федеральні публікації з обробки інформації (FIPS 197). Національний інститут стандартів і технологій. https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.197
12. Srėbaliūtė, A. (2024, 28 травня). AES-шифрування: що це та як воно захищає ваші дані? NordLayer. URL : https://nordlayer.com/blog/aes-encryption/
13. GeeksforGeeks. (2025, 23 липня). Алгоритм RSA в криптографії. URL : https://www.geeksforgeeks.org/computer-networks/rsa-algorithm-cryptography/
14. Литвиненко, В. (2023, 21 квітня). Алгоритм шифрування RSA, види атак на нього. Реалізація мовою Python. DOU. URL : https://dou.ua/forums/topic/43026/
15. Rescorla, E. (1999, червень). Метод погодження ключа Диффі-Хеллмана (Diffie-Hellman Key Agreement Method). RFC 2631. Internet Engineering Task Force. URL : https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2631
16. Cyber Witcher. (2023, 1 травня). Шпаргалка: MITM. HackYourMom. URL : https://hackyourmom.com/en/kibervijna/shpargalka-mitm/
17. Fortinet. (н. д.). Атака «людина-посередник» (Man-in-the-Middle): типи та приклади. URL : https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/man-in-the-middle-attack/
18. Imperva. (н.д.). ARP-спуфінг (ARP cache poisoning) — що це та як працює. URL : https://www.imperva.com/learn/application-security/arp-spoofing/
19. Кабінет Міністрів України. (н. д.). Що таке електронний цифровий підпис (ЕЦП)? URL : https://www.kmu.gov.ua/usi-pitannya-po-e-poslugam/sho-tak-elektronnij-cifrovij-pidpis-ecp

References

1. Serror, J., Jean Jarry, C., & Rouphael, R. (2019, March 4). From Julius Caesar to the blockchain: A brief history of cryptography. Variances. Retrieved from : https://www.ensae.org/fr/variances/article/from-julius-caesar-to-the-blockchain-a-brief-history-of-cryptography/4942

2. Sidhpurwala, H. (2023, January 12). A brief history of cryptography. Red Hat. Retrieved from : https://www.redhat.com/en/blog/brief-history-cryptography
3. Aumasson, J.-P. (2017). Serious Cryptography: A Practical Introduction to Modern Encryption. No Starch Press. Retrieved from : https://www.google.com.ua/books/edition/Serious_Cryptography/hLcrDwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=0
4. State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine. (n.d.). What is end-to-end encryption often referred to when speaking about messengers? Retrieved from : https://www.cip.gov.ua/ua/news/sho-take-end-to-end-shifruvannya-yake-chasto-zgaduyut-govoryachi-pro-mesendzheri
5. Amazon Web Services. (n.d.). What Is SMTP? Retrieved from : https://aws.amazon.com/what-is/smtp/?nc1=h_ls
6. Krasnov, O. V. (n.d.). Functions of the PGP encryption program and its application / Security utilities. Modern Informatics (the power of practice in theory). Retrieved from : https://alextexnok.blogspot.com/p/pgp.html
7. OpenPGP. (2024, September 29). About OpenPGP. Retrieved from : https://www.openpgp.org/about/
8. XMPP Standards Foundation. (n.d.). About XMPP. Retrieved from : https://xmpp.org/about/
9. Goldberg, I., & the OTR Development Team. (n.d.). Off-the-Record Messaging [Project homepage]. Retrieved from : https://otr.cypherpunks.ca/
10. Ehrenkret, M. (2023, September 19). Quantum resistance and the Signal Protocol. Signal. Retrieved from : https://signal.org/blog/pqxdh/
11. National Institute of Standards and Technology (NIST), Dworkin, M. J., Barker, E., Nechvatal, J., Foti, J., Bassham, L., Roback, E., & Dray Jr., J. (2001, November 26). Advanced Encryption Standard (AES). Federal Information Processing Standards (FIPS 197). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.197
12. Srėbaliūtė, A. (2024, May 28). AES encryption: What is it & how does it safeguard your data? NordLayer. Retrieved from : https://nordlayer.com/blog/aes-encryption/
13. GeeksforGeeks. (2025, July 23). RSA Algorithm in Cryptography. Retrieved from : https://www.geeksforgeeks.org/computer-networks/rsa-algorithm-cryptography/
14. Lytvynenko, V. (2023, April 21). RSA encryption algorithm, types of attacks on it. Implementation in Python. DOU. Retrieved from : https://dou.ua/forums/topic/43026/
15. Rescorla, E. (1999, June). Diffie-Hellman Key Agreement Method. RFC 2631. Internet Engineering Task Force. Retrieved from : https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc2631
16. Cyber Witcher. (2023, May 1). MITM cheat sheet. HackYourMom. Retrieved from : https://hackyourmom.com/en/kibervijna/shpargalka-mitm/
17. Fortinet. (n.d.). Man-in-the-Middle Attack: Types and Examples. Retrieved from : https://www.fortinet.com/resources/cyberglossary/man-in-the-middle-attack
18. Imperva. (n.d.). ARP Spoofing (ARP cache poisoning) — What it is and how it works. Retrieved from : https://www.imperva.com/learn/application-security/arp-spoofing/
19. Cabinet of Ministers of Ukraine. (n.d.). What is an electronic digital signature (EDS)? Retrieved from : https://www.kmu.gov.ua/usi-pitannya-po-e-poslugam/sho-tak-elektronnij-cifrovij-pidpis-ecp

Удосконалення науково-методичного апарату щодо обґрунтування продовження строків придатності радіоелектронного обладнання повітряних суден

Improving Scientific Methodology for Substantiating Extended Service Life of Aircraft Radio-Electronic Equipment

Олег Радько [A]

Corresponding author: кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник, професор кафедри авіації, e-mail: radlviv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6391-5713

Анатолій Салій [A]

кандидат військових наук, професор, начальник інституту авіації та протиповітряної оборони, e-mail: a.salii@ed.nuou.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-3491-9301

Богдан Семон [A]

доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник навчально-методичного центру, e-mail: b.semon@ed.nuou.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-7449-8214

Oleh Radko [A]

Corresponding author: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Professor of the Aviation Department, e-mail: radlviv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6391- 5713

Anatolii Salii [A]

Candidate of Military Sciences, Professor, Head of the Institute of Aviation and Air Defense, e-mail: a.salii@ed.nuou.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-3491-9301

Bohdan Semon [A]

Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Research Scientist of the Educational and Methodological Center, e-mail: b.semon@ed.nuou.org.ua, ORCID ID: 0000-0002-7449-8214

[A] Національний університет оборони України, Київ, Україна

[A] National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

УДК 629.735.78

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.18

Мета роботи. Удосконалення науково-методичного апарату щодо обґрунтування продовження строків придатності радіоелектронного обладнання повітряних суден державної авіації України.

Метод дослідження. Методологія базується на існуючих науково-методичних підходах щодо оцінки надійності складних технічних систем до яких відноситься радіоелектронне обладнання повітряних суден.

Результати дослідження. На основі дослідження та аналізу математичних моделей оцінки і прогнозування експлуатаційних показників надійності радіоелектронного обладнання з програмно-регламентною стратегією їх експлуатації удосконалено математичну модель надійності з аргументом, що запізнюється, у частині визначення часу запізнення.

Теоретична цінність дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для подальших емпіричних досліджень щодо визначення залишкових термінів служби (ресурсів) та обґрунтування продовження експлуатації радіоелектронного обладнання повітряних суден.

Тип статті. Теоретична.

Ключові слова: радіоелектронне обладнання, повітряне судно, надійність, продовження строку служби, граничний стан, інтенсивність відмов, модель з аргументом, що запізнюється.

Purpose. To improve the scientific and methodological apparatus for substantiating the extension of the service life of radio-electronic equipment of Ukrainian state aviation aircraft.

Method. The methodology is based on existing scientific and methodological approaches for assessing the reliability of complex technical systems, to which aircraft radio-electronic equipment belongs.

Findings. Based on the research and analysis of mathematical models for assessing and forecasting the operational reliability indicators of radio-electronic equipment with a software-regulated (scheduled) strategy for their operation, the mathematical model of reliability with a delayed argument has been improved in terms of determining the delay time.

Theoretical implications. The results of the study can be used for further empirical research on determining the residual service life (resource) and substantiating the continued operation of aircraft radio-electronic equipment.

Paper type. Theoretical.

Key words: radioelectronic equipment, aircraft, reliability, service life extension, critical condition, failure rate, delayed argument model.

Вступ

Аналіз номенклатури радіоелектронного обладнання (РЕО) повітряних суден (ПС) державної авіації (ДА) показав, що на сьогодні в експлуатації продовжують знаходитися вироби, що було виготовлено у 80-х – 90-х роках минулого сторіччя. Одним із основних способів підтримання їх

справності є виконання комплексу досліджень та робіт, які дозволяють продовжити експлуатацію поза межами призначених розробником (виробником) термінів служби, що дає змогу максимально використовувати їх ресурсний потенціал та зменшувати витрати відповідних відомств. При цьому однією з основних проблем щодо їх подальшої експлуатації є значне перевищення початково-встановлених розробником (виробником) термінів служби над реальними, та, як наслідок, можливість досягнення ними граничного стану, що обумовлює необхідність припинення експлуатації.

У загальному випадку виріб РЕО досягає граничного стану при переході у граничний стан хоч би однієї його складової частини (блоку, агрегату, плати, елементу тощо). Про можливе наближення виробу до граничного стану може свідчити стійка тенденція росту інтенсивності відмов у часі, у тому числі й у вигляді виходу параметрів за встановлені межі, які неможливо відновити відповідними регулюваннями. Інформація про технічний стан виробів РЕО та їх складової частини отримується за даними поточного параметричного контролю, який охоплює практично всю їх номенклатуру.

Параметричний контроль виробів РЕО здійснюється при проведенні регламентних робіт та окремих цільових перевірок. Контроль технічного стану також проводиться при виконанні досліджень і робіт для визначення можливості експлуатації виробів поза межами призначених термінів служби, встановлених розробником чи виробником. Очевидно, що в обох випадках момент виникнення відмови можна встановити лише з точністю, що визначається інтервалами перевірок, тобто для ефективного прогнозування технічного стану РЕО необхідно з максимальною точністю встановити закон зміни інтенсивності потоку відмов з урахуванням неможливості безпосередньої оцінки його значень. У більшості випадків такий закон будують у класі експоненціальних розподілів (Zubarev, 2005), (ДСТУ 2862-94. 1995), (Бурцев, 2025), (Zaliskyi, 2015). При цьому модель відмов є достатньо простою та узгодженою з реальним потоком відмов. Але така інтерпретація механізму відмов модель прийнятна лише для відносно простих пристроїв, що експлуатуються у достатньо стабільних умовах.

Більшість сучасних виробів РЕО ПС ДА складаються зі значної кількості складових (елементів, блоків, агрегатів, систем тощо), кожна із яких виконує свої функції, побудована на використанні певних фізичних принципів та має зв’язки з іншими, при цьому їх структура визначається бойовим призначенням зразка авіаційної техніки (АТ). Разом з цим, всі вони мають спільні риси по організації побудови та складу обладнання, тобто є типовими представниками складних технічних систем (СТС), що дозволяє розглядати їх з позицій теорії складних систем в організаційному і функціональному аспектах (Зубарев, 2005), а їх постійний розвиток та удосконалення обумовлюють ускладнення заходів з підтримання у постійній готовності до застосування за призначенням. Саме це обумовлює неможливість характеризувати їх якоюсь однією ознакою.

При описі складного технічного об’єкту (системи) є необхідним одночасний облік багатьох невід’ємних однієї від одної ознак. Тобто, при проведенні досліджень СТС використовується системний підхід, який вимагає залучення всього спектру якостей цих систем (Ковтуненко, 2009), (Печура, 2022). Методичною основою для розв’язання завдання щодо обґрунтування строків продовження придатності радіоелектронного обладнання повітряних суден є методичний апарат, викладений у роботах . За результатами аналізу виробів РЕО ПС ДА України та розгляду їх як СТС з’ясовано, що у якості інтегрального показника може бути прийнята їх надійність, що у статті розглядається як властивість функціонування виробу РЕО за призначенням у певних умовах експлуатації.

Відомо, що під умовами експлуатації виробу РЕО будь-якого типу прийнято розглядати такі фактори:

стан і мінливість зовнішньої системи, в якій виріб експлуатувався протягом всього його життєвого циклу;

інтенсивність експлуатації виробу за різними чинниками (частота включення, тривалість функціонування за призначенням, статичні та динамічні навантаження, тривалість перебування у режимі зберігання тощо);

час, що минув з виготовлення виробу;

встановлений для даного виробу РЕО регламент обслуговування (періодичність, глибина та досконалість контролю тощо);

кількість та якісний зміст модернізацій та доробок виробу.

Працездатність для виробів РЕО оцінюється за деяким, цілком певним набором контрольованих параметрів, що утворює так званий вектор параметрів. Кожен параметр, у свою чергу, є або скалярною величиною, або вектором. Виріб РЕО вважається працездатним, якщо вектор його параметрів $\overline{P}$ знаходиться всередині деякого, зазвичай замкнутого, підпростору Ω, що називається областю допусків, простору параметрів $\Omega_0\left(\overline{P} \in \Omega \subset \Omega_0\right)$. У протилежному випадку виріб РЕО вважається непрацездатним. Відповідно до цього визначення, виріб РЕО перебуває у стані відмови, якщо він не задовольняє деякому комплексу заданих наперед вимог.

Оцінити виріб РЕО у певний момент часу означає визначити значення показників, якими він характеризується у поточний момент часу. Відповідно оцінити надійність виробу РЕО у деякому інтервалі часу означає визначити на даному інтервалі функції, відповідно до яких змінюються чисельність значення його показників надійності. Завдання прогнозування значення показників надійності у деякий довільний момент часу *t* за своєю суттю не відрізнятиметься від завдання їх оцінки, але потребує визначення показників як функції часу по всій осі. Складнішим є завдання прогнозування надійності виробу РЕО для деякого комплексу майбутніх умов його функціонування. Розв'язання такого завдання дає змогу визначити зміни показників надійності виробу РЕО, якщо певним чином змінити умови їх експлуатації.

Відомо, що всі основні показники надійності можуть бути обчислені, якщо відомий закон розподілу часу безвідмовної роботи виробу РЕО. У більшості випадків такий закон є експоненціальним розподілом. При цьому щільність розподілу часу безвідмовної роботи залежить від єдиного параметра λ, що називається інтенсивністю відмов. Модель відмов при цьому є надзвичайно простою і, як показує практика, часто досить узгодженою з реальним потоком відмов. Однак, подібна інтерпретація механізму відмов є правильною лиши для відносно простих пристроїв, що експлуатуються в ідеальних умовах. З іншого боку, поширення розподілу часу безвідмовної роботи, як відомо, володіє тією властивістю, що тривалість безвідмовної роботи виробу не впливає на ймовірність появи відмови в подальшому. Іншими словами, це означатиме, що вироби РЕО із загальним розподілом часу безвідмовної роботи не "старіють". Зрозуміло, що ця властивість експоненціального розподілу не дозволяє використовувати його для опису моделі надійності виробів РЕО ПС ДА, експлуатаційні властивості яких погіршуються з часом.

На надійність таких систем впливають також періодичність та досконалість контролю працездатності та технічного обслуговування, кваліфікація обслуговуючого персоналу, спеціально організовані заходи та підвищення надійності окремих елементів систем та ряд інших факторів. Це означає, вироби бортового РЕО як об'єкти надійності характеризуються нестаціонарним потоком відмов з параметром, що є функцією векторного аргументу.

При застосуванні звичайної класичної методики оцінки надійності, що використовує гіпотезу про найпростіший потік відмов, без додаткових досліджень неможливо відповісти на питання про те, як і впливають на надійність ті чи інші умови експлуатації. При цьому неможливо більш-менш правдоподібно прогнозувати надійність РЕО, а також визначити оптимальні стратегії їх контролю та використання за призначенням. Звідси зрозуміло, що

методика оцінки надійності РЕО повинна ґрунтуватися на загальних припущеннях щодо закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Отже, для розроблення конкретної прикладної методики оцінки та прогнозування надійності виробів РЕО необхідно вирішити цілий комплекс взаємопов'язаних суперечливих теоретичних і практичних задач. При цьому найбільш важливою з них слід вважати задачу спільного вибору типу моделі надійності, її розмірності за параметрами, числа і номенклатури врахованих чинників.

Матеріали та методи

Однією з основних характеристик будь-якої технічної системи є її вік, що розуміється зазвичай як час, що минув з моменту виготовлення виробу. Разом з тим, ступінь старіння РЕО залежатиме не тільки від часу, а й від інтенсивності експлуатації, кліматичних режимів, дисципліни обслуговування, тощо. При цьому, очевидно, чинники повинні виражатися кількісно, утворюючи векторну характеристику – так званий вектор віку виробів бортового РЕО.

Очевидно також, що надійність залежить не тільки від чисельних значень чинників, але і від того, як ці чинники змінювалися в процесі експлуатації, тобто від історії експлуатації конкретного виробу РЕО. Чисельні значення вибраного набору чинників у кожний момент часу для кожного виробу складають вектор-функцію

$$\overline{Z}(t) = \{z_1(t),\ z_2(t),\ \dots\ ,\ z_m(t)\} \tag{1}$$

де $m \in \overline{1,\ \mathrm{M}}$ – номер експлуатаційного чинника.

Отже, експлуатація виробу РЕО є деякою лінією, яку описує вектор $\overline{Z}(t)$ у так званому середовищі експлуатаційних чинників. В окремому випадку вектор $\overline{Z}(t)$ може бути одномірним, якщо у якості чинника взяти час експлуатації виробу.

Математичне формулювання завдання оцінки та прогнозування надійності виробів РЕО можливо здійснити у такій спосіб. Ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі часу $[t_0,\ t]$, за умови, що в початковий момент часу t_0 виріб є справним, визначається функцією надійності, яка має вигляд

$$P(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \tilde{\lambda}(t)dt}, \tag{2}$$

де $\tilde{\lambda}(t)$ – закон зміни інтенсивності відмов.

У статті прийнято, що надійність виробів РЕО залежить від значення компонент вектора (1). Тоді функція надійності (2) може бути записана у вигляді

$$P(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \tilde{\lambda}\left(\overline{Z}(t)\right)dt}.$$

Для обчислення ймовірності $P(t_0, t)$ необхідно і достатньо точне значення інтенсивності відмов $\tilde{\lambda}\left(\overline{Z}(t)\right)$ у довільний момент часу t. Введемо функцію

$$\lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right) \cong \tilde{\lambda}\left(\overline{Z}(t)\right),$$

що однозначно визначається набором параметрів $\overline{\mathrm{B}} = (b_1,\ b_1,\ \dots, b_n)$ та найкращим чином (у деякому цілком певному сенсі) апроксимує закон зміни інтенсивності відмов $\tilde{\lambda}\left(\overline{Z}(t)\right)$. Функція $\lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right)$ являє собою модель надійності. Кількість чинників m, облікованих у моделі надійності, називається розмірністю моделі за чинниками. Кількість параметрів моделі надійності n є розмірністю моделі надійності за параметрами.

Вектор параметрів моделі $\overline{\mathrm{B}}$ може бути лише приблизно оцінений у вигляді вектора оцінок $\overline{\mathrm{B}} = (b_1,\ b_1,\ \ldots, b_n)$ за результатами контролю надійності виробів РЕО. Отже

$$P(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \lambda\left(\mathrm{B}, \overline{Z}(t)\right) dt},$$

де $\lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right)$ – функція випадкового векторного аргументу $\overline{\mathrm{B}}$, що наближено описує інтенсивність відмов, тобто

$$\lambda\left(\overset{\cap}{\overline{\mathrm{B}}}, \overline{Z}(t)\right) \cong \lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right) \overset{\Delta}{=} \tilde{\lambda}\left(\overline{Z}(t)\right).$$

Відповідно до термінології факторного аналізу, функцію $\lambda\left(\overset{\cap}{\overline{\mathrm{B}}}, \overline{Z}(t)\right)$ також називають поверхнею відгуку. Отже, завдання обліку умов експлуатації виробів РЕО при оцінці та прогнозуванні їх надійності зводиться по суті до вибору виду апроксимуючої функції $\lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right)$ та пошуку способу, який може бути реалізований для оцінювання $\overset{\cap}{\overline{\mathrm{B}}}$ вектору параметрів $\overline{\mathrm{B}}$ даної функції.

Відповідно до наведеного вище цілком зрозуміла неприйнятність використання однопараметричної моделі для оцінки та прогнозування надійності виробів РЕО, у яких інтенсивність відмов кожного елементу обчислена для деяких стандартних умов, що практично неможливо через різноманітність і мінливість умов реальної експлуатації. У роботі (Зубарев, 2005), (Freitas, 2010) наведено спробу удосконалення однопараметричної моделі експлуатації, яка врахувала би умови експлуатації виробів. Відповідно до цієї методики інтенсивність відмов кожного елементу системи, яка обчислена для деяких стандартних умов, помножується на так званий коефіцієнт умов застосування, що характеризує електричний режим даного елементу, та коефіцієнт виду використання, що характеризує зовнішні умови експлуатації виробу. Чисельні значення цих коефіцієнтів табульовані в широкому діапазоні можливих умов застосування елементів. Зрозуміло, що використання цього підходу для оцінки надійності виробів РЕО, особливо виробів авіаційного бортового РЕО воєнного призначення, практично неможливе через велику різноманітність і відносно швидку мінливість умов їх реальної експлуатації.

При використанні багатопараметричних моделей надійності важливе значення набуває вибір виду апроксимації $\lambda\left(\overline{\mathrm{B}}, \overline{Z}(t)\right)$. У багатьох випадках зручною апроксимація закону зміни інтенсивності відмов є сукупність розривних функцій. Певною перевагою цього підходу є можливість отримання прийнятного наближення функціями простої аналітичної структури, наприклад, гіперплощинами, або навіть сукупністю констант. Оцінка $\lambda\left(\overline{Z}(t)\right)$ здійснюється окремо для кожного з підпросторів. Недоліками цього науково-методичного підходу є (Кобзар, 2006), (Zaliskyi, 2015):

складність обрання границь областей, у межах кожної з яких діє своя розривна функція;

співвідношення між кількістю параметрів, які оцінюються, і кількість експериментів різне, відповідно й точність оцінки параметрів у кожній з областей також буде різною;

відсутність в цілому закону загальної аналітичної апроксимації зміни інтенсивності відмов, що призводить до ускладнення прогнозування значень інтенсивності відмов та надійності РЕО.

Для подолання наведених недоліків в даний час найбільше поширення мають моделі надійності, що використовують непривні або комбіновані (неприривно-дискретні)

апроксимації закону $\lambda\left(\overline{Z}(t)\right)$. При цьому для оцінки та прогнозування надійності широко використовуються методи регресійного аналізу. Такий підхід ефективний у разі, коли кількість параметрів у рівнянні регресії відносно мала і складає декілька одиниць. Однак, надійність виробів РЕО залежить від десятків змінних. При цьому, поряд з впливом на надійність окремих факторів, суцільним є також вплив взаємодій другого і більш високих порядків. Зрозуміло, що рівняння регресії у цьому випадку буде містити сотні параметрів. Ця обставина робить необхідним застосування різноманітних заходів для зниження розмірності моделей. Найпростіший шлях – зменшення числа факторів, що враховуються. В цьому випадку інтенсивність відмов λ є сумою трьох складових

$$\lambda = w_{\text{кл}} + w_{\text{пр}} + w_{\text{хр}},$$

де $w_{\text{кл}}$, $w_{\text{пр}}$, $w_{\text{хр}}$ – адитивні внески в параметр потоку відмов, що обумовлені кліматичними чинниками, періодичністю виконання регламентних робіт та виконання робіт зі зберігання.

Також скорочення розмірності моделі може бути досягнуто шляхом спрощення структури рівняння регресії. Найбільш поширеною формою рівняння регресії є лінійний за параметрами, але нелінійний за змінними поліном виду (Ковтуненко, 2011)

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{m} b_i z_i + \sum_{i_1=1}^{m}\sum_{i_2=1}^{m} b_{i_1 i_2} z_{i_1} z_{i_2} + \cdots + \sum_{i_1=1}^{m}\sum_{i_2=1}^{m} \ldots \sum_{i_d=1}^{m} b_{i_1 i_2 \ldots i_d} z_{i_1 i_2} \ldots z_{id} \qquad (3)$$

Використання рівняння регресії у формі (3) пов’язано з можливістю застосування для оцінки параметрів рівняння добре відомих лінійних статистичних методів. Помітне скорочення розмірності задачі може бути досягнуто при зниженні ступеня полінома, але при цьому погіршується адекватність моделі.

Інший шлях зниження розмірності задачі полягає в ігноруванні впливу взаємодій факторів. Кількість оцінюючих параметрів при цьому визначається співвідношенням

$$N = md + 1$$

де m – кількість факторів;
d – ступінь полінома.

Цей підхід, реалізований в одній з найбільш розроблених методик оцінки надійності, сформульований у (ДСТУ 2862-94, 1994). Модель $\lambda(t_1, t_2, \ldots, t_r)$ разом з даними про експлуатацію виробів РЕО використовуються для побудови функції правдоподібності $\mathrm{P}\left(\underline{\hat{\Lambda}}\right)$, де $\underline{\hat{\Lambda}} = \{\lambda_{ij}\}$ – вектор невідомих параметрів моделі. Максимізуючи функцію правдоподібності $\mathrm{P}\left(\underline{\hat{\Lambda}}\right)$, отримуємо вектор оцінок параметрів $\underline{\hat{\Lambda}}$. Основними недоліками цієї методики у аспекті обґрунтування строків продовження придатності до використання виробів РЕО, є:

функція $\lambda(t_1, t_2, \ldots, t_r)$ задається у табличному вигляді, тобто не має аналітичної екстраполяції, що унеможливлює прогнозування надійності для значень аргументів, які не знаходяться в області визначення функції $\hat{\lambda}(t_1, t_2, \ldots, t_r) = \hat{\lambda}(t)$;

адитивне подання функції $\hat{\lambda}(t)$ можливо лише у випадку, якщо у в кожний момент часу виріб РЕО може перебувати лише в одному елементарному режимі, що для умов реальної експлуатації авіаційного РЕО, на які впливає велика кількість факторів, є некоректним;

неможливість врахування взаємодії факторів.

При реалізація наведеної методики з’являються обмеження обчислювального характеру, які не дозволяють врахувати відносно велику кількість факторів. Так, при врахуванні

десяти елементарних режимів і розбивці кожної координатної осі всього на п’ять підінтервалів, число параметрів, що оцінюються, дорівнює 50. Зменшення числа елементарних режимів експлуатації виробу РЕО приводить до збільшення дисперсії оцінок через вплив “шуму” неврахованих факторів.

Розглянуті методики, при певних їх перевагах, мають ряд істотних недоліків, що вимагає удосконалення відповідного методичного апарату щодо оцінки та прогнозування надійності виробів РЕО та розробки на його основі більш ефективних методик оцінки та прогнозування показників їхньої надійності, за допомогою яких буде можливо визначити динаміку технічної деградації виробів РЕО у цілому.

Результати

При розробці конкретної моделі щодо оцінки і прогнозування надійності РЕО ПС необхідно розв'язати комплекс взаємопов’язаних внутрішньо суперечливих теоретичних і практичних проблем. Найбільш важливою з них слід вважати проблему сумісного вибору типу моделі надійності, її сумісності по параметрам, числа і номенклатури факторів, що враховуються. При цьому приймаються такі основні припущення.

1. У якості технічного показника експлуатаційної якості РЕО приймаємо його надійність, яка оцінюється імовірністю безвідмовної роботи (узагальнений показник) та параметром або інтенсивністю потоку відмов (частковий показник).

2. Вихідний статистичний матеріал представляє собою інформацію про відмови РЕО, що отримана в процесі експлуатації та регламентного обслуговування. При цьому в процесі виконання кожної перевірки однозначно визначаються:

значення компонент вектора віку на період закінчення кожної перевірки;

час проведення перевірки;

наявність або відсутність відмови РЕО в попередній міжперевірочний період.

3. Параметр потоку відмов може бути адекватно поданий у виді функції $\lambda\left(\underline{B},\ \underline{Z}(t)\right)$ вектора віку виробу РЕО $\underline{Z}(t) = \left(z_1(t),\ z_2(t),\ \ldots,\ z_m(t)\right)$, однозначно визначеного набором параметрів $B = (b_1,\ b_2,\ \ldots,\ b_n)$. Вектор віку також може включати і одну компоненту, наприклад час експлуатації.

4. Відмови, які виникли в попередній міжрегламентний період, в процесі чергового контролю працездатності виявляються з імовірністю, дорівнюючою одиниці. Момент виникнення відмови залишається невідомим та оцінюється з точністю до міжперевірочного інтервалу.

5. Вважається, що після проведення регламентних перевірок працездатність виробу РЕО відновлюється повністю.

Для пошуку рішення удосконалення науково-методичного апарату використовується відома апріорна гіпотеза щодо закону зміни інтенсивності потоку відмов у часі (Бурцев, 2025), якісний вигляд якої наведено на рисунку 1. Інтервал $[0 - T_{\text{П}}]$, який характеризує період приробітки елементів і на теперішній час вже закінчився. Інтервал $[T_{\text{П}} - T_H]$ – період нормальної експлуатації виробу. Інтервал $[T_H\ - T_B]$ – входження виробу в область інтенсивних відмов в наслідок «старіння» його елементів.

Закон зміни $\lambda(t)$ (рис. 1) на ділянці $[T_{\text{П}}\ \ldots\ T_H]$ можна апроксимувати прямою, а на ділянці $[T_H\ \ldots\ T_B]$ – поліномом деякого ступеня d. Тоді закон зміни $\lambda(t)$ до кінця експлуатації виробу РЕО можна записати як

$$\lambda(t) = \begin{cases} a_{10} + a_{11}t, & T_{\text{П}} \le t \le T_{\text{Н}}, \\ a_{20} + a_{21}t + \cdots + a_{2d}t^d, & T_{\text{Н}} \le t \le T_{\text{В}}. \end{cases} \quad (4)$$

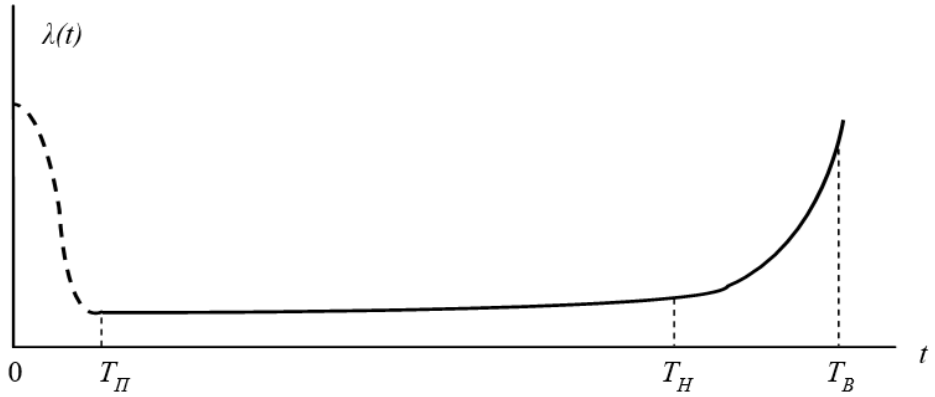


Рисунок 1 – Якісний характер зміни інтенсивності потоку відмов $\lambda(t)$ у часі
Джерело: розроблено автором

Принциповою особливістю задачі щодо виробів РЕО, які не охоплені постійним контролем, є неможливість безпосередньої оцінки значень параметрів поліномів апроксимації $\lambda(t)$ відомими методами у зв'язку з тим, що $\lambda(t)$ зазвичай розраховується з міркувань сталості на деякому інтервалі. У розглянутому випадку це припущення не зовсім справедливо.

Нехай на інтервалі $[0,\ T]$ інтенсивність потоку відмов апроксимується поліномом ступеня d. Для отримання статистичної оцінки $M\left[n_{0,T}\right]$ використаємо відомий [Anderson, 1971] вираз щодо імовірності безвідмовної роботи $P(t)$.

$$P(t) = exp\left\{-\int_0^T \lambda(t)dt\right\} = M\left[\frac{n_{0,T}}{n_T}\right] = \frac{1}{n_T} M\left[n_{0,T}\right], \tag{5}$$

де $\lambda(t)$ – закон зміни інтенсивності потоку відмов, апроксимований поліномом $\lambda(t) \approx a_0 + a_1 + \cdots + a_d d^d$ ступеня d;

$n_{1,T}$
$n_{0,T}$ – кількість справних виробів РЕО, які відповідно відмовили у вибірці.

Якщо N_T – загальна кількість виробів, що знаходяться в експлуатації до моменту контролю на час T, а $N_{1,T}$ – їх несправна кількість до цього моменту, то $\nu = \frac{N_{1,T}}{N_T}$ є імовірністю того, що відібрані для контролю вироби будуть несправними. Очевидно, що оцінкою несправних виробів у вибірці обсягом n_T на черговому циклі контролю є співвідношення

$$\hat{\nu} = \frac{n_{1,T}}{n_T} = \frac{n_{1,T}}{n_{1,T} + n_{0,T}}$$

Можна показати, що $M[\hat{\nu}] = \nu$. Для цього введемо випадкове число ξ_k, яке дорівнює 1, якщо за результатами контролю виріб є несправним і 0 у протилежному випадку. Для n_T вибраних виробів випадкове число обчислюється як

$$n_{1,T} = \sum_{k=1}^{n_T} \xi_k \tag{6}$$

Оцінка ν є незміщеною, тому що [7]

$$M\left[\frac{n_{1,T}}{n_T}\right] = \frac{1}{n_T} M\left[\sum_{k=1}^{n,T} \xi_k\right] = \frac{1}{n_T} \sum_{k=1}^{n_T} M[\xi_k] = \nu$$

Враховуючи, що

$$M[n_{0,T}] = n_T - M[n_{1,T}] = n_T(1-\nu),$$

можна записати

$$M[n_{0,T}] \approx n_T\left(1-\frac{n_{1,T}}{n_T}\right) = n_{0,T}$$

Логарифмуючи вираз

$$\frac{n_{0,T}}{n_T} \approx exp\left\{-\int_0^T \lambda(t)dt\right\}$$

та враховуючи поліном апроксимації закону зміни інтенсивності відмов отримаємо

$$-ln\frac{n_{0,T}}{n_T} \approx a_0 T + \frac{a_1}{2} + \ldots + \frac{a_d}{d+1}T^{d+1}. \quad (7)$$

Введемо оціночну функцію

$$y(T) = \alpha_0 T + \alpha_2 T^2 + \ldots + \alpha_d T^{d+1},$$

де $\alpha_0 = a_0;\ \ \alpha_1 = \frac{a_1}{2};\ \ \alpha_2 = \frac{a_2}{3};\ \ldots .$

Знання коефіцієнтів $(\alpha_0,\ \alpha_1,\ \ldots,\ \alpha_d)$ забезпечує можливість розрахунку $\lambda(t)$, а числове значення функції $y(t)$ на момент контролю T може бути, відповідно до (7), оцінено безпосередньо. При цьому отримана оцінка

$$\hat{y}(t) = -\frac{1}{T}ln\frac{n_{0,T}}{n_T} \quad (8)$$

є максимально правдоподібною.

Для підтвердження цього доцільно ввести функцію правдоподібності

$$L' = (F(T))^{n_{0,T}}(1-F(T))^{n_{1,T}}.$$

Враховуючи, що

$$F(T) - e^{\int_0^T \lambda(t)dt} = e^{-Ty(T)},$$

то

$$L' = e^{-n_{0,T}Ty(T)}\left(1-e^{-Ty(T)}\right)^{n_{1,T}}.$$

Тоді

$$L = ln\,L' = -n_{0,T}Ty(T) + n_{1,T}\,ln\left(1-e^{-Ty(T)}\right).$$

Представив рівняння правдоподібності у вигляді

$$\frac{dL}{dy(t)} = -n_{0,T}T + n_{1,T}\frac{e^{-Ty(T)}}{1-e^{-Ty(T)}} = 0$$

та розв'язав його, наприкінці отримаємо

$$\hat{y}(t) = -\frac{1}{T}ln\frac{n_{0,T}}{n_T},$$

що співпадає з (8).

Однією з найважливіших задач оцінки та прогнозування надійності є встановлення моменту початку масових відмов виробів РЕО. У цьому аспекті найбільш прийнятною є модель надійності з аргументом, що запізнюється. У загальному виді її може записати у вигляді (Зубарев, 2005)

$$\lambda(\underline{A},\underline{B},t_з) = \phi_1(\underline{A},t) + \phi_2(\underline{B},t)\cdot 1(t-t_з), \quad (9)$$

де $\phi_1(\underline{A}, t)$ – функція, що апроксимує закон зміни інтенсивності відмов у період нормальної експлуатації виробів (як правило це лінійна функція, рис. 1 інтервал $[T_\Pi \ \ldots \ T_H]$);

$\phi_2(\underline{B}, t)$ – функція, що апроксимує закон зміни інтенсивності відмов у період масових відмов ($T_\Pi \ \ldots \ T_H$);

$1(t - t_з)$ – одинична функція, яка може приймати значення: $l(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ 0, & x, < 0. \end{cases}$

Нехай

$$\phi_1(\underline{A}, t) = \sum_{i=0}^{n_1} a_i t^i, \qquad \phi_2(\underline{B}, t) = \sum_{j=0}^{n_2} b_j t^j,$$

тоді набір, що підлягає оцінці параметрів, утворює множину $\{a_0, \ a_1, \ \ldots, \ a_{n_1}; \ b_0, \ b_1, \ \ldots, \ b_{n_2}; \ \ t_з\}$.

При відсутності інформації про характер зміни умов функціонування в процесі експлуатації виробу РЕО в деякому інтервалі часу передбачається, що вектор віку в даному інтервалі змінюється лінійно. Це означає, що його кінець в процесі експлуатації системи описує в факторному просторі траєкторію у вигляді ломаної лінії. Точки переломлення даної траєкторії відповідають положенню вектора віку в момент проведення регламентних робіт.

Розглянемо випадок, коли функції $\phi_1(\underline{A}, t)$ та $\phi_2(\underline{B}, t)$ лінійні. Тоді

$$\lambda(\underline{A}, \underline{B}, t_з) = a_0 + a_1 t + (b_0 + b_1 t) \cdot 1(t - t_з). \tag{10}$$

Для оцінки параметрів лінійної моделі використаємо підхід, який було описано вище. Нехай, як й раніше,

$$\begin{aligned} \underline{Y}(\underline{A}, \underline{B}, t_з, T) = y_T &= a_0 + \frac{a_1}{2} t + \left(b_0 + \frac{b_1}{2} t\right) \cdot 1(t - t_з) \\ &= a_0' + a_1' T + (b_0' + b_1' T) \cdot 1(t - t_з); \end{aligned} \tag{11}$$

$$\hat{y}_T = -\frac{1}{T} ln \frac{n_{0,T}}{n_{1,T}}$$

Тоді для моментів контролю $T_1, \ T_2, \ \ldots, \ T_m$ маємо набір значень

$$\underline{Y} = \{y_{T_1}, \ y_{T_2}, \ \ldots, \ y_{T_m}\}.$$

Введемо функціонал

$$J(\underline{A'}, \underline{B'}, t_з) = \sum_{j}^{m} \left[a_0' + a_1' T + (b_0' + b_1' t \cdot 1(T - t_з) - \hat{y}_{T_j}\right]^2. \tag{12}$$

У зв'язку з тим, що модель (11) лінійна за параметрами $(a_0', a_1'; \ b_0', \ b_0') = (\underline{A'}, \underline{B'})$, то фіксуючи $t_з$ та використовуючи відомі методи, наприклад МНК (Anderson, 1971)

$$\min_{\underline{A'}, \underline{B'}} J(\underline{A'}, \underline{B'}, t_з) = J(t_з) \tag{13}$$

отримаємо значення функціонала, яке відповідає вибраному $t_з$. Тобто задача оцінки параметрів (10) зведена до задачі безумовної мінімізації алгоритмічно заданої функції (13), яка може бути розв'язана стандартними методами пошуку мінімуму функції однієї змінної, що

не використовують значення довільних (наприклад, методи дихотомії, «золотого» перерізу, Фібоначчі тощо) (Anderson, 1971), (Ковтуненко, 2009).

Інший підхід, який дає найкращу точність оцінки $t_з$, полягає у використанні інтегрального МНК (Amirzadi, 2021). Для доведення цього припустимо, що відомі деякі оптимальні МНК оцінки параметрів a_0' та a_1', які задають аналітичний опис полінома, апроксимуючого поведінку $y(\underline{A}, \underline{B}, T, t_з)$ на інтервалі $[T_П - T_H]$ нормальної експлуатації виробу (рис. 1). З цією метою введемо

$$\hat{\hat{u}}_{T_k} = \hat{y}_{T_k} - \hat{a}_0' - \hat{a}_1' T_k$$

та

$$f(T) = \begin{cases} f_1(T) = \alpha_1 T + \beta_1, & T_1 \le T \le T_2, \\ f_2(T) = \alpha_2 T + \beta_2, & T_2 \le T \le T_3, \\ \dots & \dots \\ f_{m-1}(T) = \alpha_{m-1} T + \beta_{m-1}, & T_{m-1} \le T \le T_m, \end{cases}$$

де

$$\alpha_k = \frac{\hat{\hat{u}}_{T_{k+1}} - \hat{\hat{u}}_{T_k}}{T_{k+1} - T_k}; \qquad \beta_k = \frac{T_{k+1}\hat{\hat{u}}_{T_{k+1}} - T_k \hat{\hat{u}}_{T_k}}{T_{k+1} - T_k}.$$

Враховуючи тотожність

$$(b_0' + b_1' T) \cdot 1(T - t_з) \equiv b_1'(T - t_з) \cdot 1(T - t_з),$$

функціонал J можна записати у вигляді

$$J = \int_0^T [f(T) - b_1'(T - t_з) \cdot 1(T - t_з)]^2 \, dt,$$

мінімум якого відповідає найкращому змісту інтегрального МНК оцінок $\hat{b}_1'$ та $\hat{t}_з$. Відповідно до (Amirzadi, 2021), (Кобзар, 2006) величина $\hat{t}_з$ є коренем рівняння

$$\int_{t_з}^{T_m} f(T)\left(T - \frac{2T_m}{3} - \frac{t_m}{3}\right) dt = 0 \qquad (14)$$

При відомому значенні $\hat{t}_з$ величина $\hat{b}_1'$ обчислюється за формулою

$$\hat{b}_1' = \frac{2}{(T_m - t_з)} \int_{t_з}^{T_m} f(T) dt \qquad (15)$$

Для розв'язання (14) відносно $\hat{t}_з$ можуть бути використані відомі числові методи, наприклад метод половинного ділення у відповідності до квадратурних формул Сімпсона (Кобзар, 2006, Зубарев, 2005).

Висновки

Таким чином, на основі дослідження та аналізу математичних моделей оцінки і прогнозування експлуатаційних показників надійності радіоелектронного обладнання повітряних суден державної авіації України з програмно-регламентною стратегією їх експлуатації удосконалено математичну модель надійності з аргументом, що запізнюється, у частині визначення часу запізнення t_3. На відміну від існуючою моделі, процедура визначення часу запізнення моделі t_3 використовує заздалегідь задану імовірність досягнення досліджуваним виробом

граничного стану при значному поширенні кількості врахованих факторів, що визначають режими та умови експлуатації виробу, та наявності обмежень на обсяг статистичних даних.

Результати дослідження можуть бути використані в подальшій розробці методики щодо вирішення задач оцінки залишкового терміну служби (ресурсів) та продовження строків експлуатації радіоелектронного обладнання повітряних суден.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

[1] Amirzadi, A., Baloui Jamkhaneh, E., & Deiri, E. (2021). A comparison of estimation methods for reliability function of inverse generalized Weibull distribution under new loss function. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, *91*(8), 1–28.

[2] Anderson, T. W. (1971). *The statistical analysis of time series*. New York, London, Tokio: John Wiley & Sons, inc.

[3] Бурцев, В., Воронін, В., Коломійцев, О., Бурцева, В., Третяк, В., & Жирна, О. (2025). Модель прогнозування безвідмовності комплектуючих радіоелектронної апаратури озброєння та військової техніки. *Випробування та сертифікація*, (2(8)), 64–74. https://doi.org/10.37701/ts.08.2025.07.

[4] ДСТУ 2862-94. (1995). *Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності*. Київ: Держстандарт України.

[5] ДСТУ 2863-95. (1995). *Надійність техніки. Програми забезпечення надійності*. Київ: Держстандарт України.

[6] Зубарев, В. В., Ковтуненко, А. П., Ланецький, Б. Н., & Звєрєв, А. А. (2005). *Математичне моделювання в задачах дослідження надійності технічних систем. Монографія*. Київ: Книжкове видання НАУ.

[7] Зубарев, В. В., Ковтуненко, А. П., & Раскін, Л. Г. (2005). *Математичні методи оцінки і прогнозування технічних показників експлуатаційних властивостей радіоелектронних систем. Монографія*. Київ: Книжкове видання НАУ.

[8] Кобзар, І. А. (2006). *Прикладна математична статистика*. Київ: Освіта.

[9] Ковтуненко, А. П., Коростельов, О. П., Любарець, А. А., & Оністрат, О. А. (2011). Багатопараметрична поліноміальна модель інтенсивності відмов озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України*, (19), 124–129.

[10] Ковтуненко, А. П., & Зубарєв, В. В. (2009). *Основи аналізу складних технічних систем. Теорія та прикладне застосування: Монографія*. Київ: Книжкове видання НАУ.

[11] Корнелюк, В., & Гончаренко, Є. (2023). Аналіз методів оцінювання надійності радіоелектронного обладнання повітряних суден. *Труди університету: збірник наукових праць*, (1(176)), 98–107.

[12] Liu, D., & Wang, S. (2020). A degradation modeling and reliability estimation method based on Wiener process and evidential variable. *Reliability Engineering and System Safety*, *194*, 1–28.

[13] Freitas, M. A., Colosimo, E. A., dos Santos, T. R., & Pires, M. C. (2010). Reliability assessment using degradation models: bayesian and classical approaches. *Pesquisa Operacional*, *30*(1), 195–219.

[14] Haghighi, F., & Bae, S. J. (2015). Reliability estimation from linear degradation and failure time

data with competing risks under a step-stress accelerated degradation test. *IEEE Transactions on Reliability*, *64*(3), 960–971.

[15] Jun, W., Chao, D., Huan, X., & Yao, X. (2012). Equipment performance degradation modeling for reliability prediction based on n-ARIMA model. *Advanced Materials Research*, *544*, 24–31.

[16] Melnyk, V., Honcharenko, Y., & Maloied, M. (2023). Reliability Analysis of Radioelectronic Systems of Aircraft. In I. Ostroumov & M. Zaliskyi (Eds.), *Proceedings of International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development* (pp. 234–246). London: Springer.

[17] Москалець, С. В., Жирний, В. А., Кузін, С. Є., & Рудик, А. В. (2020). Оцінювання надійності військової техніки при обмеженій кількості зразків. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*, (2(4)), 75–82.

[18] Печура, Д. С., Шатров, А. М., & Ільїна, О. В. (2022). Методичний підхід щодо формування та прогнозування визначальних параметрів технічного стану керованих засобів ураження. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*, (18(25)), 98–103. https://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-15.

[19] Zaliskyi, M. (2015). Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. *Electronics and Control Systems*, (3), 18–22.

References

[1] Amirzadi, A., Baloui Jamkhaneh, E., & Deiri, E. (2021). A comparison of estimation methods for reliability function of inverse generalized Weibull distribution under new loss function. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, *91*(8), 1–28.

[2] Anderson, T. W. (1971). *The statistical analysis of time series*. New York, London, Tokio: John Wiley & Sons, inc.

[3] Burtsev, V., Voronin, V., Kolomiitsev, O., Burtseva, V., Tretjak, V., & ZHyrna, O. (2025). Model' proghnozuvannja bezvidmovnosti komplektuyuchykh radioelektronnoï aparatury ozbroyennya ta viyśkovoï tekhniky [Model for predicting the reliability of components of radio-electronic equipment of weapons and military equipment]. *Vyprobuvannja ta sertyfikatsiya*, (2(8)), 64–74. https://doi.org/10.37701/ts.08.2025.07.

[4] DSTU 2862-94. (1995). *Nadiinist' tekhniky. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti* [Reliability of technical equipment. Methods for calculating reliability indicators]. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny.

[5] DSTU 2863-95. (1995). *Nadiinist' tekhniky. Prohramy zabezpechennya nadiinosti* [Reliability of technical equipment. Reliability assurance programs]. Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny.

[6] Freitas, M. A., Colosimo, E. A., dos Santos, T. R., & Pires, M. C. (2010). Reliability assessment using degradation models: bayesian and classical approaches. *Pesquisa Operacional*, *30*(1), 195–219.

[7] Haghighi, F., & Bae, S. J. (2015). Reliability estimation from linear degradation and failure time data with competing risks under a step-stress accelerated degradation test. *IEEE Transactions on Reliability*, *64*(3), 960–971.

[8] Jun, W., Chao, D., Huan, X., & Yao, X. (2012). Equipment performance degradation modeling for reliability prediction based on n-ARIMA model. *Advanced Materials Research*, *544*, 24–31.

[9] Kobzar, I. A. (2006). *Prykladna matematychna statystyka* [Applied mathematical statistics]. Kyiv: Osvita.

[10] Korneliuk, V., & Honcharenko, Ye. (2023). Analiz metodiv otsinyuvannya nadiinosti radioelektronnoho obladnannya povitryanykh suden [Analysis of methods for

estimating the reliability of radioelectronic equipment of aircraft]. *Trudy universytetu: zbirnyk naukovykh prats'*, (1(176)), 98–107.

[11] Kovtunenko, O. P., Korostel'ov, O. P., Lyubarets', A. A., & Onistrat, O. A. (2011). Bahatoparametrychna polinomial'na model' intensyvnosti vidmov ozbroyennya ta viśkovoï tekhniky [Multiparametric polynomial model of the failure intensity of weapons and military equipment]. *Zbirnyk naukovykh prats' TSentral'noho naukovo-doslidnoho instytutu ozbroyennya ta viĭs'kovoï tekhniky Zbroĭnykh Syl Ukraïny*, (19), 124–129.

[12] Kovtunenko, A. P., & Zubarev, V. V. (2009). *Osnovy analizu skladnykh tekhnichnykh system. Teoriya ta prykladne zastosuvannya: Monohrafiya* [Fundamentals of complex technical systems analysis. Theory and applied usage: Monograph]. Kyiv: Knyzhkove vydannya NAU.

[13] Liu, D., & Wang, S. (2020). A degradation modeling and reliability estimation method based on Wiener process and evidential variable. *Reliability Engineering and System Safety*, *194*, 1–28.

[14] Melnyk, V., Honcharenko, Y., & Maloied, M. (2023). Reliability Analysis of Radioelectronic Systems of Aircraft. In I. Ostroumov & M. Zaliskyi (Eds.), *Proceedings of International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development* (pp. 234–246). London: Springer.

[15] Moskalets, S. V., ZHyrnyĭ, V. A., Kuzin, S. Ye., & Rudyk, A. V. (2020). Otsinyuvannya nadiinosti viĭs'kovoï tekhniky pry obmezHeniĭ kil'kosti zrazkiv [Assessment of reliability of military equipment with a limited number of samples]. *Zbirnyk naukovykh prats' DerzHavnogho naukovo-doslidnogho instytutu vyprobuvan' i sertyfikatsiï ozbroiennya ta viĭs'kovoï tekhniky*, (2(4)), 75–82.

[16] Pechura, D. S., Shatrov, A. M., & Il'ina, O. V. (2022). Metodychnyĭ pidkhid shchodo formuvannya ta prohnozuvannya vyznačal'nykh parametriv tekhničnogho stanu kerovanykh zasobiv uražennja [Methodical approach to the formation and forecasting of determining parameters of the technical condition of guided weapons]. *Zbirnyk naukovykh prats' DerzHavnogho naukovo-doslidnogho instytutu aviatsiï*, (18(25)), 98–103. https://doi.org/10.54858/dndia.2022-18-15.

[17] Zaliskyi, M. (2015). Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. *Electronics and Control Systems*, (3), 18–22.

[18] Zubarev, V. V., Kovtunenko, A. P., Lanets'kyĭ, B. N., & Zvyer'ev, A. A. (2005). *Matematychne modelyuvannya v zadachakh doslidzhennya nadiinosti tekhnichnykh system. Monohrafiya* [Mathematical modeling in problems of reliability research of technical systems. Monograph]. Kyiv: Knyzhkove vydannya NAU.

[19] Zubarev, V. V., Kovtunenko, A. P., & Raskin, L. H. (2005). *Matematychni metody otsinky i prohnozuvannya tekhnichnykh pokaznykiv ekspluatatsiynykh vlastyvostey radioelektronnykh system. Monohrafiya* [Mathematical methods for assessing and forecasting technical indicators of operational properties of radio-electronic systems. Monograph]. Kyiv: Knyzhkove vydannya NAU.

Activities of Self-Governing Organizations of Legal Professions of Public Trust in Poland

Діяльність органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою в Польщі

Monika Kępa
Doctor of Laws, Assistant Professor, e-mail: monika.kepa@mail.umcs.pl, ORCID ID: 0000-0001-9377-5160
Maria Curie-Skłodowska University in Lublin, Poland

Моніка Кемпа
доктор юридичних наук, доцент, e-mail: monika.kepa@mail.umcs.pl, ORCID ID: 0000-0001-9377-5160
Університет Марії Кюрі-Склодовської в Любліні, Польща

Received: August 29, 2025 | Revised: September 09, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.19

Purpose. To determine the scope of operation of self-governing organizations of legal professions of public trust in Poland (of advocates, attorneys-at-law, notaries, court enforcement officers). The constitutional position and functions of these self-governing organizations will be presented, as well as the implementation of the principle of decentralisation through the transfer of public tasks to be carried out. For the activities of entities, including self-governing ones, it is necessary to have organisational structures consisting of organisational units with legal personality and their governing bodies.

Method. The formal-dogmatic method, legal-theoretical method and, on an auxiliary basis, the intra-systemic comparative method.

Findings. The analysis points to the relationship between constitutionally defined functions of self-governing organizations of legal professions of public trust and the responsibilities entrusted to individual organizations. The functions of organizations of this type are the same, but the tasks and organisational structures of individual organizations are not fully identical, which stems from the historical process of formation of self-governing entities, corresponding to their essence.

Theoretical implications: The study is focused on the analysis of normative regulations on the activities of self-governing organizations of legal professions of public trust, which constitute a normative concept. An important conceptual category in the context of this study is the public interest and its protection as a legal-theoretical construct that determines the activities of self-governing organizations of professions of public trust.

Practical implications. The analysis points to the practical nature of the tasks, including those of public importance, performed by self-governing organizations of legal professions of public trust and their significance for the members of each of the organizations under consideration and individuals for whom professional activities are performed, but also society as a whole and the functioning of the state.

Type of article: descriptive and analytical.

Key words: self-governing organizations of professions of public trust, advocate, attorney-at-law, notary, court enforcement officer.

Мета дослідження. Визначення повноважень органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою в Польщі (адвокатів, правових радників, нотаріусів, судових виконавців). Будуть висвітлені конституційне становище та функції цих органів, а також реалізація принципу децентралізації шляхом передачі їм повноважень з виконання завдань публічного характеру. Функціонування суб'єктів, у тому числі самоврядних, потребує наявності організаційних структур, що охоплюють організаційні одиниці з правосуб'єктністю юридичної особи та їхні органи.

Метод дослідження. Формально-догматичний, теоретично-правовий, внутрішньо системний допоміжно-порівняльний.

Результати дослідження. Проведений аналіз показує зв'язки між конституційно визначеними функціями органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою, та завданнями, покладеними на окремі органи самоврядування. Функції таких органів самоврядування є однаковими, але завдання та організаційна структура окремих органів не є повністю ідентичними, що є наслідком процесу формування самоврядних суб'єктів, що відповідає їхній сутності.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження зосереджене на аналізі нормативних регуляцій, які визначають порядок діяльності органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою, що виступають як нормативне поняття в юридичній системі. У контексті проведеного аналізу особливе значення має категорія публічного інтересу та його захисту, яка виступає як теоретико-правова конструкція, що слугує визначальним критерієм діяльності органів професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою.

Практична цінність дослідження. Проведений аналіз вказує на практичний характер завдань, що реалізуються органами професійного самоврядування юридичних професій, які користуються суспільною довірою, та їх значення для членів кожного з досліджуваних органів самоврядування, окремих осіб, на користь яких здійснюється професійна діяльність, а також для суспільства та функціонування держави в цілому.

Тип статті. Описова та аналітична.

Ключові слова: органи самоврядування професій, які користуються суспільною довірою, адвокат, правовий радник, нотаріус, судовий виконавець.

Introduction

Self-governments, including non-territorial ones, play a systemic role, constituting an important legal institutions and are one of the foundations of the state system, while the activity of self-governing associations of professions of public trust constitutes an important element of democratic states ruled by law, one of which is the Republic of Poland (Article 17 (1) of the Constitution of the Republic of Poland of 2 April 1997, Journal of Laws No. 78, item 483, as amended, judgment of the Constitutional Tribunal of 23 April 2008, file no. SK 16/07, OTK-A 2008, No. 3, item 45). Through the establishment of professional self-governments, the state entrusts specific groups with the implementation of specific public tasks, which constitutes their decentralisation; and in order to allow them perform delegated tasks, local governments are equipped with appropriate competences consisting of powers and duties assigned to normatively regulated organisational structures (judgment of the Constitutional Tribunal of 7 March 2012, file no. K 3/10, OTK- A 2012, No. 3, item 25). The autonomy and activity of professional self-governments is a factor affecting the guarantee of independence in the performance of professional activities of their members.

Among professional self-governments, due to the nature of the activities performed by the individuals affiliated with them, an important category is the group of self-governing organizations of legal professions of public trust. Self-governments of legal professions of public trust should be regarded as those professional associations that play roles provided for by the Constitution and bring together practitioners of professions that have the status of public trust professions, for the practice of which the completion of higher legal education is a necessary, albeit not sufficient, condition.

Methodology

The article employs classic methods developed in legal sciences. The primary method is the formal-dogmatic method, which operates with the rules of linguistic interpretation, but also with the rules of teleological and systemic interpretation. The analysis covers constitutional and statutory regulations governing the positions and tasks of legal professional associations bringing together persons performing professions of public trust. This made it possible to link the constitutional functions of such self-governing organizations with the tasks entrusted to them by law, including those of a public nature. On an auxiliary basis, an analysis of judicial decisions concerning professional self-governments was carried out, in particular the case law of the Polish Constitutional Tribunal.

As a supplementary measure, the legal-theoretical method was used, e.g. for the position of the analysed form of functional self-governments – professional self-governments bringing together people with legal education who perform professional activities of particular importance for the recipients of these activities, but in a broader sense also for the proper functioning of the state. Moreover, the intra-systemic comparative method was used in the research on an auxiliary basis. This applies to listing the scope of tasks performed by individual self-governing organizations of legal professions of public trust and their organisational structures.

As regards the subject-matter of analysis, the literature lacks any study that would directly address this issue in a comprehensive manner. The foregoing question, together with the recognition of the topicality and relevance of the subject-matter, justifies undertaking the research. The legal scholarly literature used herein generally concerns the status of individual legal professions of public trust and the position of associations of professions of public trust in the systemic area and in terms of the tasks entrusted to them. The prevailing forms include excerpts from larger studies, commentaries on legal acts that govern the functioning and structure of individual self-governing organizations and scientific papers.

Results and Discussion

I. Self-governing organizations of legal professions of public trust

When discussing the activities of self-governing organizations of legal professions of public trust, it is appropriate to first describe this category (Smarż, 2025). It is necessary to make exclusions from the circle of legal professional self-governments bringing together practitioners of public trust professions. The exclusions from this category are heading towards two directions.

A. There are professions that have the status of public trust professions for which the legislature has established professional self-governments, and representatives of which carry out certain activities that are essential for their clients and, in a broader sense, for the correct functioning of the state, but cannot be classified as legal professions.

The profession of a statutory auditor consists of performing financial audits, providing attestation services other than financial audits, not reserved for statutory auditors, and providing related services in accordance with national professional standards (Article 3 (1) of the Act of 11 May 2017 on statutory auditors, audit firms and public supervision, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 1035). Regardless of other statutory requirements, a holder of a diploma of completion of studies in the Republic of Poland or a diploma of completion of studies issued in another country, recognised in the Republic of Poland as equivalent to a diploma obtained in the Republic of Poland, and who is fluent in spoken and written Polish (Article 4 2 point 4 of the Act of 11 May 2017 on statutory auditors, audit firms and public supervision).

Tax advisory activities include providing taxpayers, tax remitters and tax collectors, at their request or on their behalf, with consultancy, opinions and explanations on the scope of their tax and customs obligations and in matters of administrative enforcement related to these obligations; keeping, on behalf of and for the benefit of these entities, accounting books, tax books and other records for tax purposes and providing them with assistance in this regard, preparing, on their behalf and for their benefit, statements and declarations or providing them with assistance in this regard, as well as representing them in proceedings before public administration authorities and in the judicial review of decisions, orders and other administrative acts in tax matters (Article 2 (1) of the Act of 5 of July 1996 on tax advisory, consolidated text Journal of Laws of 2021, item 2117). A natural person is registered with the list of tax advisors if they meet all the conditions specified in the Act, including higher education (Article 6 (1) of the Tax Advisory Act, Münnich, 2022).

The profession of patent attorney involves providing assistance in industrial property matters (Article 4 (1) of the Act of 11 April 2001 on patent attorneys, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 749). A patent attorney provides legal and technical assistance; the legal assistance involves essentially providing legal advice and consultations, preparing legal opinions, examining the legal status of industrial property objects, legal and litigation representation, while technical assistance consists in particular in developing technical descriptions of applications for the protection of objects of creative activity intended for industrial use, examining the scope of their protection, conducting searches concerning the state of the art (Article 8 (1) to (3) of the Act on patent attorneys). A person may be entered on the list of patent attorneys who, among other requirements, has completed a master's degree in a field useful for practicing the profession of a patent attorney, in particular technical or legal studies (Article 1919 point 4 of the Act on patent attorneys).

Probation officers perform statutorily defined tasks of an educational, rehabilitative, diagnostic, preventive and supervisory nature, related to the enforcement of court rulings (Article (1) of the Act of 27 of July 2001 on probation officers, consolidated text Journal of Laws of 2023, item 1095, Stróżewski, 2019). A professional probation officer may be appointed a person who holds a master's degree obtained after completing studies in psychology or law or in a field related to education in psychology, pedagogy, sociology or law, or a master's degree, master's degree in engineering or equivalent obtained after completing studies in another field and has completed

postgraduate studies in psychology, pedagogy, sociology or law (Article 5 (1) point 4 of the Act on probation officers).

The above-mentioned professions can therefore be practiced by people who have graduated from higher education institutions, including, but not necessarily legal studies. For all these professions, the law also lays down other prerequisites concerning e.g. citizenship, full capacity to perform acts in law, impeccable character and attested qualifications and skills to practice the profession concerned.

B. On the other hand, professions that are undoubtedly legal professions, such as judges and public prosecutors, are a different category. In order to practice the above professions, apart from meeting other high formal and substantive requirements, it is necessary to complete legal studies.

Pursuant to the Constitution of the Republic of Poland, justice is administered in the Republic of Poland by the Supreme Court, common courts, administrative courts and military courts, while the Law on the system on common courts provides that judges perform tasks in the field of justice, and thus adjudicate i.e. settle legal disputes in matters falling within the jurisdiction of courts (Article 175 (1) of the Constitution of the Republic of Poland and Article 2 §1 of the Act of 27 July 2001 Law on the system of common courts, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 334). **A judge (of a district court) may be appointed those who** have completed higher law studies in the Republic of Poland or obtained a foreign master's degree in law, recognised in the Republic of Poland, and also has fulfilled further statutory conditions (Article 61 §1 point 3 of the Law on the system of common courts).

The Public Prosecutor's Office performs its tasks in the field of prosecution of crimes and guards the rule of law, while within its units, prosecutors perform their duties in this area by, among other things, conducting or supervising pre-trial proceedings in criminal matters and acting as a public accuser before courts (Article 2 in conjunction with Article 3 §1 of the Act of 28 January 2016 Law on public prosecutors, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 390). A person who has completed legal studies in Poland and obtained a master's degree or who completed legal studies abroad, recognised in Poland, and meets other statutory requirements may be appointed as a public prosecutor (Article 75 §1 of the Law on public prosecutors).

The practicing of the above professions are associated with public trust, and the relevant laws provide for the establishment of self-governments for those exercising these (Jamróz, 2021). According to the Law on the system of common courts, judges form the self-government of judges, while the Law on prosecutors provides for the establishment of a self-government of prosecutors (Article 3 §1 of the Law on the system of common courts and Article 44 et seq. of the Law on prosecutors). At the same time, they cannot be considered self-governing organizations of professions of public trust within the meaning of the Constitution of the Republic of Poland, to which tasks constituting constitutional functions of this type of self-governments have been delegated, including especially in the scope of exercising care over the proper practice of these professions (Godlewska- Michalak, 2013, and Sarnecki, 2002).

The following should be considered as legal professions of public trust, for which the Constitution of the Republic of Poland provides for the establishment of professional self-governments of a special type: the bar association of advocates, the bar association of attorneys-at-law, the self-government of notaries and the self-government of court enforcement officers. In order to practice these professions it is required, among other conditions, to complete higher legal studies in the Republic of Poland and obtain a master's degree or to complete foreign legal studies recognised in the Republic of Poland (Article 65 point 3 of the Act of 26 May 1982 Law on advocates, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 1564, Article 24 (1) point 1 of the Act of 6 July 1982 on attorneys-at-law, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 499, Article 11 point 3 of the Act of 14 February 1991 Law on notaries, consolidated text Journal of Laws of 2024, item (1001) and

Article 11(1) point 6 of the Act of 22 March 2018 on court enforcement officers, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 1458).

II. Position and constitutional functions of self-governing organizations of legal professions of public trust in Poland

Pursuant to the Constitution of the Republic of Poland, self-governments may be statutorily established for a profession in which the public repose confidence (Article 17 (1) of the Constitution of the Republic of Poland, and Granat, 2004). It is worth noting the elevated constitutional status of such self-governing bodies, which determines their systemic nature. The Constitution of the Republic of Poland points out two functions of professional self-governing organizations of professions of public trust: representing people who practise a given profession of public trust and taking care of the proper practice of that profession within the limits of the public interest and for its protection (Article 17 (1) of the Constitution of the Republic of Poland and Sypniewski, 2013).

The function of representation by the self-government of associated practitioners of a profession of public trust is directed mainly to the outside, as it concerns the relations of the self-government with entities located outside its structure (Judgment of the Constitutional Tribunal of 22 May 2001, file no. K 37/00, OTK 2001, vol. 4, item 86). Representation is understood here in the broad sense as the entirety of activities undertaken by the self-government, which involves external action, including towards state bodies, local government and other self-governments or entities. The establishment and activity of professional self-governments means the existence of a quasi-link between the public administration and practitioners of individual professions associated in the self-government. Representation may concern both the interest of an individual person – a member of the self-government who practices a given profession, as well as a group of these people bound by a community of collective professional interests resulting from a group bond concentrated in the self-government (Szydło, 2016). Representation in this meaning includes e.g.: formulating by professional self-governments towards other entities specific interests or expectations of practitioners of a given profession, settling on behalf of or for the benefit of these persons matters important to them, striving to protect these persons' interests, acting as a recipient of complaints or demands. In performing the above function, the self-government acts as the advocate and representative of the interests of the self-government community in question, acting on its behalf and for its benefit (Borowicz, 2012).

It can be assumed that the implementation of this function will take a similar form regardless of the specific nature of the professional activities typical for a given profession. At the same time, it is not ruled out that the governing bodies of individual self-governments may represent their members only in areas relevant to their specific self-government due to the nature of professional activities.

The function of caring of the proper practice of the profession concerns the relationship between the self-government and its members, thus primarily its internal relations. In general terms, the care of the practice of the profession can be understood as activities aimed at ensuring high quality and culture in the practice of a given profession, as well as an appropriate level of ethics among the members of the self-government (Tabernacka, 2007).

This care cannot be equated only with auditing or supervision over the exercise of the profession as it is a broader concept. Care undoubtedly include activities of an auditing nature, but not only them, including also preventive activities that are to prevent inappropriate forms of professional activity also before their possible occurrence (Szydło, 2002). Care includes, on the one hand, enforcing liability for improper practice of the profession, but on the other hand, providing support and assistance to members of the self-government in the performance of their duties (Judgment of the Constitutional Tribunal of 14 December 2010, file no. K 20/08, OTK-A 2010, vol. 10, item 129). When determining the objective scope of the exercise of care over the proper practice of the profession by individual professional self-governments, it should be pointed out that it is the legislature's decision that determines the detailed definition of the tasks of the self-government

falling within the concept of care over the proper practice of the profession. The tasks constituting the exercise of care include, in particular, regulation of access to the profession by granting authorisations to practise it, shaping deontological and other rules concerning the practice of the profession by issuing normative acts applicable to members of the self-government, conducting inspections or holding disciplinary liability (Judgment of the Constitutional Tribunal of 19 April 2006, file no. K 6/06, OTK-A 2006, Issue 4, item 45). K 6/06, OTK-A 2006, vol. 4, item 45).

The fulfilment of these constitutional functions forms the rationale behind the statutory establishment of professional self-governments for specific professions that have this special attribute. The public interest and its protection are fundamental determinants of the activities of self-governments of professions of public trust. Under the current systemic conditions, both functions are considered equally important, and in a democratic and pluralistic society, there is no reason to give priority to either of them (Tkaczyk, 2011). The directionally determined constitutional functions are fulfilled through decentralisation – the statutory entrusting of tasks to individual self-governing organizations, including tasks of public importance related to the exercise of public authority. Decentralisation is linked to the idea of self-governance and is close to the essence of democracy as indicated in the Polish Constitution, being its logical consequence and practical implementation (Article 2, Article (4) and Article 15 of the Constitution of the Republic of Poland, and Kępa, 2021).

III. Activities of the self-government of advocates

The profession of advocate (Polish: *adwokat*, sometimes translated also as attorney, lawyer or attorney-at-law) consists of providing legal assistance, particularly in legal advice, drafting legal opinions, preparing draft legal acts, and appearing before courts and public authorities (Article 4 (1) of the Law on advocates). The aforementioned activities are not exhaustively listed in the Law on advocates but merely represent an open list of the activities most commonly encountered in practice.

In accordance with the Act governing the rules of practising the profession of advocate and the activities of their self-governing organization, the bar association of advocates is organised as a professional self-government and consists of all advocates and trainee advocates (Article 1 2 in conjunction with Article (2) of the Law on advocates). Within the structure of this self-government, legal personality is only attributed to the Supreme Bar Council and regional bar associations as units of self-government (Article (10) of the Law on advocates). The governing bodies of the bar association of advocates are: the National Assembly of the Bar Association, the Polish Bar Council, the Higher Disciplinary Court, the Advocates' Disciplinary Officer and the Higher Audit Committee (Article 9 (1) of the Law on advocates). On the other hand, the governing bodies of district bar associations are: the assembly consisting of practising advocates and representatives of other advocates, the District Bar Council, the Disciplinary Court, the Disciplinary Officer and the Audit Committee (Article (39) of the Law on advocates). The bodies of the national bar association and the bodies of district bar associations constitute the complete structure of the professional self-government of advocates (Trela, 2016).

The statutory tasks of the professional self-government of advocates include:

1) providing conditions for the performance of statutory tasks of the Bar;
2) representing the Bar and protecting its rights;
3) supervising compliance with the regulations on the practice of the profession of advocate;
4) professional development of advocates and training of trainee advocates;
5) determination and promoting the principles of professional ethics and ensuring their compliance;
6) cooperating with local government units in ensuring the provision of legal aid as referred to in the Act on free legal assistance, free civic counseling and legal education (Act of 5 August 2015 on free legal assistance, free civic counseling and legal education, consolidated text Journal of Laws of 2024, item 1534);

7) managing and disposing of the assets of the bar association of advocates (Article 3 (1) of the Law on advocates).

It is pointed out in the literature that the statutory catalogue of tasks of the bar association of advocates is of a closed nature (Eysymontt and Piesiewicz, 2023, and Świstak, 2018). The tasks of the bar association in the aforementioned provision have been defined in general terms, are complex in nature and constitute the scope of activity of this self-government. Their implementation takes place through the specific competences of the relevant bodies. Tasks that are not of a sovereign nature, particularly in the area of representation, may be carried out in a variety of ways, including informal ones.

IV. Activities of the self-government of attorneys-at-law

Practicing the profession of attorney-at-law (Polish: *radca prawny*, sometimes translated also as legal adviser or legal counsel) involves providing legal assistance, which includes in particular providing legal advice and consultancy, drafting legal opinions, drafting legal acts and appearing before public offices and courts as a representative or defence counsel (Article 4 in conjunction with Article 6 (1) of the Act on attorneys-at-law). As in the case of the professional activities of advocates, the listing of the areas which constitute the provision of legal assistance by attorneys-at-law is not a closed one, but contains the most typical activities. In the current legal situation, the scope of professional activities of advocates and attorneys-at-law should be considered the same.

The Act on attorneys-at-law stipulates that attorneys-at-law are organised according to the rules of professional self-government, and the affiliation of attorneys-at-law and trainee attorneys-at-law and legal trainees to the bar of attorneys-at-law is mandatory (Article 5 (1) and Article 40 (2) of the Act on attorneys-at-law). The organisational units of the self-government with legal personality include district bar associations of attorneys-at-law and the National Bar Association of Attorneys-at-Law (Article 5 (2) of the Act on attorneys-at-law). At the national level, the following are the governing bodies of the self government of attorneys-at-law: the National Assembly of Attorneys-at-Law, the National Bar Council of Attorneys-at-Law, the Higher Audit Committee, the Higher Disciplinary Court, the Chief Disciplinary Officer, and at the regional level: the assembly of the district bar association of attorneys-at-law, the district bar council of attorneys-at-law, the district audit committee, the district disciplinary court and disciplinary officer (Article 42 (1) of the Act on attorneys-at-law).

The Act on attorneys-at-law defines the tasks of the self-government of attorneys-at-law, pointing out in particular the following tasks:

1) participating in ensuring the conditions for the performance of the statutory tasks of attorneys-at-law;

2) representing members of the self-government and protecting their professional interests;

3) cooperating in the development and application of law;

4) preparing trainee attorneys-at-law for the proper practice of the profession of attorney-at-law and improving the professional skills of attorneys-at-law;

5) supervising the proper practice of the profession by attorneys-at-law and trainee attorneys-at-law;

6) cooperating with local government units in ensuring the provision of legal aid (Act of 5 August 2015 on free legal assistance, free civic counselling and legal education);

7) conducting research on the functioning of legal aid (Article 41 of the Act on attorneys-at-law, Patyra, 2022).

These tasks are considered public tasks (Judgment of the Regional Administrative Court in Warsaw of 3 June 2015, file no. II SAB/Wa 573/15, LEX no. 1819283). It is assumed that this list is not exhaustive, as indicated by the wording of the provision which states that the tasks of local government “include in particular”, followed by the aforementioned list. This is also in line with the essence of self-governance, which is based on autonomy. The self-government is statutorily

independent in performing its tasks and is subject only to the provisions of law (Article 40 (1) of the Act on attorneys-at-law).

V. Activities of the self-government of notaries

A notary is appointed to perform acts with regard to which the parties are obliged to give or wish to give a notarial form; notarial acts performed by a notary in accordance with the law have the character of an official document, which means that notarial documents are attributed the value of public faith by virtue of law (Article 1 §1 and Article 2 § 2 of the Law on notaries, and Oleszko, 2016). The scope of notarial activities includes e.g. drawing up notarial deeds, certified copies of documents, accepting documents for safekeeping, drawing up drafts of deeds, drafting protests for bills of exchange and cheques, receiving statements of acceptance or rejection of inheritance (Article 79 of the Law on notaries).

Notaries form the self-government of notaries (Article 26 §1 of the Law on notaries). The self-government of notaries includes chambers of notaries and the Polish National Council of Notaries, which have legal personality (Article 26 § 2 and § 3 of the Law on notaries). The governing bodies of the chamber of notaries are the general assembly of notaries of the chamber and the council of the chamber of notaries (Article 27 of the Law on notaries). The organizational structure of this self-government corresponds to the needs of the functioning of the state and the notariat (Oleszko, 2016).

The Law on notaries does not specify in one provision the tasks of the self-government of notaries. However, this does not mean that it does not regulate them, as these tasks can be inferred from many provisions of this law, and they are defined in various ways, especially as to the degree of their specificity. In order to determine them, it may be helpful to refer, on an auxiliary basis, to the tasks of other self-governing organizations of legal professions of public trust. Especially the following should be considered to be the tasks of the self-government of notaries:

1. representation of the notaries,
2. supervision over the performance of notaries' duties,
3. training of trainee notaries,
4. expressing opinions on the principles of professional ethics of notaries,
5. cooperation with organizations of notaries of other countries (Article 35 point 2 and point 3, Article 38, Article 40 §1 point 2, point 3, point 4 and point 7, Article 44 of the Law on notaries).

The self-government of notaries performs tasks as an exercise of the statutory competences granted under laws and within the limits of regulations generally applicable in the Republic of Poland (Judgment of the Supreme Court of 26 February 2004, file no. III SZ 2/03, OSNP 2004, no. 22, item 395). Their scope and nature come from the characteristic, complex status of notaries who are persons of public trust linked with the administration of justice. The above translates into the scope of tasks of this self-government, which are primarily public tasks (Greguła, 2014, and Oleszko, 2016).

VI. Activities of the self-government of court enforcement officers

The court enforcement officer is a public authority in performing activities during enforcement proceedings and proceedings to secure claims (Article 3 (1) of the Act on court enforcement officers). They carry out, among other things, the enforcement of judicial decisions in cases concerning pecuniary and non-pecuniary claims, securing claims and the enforcement of other enforceable titles and writs of execution which are enforceable by way of judicial enforcement without providing them with an enforcement clause (Article 3 (3) of the Act on court enforcement officers).

Court enforcement officers and assistant court enforcement officers form the self-government of court enforcement officers (Article 195 (1) of the Act on court enforcement officers). The National Council of Court Enforcement Officers and chambers of court enforcement officers have legal personality (Article 196 (3) of the Act on court enforcement officers). The governing bodies of the self-government of court enforcement officers are: the National Council of Court Enforcement Officers, the National Audit Committee and chambers of court enforcement officers,

while the bodies of the chamber of court enforcement officers are: the general meeting of the chamber of court enforcement officers, the council of the chamber of court enforcement officers and the audit committee (Article 196 (1) and Article (206) of the Act on court enforcement officers). The literature indicates that in this case, the legislature does not properly differentiate between organisational units and the governing bodies that operate within them (Rączka, 2020).

The tasks of the self-government of court enforcement officers include in particular:

1) supporting administrative supervision authorities in the area of care over diligent performance of duties by court enforcement officers and proper performance of duties by assistant court enforcement officers and trainee court enforcement officers;
2) participation in providing conditions for the performance of the statutory tasks of court enforcement officers;
3) representation of court enforcement officers and assistant court enforcement officers;
4) professional development of court enforcement officers and assistant court enforcement officers and participation in the training of trainee court enforcement officers;
5) determination and promoting the principles of professional ethics and ensuring their compliance;
6) conducting research on the functioning of court enforcement (Article 195 (2) of the Act on court enforcement officers).

This list of tasks is open. It is assumed that the specification by the legislature of examples of the tasks entails the need to determine the scope of operation of this self-government based on an analysis of regulations defining the competences of self-government bodies (Rączka and Kosiński, 2022).

Conclusion

The institution of self-government, including in the form of professional self-governments, constitutes an intermediary element between the state and citizens, being placed closer to the individuals on behalf of whom it acts and for whom it works. This is related to the implementation of specific tasks, including those of public significance, important both for the members and for the functioning of the state. The activities of self-governing organizations of legal professions of public trust is an embodiment of the constitutional principle of decentralisation of public authority through the statutory delegation of public tasks, combined with granting autonomy in the performance of these tasks. The element of public interest in the construct of public tasks of self-governments of professions of public trust implies a legal obligation to implement them (Article 15 (1) of the Constitution of the Republic of Poland, Tabernacka, 2007).

Based on constitutional regulations, there is no doubt that the functions entrusted to self-governments of professions of public trust are identical. However, the tasks of individual self-governing organizations of this type are partly similar, and even identical, which results from the nature of the professional activities performed by the persons associated in them; this applies in particular to the professions of advocate and attorney-at-law. However, there are also notable differences in this regard. These result primarily from differences in the professional activities performed, the development of individual professions and their associations over the years, and the self-governing nature of the organisations themselves and the resulting independence.

Due to the essence of self-governance, which consists of autonomy, as well as the fact that units of individual self-governments have legal personality combined with legal capacity and capacity to perform acts in law, it is possible for professional governments to perform the tasks entrusted to them (Mrożek, 2019). The organisational structures of self-governments of professions of public trust are not completely the same, and in relation to some of them, the legislature has applied not quite consistent and coherent constructions in which the given entity is both a legal person and a governing body of the particular self-government (Bereza, 2022). This is due to historical and evolutionary conditions concerning these self-governments, and the literature on the

subject indicates that the legal nature of governing bodies of self-government is not homogeneous, proposing amendment to relevant regulations (Rączka, 2020). The organisational structure of the bar association of attorneys-at-law should be considered an example of coherence. At the same time, for all the analysed local governments a two-tier structure of these self-governments has been defined. Specific competences that make up the fulfilment of statutory tasks have been assigned to the various governing bodies of competent professional self-governments. A noticeable significant difference is the statutorily governed membership of trainee advocates and trainee attorneys-at-law in the relevant self-government, and the failure to include trainee notaries and trainee court enforcement officers in the self-governments of notaries and court enforcement officers respectively. This is considered to be justified by the nature of the professional activities and the position of the persons practicing these professions.

It should be noted that the Minister of Justice supervises the activities of these self-governing organizations within the scope and forms specified in the law, which in relation to the self-government of court enforcement officers is defined as supervision by a superior authority (Article 3 (2) of the Law on advocates, Article 5 (3) of the Act on attorneys-at-law, Article 42 § 1 of the Law on notaries, Article 214 (1) of the Act on court enforcement officers). This is justified by the nature of the professional activities performed by the members of individual self-governments and the tasks delegated to the local governments through centralisation. For the Minister of Justice to perform supervisory activities, a clear normative basis is necessary and the catalogue of supervisory powers is close-ended. Supervision does not imply the existence of a hierarchical relationship of subordination of the supervised entity to this single-person public administration body. The competences in this area cannot be interpreted broadly, as this could lead to a violation of the principle of decentralisation and the systemic position of self-governing organizations of professions of public trust.

Funding

This study received no specific financial support.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

Bereza, A. (2022). Incompatibility of functions and mandates in governing bodies of legal professional self-government organizations. *Studia Iuridica Lublinensia, 31*(2), 257–283. https://doi.org/10.17951/sil.2022.31.2.257-283

Borowicz, J. (2012). Corporate representation of the rights and interests of professionals in liberal professions. *Labour and Social Security, 6*, 23–30.

Eysymontt, M., & Piesiewicz, P. F. (2023). Commentary on the Law on the Bar. In P. F. Piesiewicz (Ed.), *Law on Advocacy. Commentary* (pp. xx–xx). Warsaw: Wolters Kluwer.

Godlewska-Michalak, B. (2013). The judiciary's self-government after amendments to the Law on the Common Courts System. *National Council of the Judiciary. Quarterly, 1*(18), 6–8.

Granat, M. (2004). Remarks on the status of professional self-governments representing professions of public trust. *Gdańskie Studia Prawnicze, 12*, 95–102.

Greguła, J. (2014). Notarial self-government as an institution acting on behalf of the state. In *Professional Self-Government in a Democratic State* (pp. xx–xx). Warsaw: Senate Publishing Office.

Jamróz, L. (2021). A few remarks on the statutory marginalisation of the judicial self-government. *Przegląd Prawa Konstytucyjnego, 5*(63), 359–370. https://doi.org/10.15804/ppk.2021.05.28

Kępa, M. (2021). Essence of self-governance illustrated with an example of the professional self-government body of legal counsels in Poland. *Lex Localis – Journal of Local Self-Government, 19*(4), 915–916. https://doi.org/10.4335/19.3.893-919(2021)

Mrożek, J. (2019). Professional self-government and the concept of public administration. *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny, 81*(2), 127–140. https://doi.org/10.14746/rpeis.2019.81.2.10

Münnich, M. (2022). The tax advisor as a profession of public trust. *Acta Iuris Stetinensis, 40*(4), 101–112. https://doi.org/10.18276/ais.2022.40-07

Oleszko, A. (2016). *System and tasks of the notarial self-government*. Warsaw: National Notarial Council.

Patyra, S. (2022). Tasks of the legal counsellors' self-government under Article 17(1) of the Constitution of the Republic of Poland. *Radca Prawny: Zeszyty Naukowe, 31*(2), 47–61. https://doi.org/10.4467/23921943RP.22.016.16879

Rączka, P. (2020). Self-government of court bailiffs under the Bailiffs Act of March 22, 2018. In P. Rączka & K. Rokicka-Murszewska (Eds.), *Perspectives of the development of legal self-governments* (pp. xx–xx). Toruń: Nicolaus Copernicus University Press.

Rączka, P., & Kosiński, K. (2022). Functions and tasks of the professional self-government of court bailiffs. *Public Law Studies, 39*(3), 83–102. https://doi.org/10.14746/spp.2022.3.39.4

Sarnecki, P. (2002). Gloss to the judgment of the Supreme Court of 29.05.2001 (I CKN 1217/98). *Palestra, 46*(5–6), 185–188.

Smarż, J. (2025). Self-governments of professions of public trust vs. professional organisations. *Studia Prawnoustrojowe, 68*, 423–434. https://doi.org/10.31648/sp.11105

Stróżewski, B. (2019). Institution of a court probation officer in the Polish administration of justice. *Journal of Modern Science, 41*(2), 249–272. https://doi.org/10.13166/jms/110497

Sypniewski, D. (2013). Performance of public tasks by professional self-government and civilizational transformations. In J. Zimmermann & P. J. Suwaj (Eds.), *Impact of civilizational changes on administrative law and public administration* (pp. xx–xx). Warsaw: Wolters Kluwer.

Szydło, M. (2002). Acquisition of rights to practice liberal professions. *State and Law, 7*, 51–62.

Szydło, M. (2016). Constitution of the Republic of Poland. In M. Safjan & L. Bosek (Eds.), *Commentary on the Constitution of the Republic of Poland, Vol. I* (pp. xx–xx). Warsaw: C.H. Beck.

Świstak, M. (2018). Legal nature of resolutions of the self-government bodies of legal advisers in Poland. *Lublin: Maria Curie-Skłodowska University Press.*

Tabernacka, M. (2007). Scope of performance of public tasks by bodies of professional self-governments. *Wrocław: Kolonia Limited.*

Tkaczyk, E. (2011). Professional self-government in the light of the Constitution of the Republic of Poland. *Parliamentary Review, 107*(6), 61–78.

Trela, J. (2016). Commentary on the Law on the Bar. In P. Kruszyński (Ed.), *Law on the Bar. Commentary* (pp. xx–xx). Warsaw: Wolters Kluwer.

Список використаних джерел

Bereza, A. (2022). Incompatibility of Functions and Mandates in Governing Bodies of Legal Professional Self-Government Organizations. *Studia Iuridica Lublinensia* no. 2 (31), 257-283, https://doi.org/10.17951/sil.2022.31.2.257-283.

Borowicz, J. (2012). Korporacyjna reprezentacja praw i interesów pracowników wykonujących wolne zawody. *Praca i Zabezpieczenie Społeczne* no. 6, 23-30.

Eysymontt, M., Piesiewicz, P.F. (2023). w: Piesiewicz, P.F. (ed.), Prawo o adwokaturze. Komentarz, Warszawa: Wolters Kluwer.

Godlewska-Michalak, B. (2013). Samorząd sędziowski po zmianie ustawy - Prawo o ustroju sądów powszechnych nowelą z 18.08.2011 r. *Krajowa Rada Sądownictwa. Kwartalnik* no. 1 (18), 6-8.

Granat, M. (2004). Uwagi o statusie samorządów zawodowych- reprezentantów osób wykonujących zawody zaufania publicznego. *Gdańskie Studia Prawnicze,* vol. XII, 95-102

Greguła, J. (2014). Samorząd notarialny jako istotny element instytucji działającej w imieniu i na rzecz państwa, w: Samorząd zawodowy w demokratycznym państwie prawa, Warszawa: Kancelaria Senatu.

Jamróz, L. (2021). Kilka uwag o ustawowej marginalizacji samorządu sędziowskiego w kontekście jego istoty (na przykładzie sądów powszechnych). *Przegląd Prawa Konstytucyjnego* no. 5 (63), 359-370, https://doi.org/10.15804/ppk.2021.05.28.

Kępa, M. (2021). Essence of Self-governance Illustrated with an Example of the Professional Self-government Body of Legal Counsels (in Poland). *Lex Localis - Journal of Local Self-Government*, vol. 19, No. 4, 915- 916, https://doi.org/10.4335/19.3.893-919(2021).

Mrożek, J. (2019). Samorząd zawodowy a pojęcie administracji publicznej. *Ruch Prawniczy, Ekonomiczny i Socjologiczny* no. 2 (81), 127-140, https://doi.org/10.14746/rpeis.2019.81.2.10.

Münnich, M. (2022). Doradca podatkowy jako zawód zaufania publicznego. *Acta Iuris Stetinensis* no. 4 (40), 101-112, https://doi.org/10.18276/ais.2022.40-07.

Oleszko, A. (2016). Ustrój i zadania samorządu notarialnego, Warszawa: Krajowa Rada Notarialna.

Patyra, S. (2022). Zadania samorządu radców prawnych w świetle art. 17 1 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej, *Radca Prawny. Zeszyty Naukowe* no. 2 (31), 47-61, https://doi.org/10.4467/23921943RP.22.016.16879.

Rączka, P. (2020). Samorząd komorników sądowych w ustawie o komornikach sądowych z 22 marca 2018 r., w: Rączka, P. (ed.), Rokicka- Murszewska, K. (ed.), Perspektywy rozwoju samorządów prawniczych, Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Rączka, P., Kosiński, K. (2022). Funkcje oraz zadania samorządu zawodowego komorników sądowych. *Studia Prawa Publicznego* no. 3 (39), 83- 102, https://10.14746/spp.2022.3.39.4.

Sarnecki, P. (2002). Glosa do wyroku Sądu Najwyższego z 29.05.2001 r. (I CKN 1217/98). *Palestra,* 46 (5–6), 185-188.

Smarż, J. (2025). Samorządy zawodów zaufania publicznego vs. organizacje zawodowe. *Studia Prawnoustrojowe*, no. 68, 423-434, https://doi.org/10.31648/sp.11105.

Stróżewski, B. (2019). Institution of a court probation officer in the Polish administration of justice. *Journal of Modern Science* 2 (41), 249-272, https://doi.org/10.13166/jms/110497.

Sypniewski, D. (2013). Wykonywanie zadań publicznych przez samorząd zawodowy a przemiany cywilizacyjne- w: Zimmermann, J. (ed.), Suwaj, P.J. (ed.) Wpływ przemian cywilizacyjnych na prawo administracyjne i administrację publiczną. Warszawa: Wolters Kluwer.

Szydło, M. (2002). Nabywanie uprawnień do wykonywania wolnych zawodów. *Państwo i Prawo* no. 7, 51-62.

Szydło, M. (2016). w: Safjan, M. (ed.), Bosek, L. (ed.) Konstytucja RP, Tom I. Komentarz art. 1- 86, Warszawa: Wydawnictwo C.H. Beck.

Świstak, M. (2018). Charakter prawny uchwał organów samorządu zawodowego radców prawnych w Polsce. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Mari Curie- Skłodowskiej.

Tabernacka, M. (2007). Zakres wykonywania zadań publicznych przez organy samorządów zawodowych. Wrocław: Kolonia Limited.

Tkaczyk, E. (2011). Samorząd zawodowy w świetle Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej. *Przegląd Sejmowy* no. 6 (107), 61-78.

Trela, J. (2016), w: Kruszyński, P. (ed.), Prawo o adwokaturze. Komentarz, Warszawa: Wolters Kluwer.

Evaluating the Influence of Remittance Inflow on the Health and Education Sector for Local Households

Оцінювання впливу грошових переказів на стан сфери охорони здоров'я та освіти домогосподарств

Nusrat Farha Yesmin [A]
Corresponding author: BSS and MSS Graduate, e-mail farha0934@gmail.com

Md.Harun-Ar-Rashid [B]
Assistant Registrar, BCS (Cooperative), e-mail: haruncooperative41@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-9965-7578

Linda Bairagi [A]
BSS and MSS in Economics Discipline, Sub Assistant Land Officer, e-mail: bairagilinda@gmail.com, ORCID ID: 0009-0009-2790-8776

Sree Dip Kumar Moholdar [C]
Lecturer, e-mail: dip.iu59.dk@gmail.com

Shakil Ahmed [D]
Head and Assistant Professor, e-mail: ahmedku05@gmail.com

Нусрат Фарха Єсмін [A]
Corresponding author: Магістр та бакалавр соціальних наук (BSS, MSS), e-mail: farha0934@gmail.com

Мухаммад Харун-ар-Рашід [B]
Асистент реєстратора, BCS (кооперативна служба), e-mail: haruncooperative41@gmail.com, ORCID ID: 0009-0004-9965-7578

Лінда Баіраґі [A]
Бакалавр і магістр соціальних наук (BSS, MSS) зі спеціальності "Економіка", Молодший заступник земельного офіцера, e-mail: bairagilinda@gmail.com, ORCID ID: 0009-0009-2790-8776

Шрі Діп Кумар Моголдар [C]
Викладач, e-mail: dip.iu59.dk@gmail.com

Шакіл Ахмед [D]
Завідувач кафедри та доцент, e-mail: ahmedku05@gmail.com

[A] Khulna University, Khulna, Bangladesh
[B] Divisional Cooperative Office, Khulna, Bangladesh
[C] Magura Adarsha College, Magura. Bangladesh
[D] North Western University, Khulna, Bangladesh

[A] Університет Кхулна, м. Кхулна, Бангладеш
[B] Регіональне кооперативне управління, м. Кхулна, Бангладеш
[C] Коледж "Магура Адарша", м. Магура, Бангладеш
[D] Північно-Західний університет, м. Кхулна, Бангладеш

Received: August 21, 2025 | Revised: September 09, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.20

Purpose. The article investigates the extent to which international remittances influence household investment in education and health in Bangladesh, comparing remittance-receiving and non-receiving households. The study aims to determine whether remittances act as a catalyst for human capital development at the microeconomic level.

Method. The research adopts an explanatory mixed-method design. Primary data were collected from 400 rural households through a multistage random sampling survey in Hathazari Upazila. Econometric analysis was conducted using multiple regression and Seemingly Unrelated Regression (SUR) models to measure the impact of demographic, economic, and social variables on household investment patterns.

Findings. Results show that remittances significantly increase spending on education and health. Age, education level, and gender of the household head, household size, dependency ratio, migrant's duration abroad, and income level all shape investment decisions. Remittance-receiving households allocate more funds to improving human capital than non-receiving families, demonstrating remittances' positive welfare effect.

Theoretical implications. The study reinforces the remittance-led development hypothesis, providing micro-level evidence that migrant transfers contribute to household-level socio-economic upgrading.

Practical implications. Policy measures should focus on formalising remittance flows, integrating migrants into financial systems, and designing incentives for productive investment in education and healthcare.

Paper type. Empirical research article based on household-level econometric modelling.

Key words: remittance, household investment, remittance-receiver, remittance non-receiver households.

Мета дослідження. Стаття присвячена аналізу впливу міжнародних грошових переказів на інвестиційну поведінку домогосподарств у сферах освіти та охорони здоров'я в Бангладеш. Дослідження порівнює домогосподарства, що отримують перекази, та ті, що їх не отримують, з метою виявлення ролі переказів у формуванні людського капіталу.

Метод дослідження. Застосовано пояснювальний змішаний підхід. Первинні дані зібрано шляхом опитування 400 сільських домогосподарств, відібраних методом багатоступеневої вибірки. Для оцінки інвестиційних рішень використано множинну регресію та модель SUR, що дає змогу врахувати взаємозалежність показників.

Результати дослідження. Перекази суттєво підвищують інвестиції в освіту та медичні послуги. На характер інвестицій впливають вік, стать та рівень освіти голови домогосподарства, розмір сім'ї, частка утриманців, тривалість перебування мігранта за кордоном та сукупний дохід. Домогосподарства, що отримують перекази, вкладають значно більше коштів у розвиток людського капіталу, ніж ті, що не отримують таких надходжень.

Теоретична цінність дослідження. Робота підтверджує гіпотезу «remittance-led development» та демонструє мікроекономічний ефект переказів як чинника соціально-економічного підвищення.

Практична цінність дослідження. Рекомендується розширення фінансових інструментів для мігрантів, заохочення інвестицій у соціальні послуги та посилення регуляції переказів через офіційні канали.

Тип статті. Емпіричне економетричне дослідження на основі мікроданих домогосподарств.

Ключові слова: грошові перекази, інвестиції домогосподарств, домогосподарства-отримувачі переказів, домогосподарства, що не отримують переказів.

Introduction

International migrant remittances have become an important source of external finance in developing countries. World Bank (2014) reported that officially recorded remittances to developing countries were expected to reach $435 billion in that year, an increase of 5 per cent over 2013, and Bangladesh ranked in 8th place in remittances among developing countries. Nowadays, remittances are the lifeline of the Bangladesh economy. About 4.5 million nonresident Bangladeshis are working abroad and sending home hard-earned foreign currency. It is believed that the actual number of Bangladeshi migrants, both legal and illegal, is close to 7.5 million. The flow of remittances in Bangladesh amounted to $11,258.31 million in the 2014–2015 fiscal year (Bangladesh Bank, 2015).

At the national level, remittances contribute significantly to GDP. Remittances can generate a positive effect on the economy through various channels such as savings, investment, consumption, capital formation, economic growth and income distribution. Yasmeen et al. (2011) stated that remittances have a positive relationship with private investment and total consumption, which results in an increase in GDP and economic growth in Pakistan. Their findings indicate that remittances improve the accumulation of physical investment in Nigeria, with a positive relationship in the presence of developed financial systems (Ojapinwa and Odekunle, 2013). Baldé (2010) investigated the macroeconomic impact of remittances on savings and investment in Sub-Saharan Africa (SSA) and found that remittances promote savings and investment. Azam and Khan (2011) indicated that worker remittances are significant and have positive impacts on economic growth and development in Azerbaijan and Armenia.

Households use remittances mostly for consumption and investment. Castaldo and Reilly (2007) showed that remittances are generally spent on food and durables. Andersen et al. (2007) found an overall positive effect of remittances related to changes in school attendance, hours worked, savings, and consumption patterns. Ali et al. (2013) pointed out that remittances play an important role in increasing health-related investment. Households invest remittances in education, healthcare, insurance, real assets (such as machinery, land, buildings, and vehicles), and financial instruments (e.g., life insurance, deposits, or bonds).

Rivera and González (2009) studied the relationship between remittances and patrimony (additional constructions/renovations, purchases of houses and land), business (purchases of machinery or animals for the production process), savings (deposits, currencies, metals, stocks and bonds), and out-transfers (lending, debt service, insurance, inheritance, etc.). They found a positive relationship between remittances and household expenditure.

Iheke et al. (2013) examined the impact of migrant remittances on the technical efficiency of smallholder arable crop farm households in South-Eastern Nigeria. Similarly, Bangladesh has almost the same characteristics compared to the studied countries; therefore, there is a possibility to analyse the ultimate scenario of remittance-receiving households in Bangladesh. Accordingly, this paper aims to identify the impact of remittances on household investment.

Literature Review

Bangladesh is a village-based country. There are 86,000 villages in the country, and about 77 per cent of its total population lives in rural areas. Therefore, overall national development is impossible without including rural areas in the development process. As one of the largest remittance-receiving countries, remittances are the backbone of Bangladesh's fragile economy, and any shocks to this system could prove fatal for national growth. Most of the migrants are from these areas.

Although banking crises in Europe, the Arab region and elsewhere have left many major financial chains without suitable credit, causing bankruptcy in several cases, these issues have created serious problems for Bangladeshi workers, including white-collar employees. Such problems include withholding and deferring wage or salary payments, cancelling contracts, and in many cases

bargaining for lower pay. The combined effect on the migrant labour market has already been felt by both the government and workers.

Remittances can generate a positive effect on the economy through various channels such as savings, investment, economic growth, consumption, poverty reduction and income distribution. At the national level, remittances contribute significantly to GDP. Despite the challenges faced by this sector, Bangladesh holds a remarkable position among the world's largest remittance-receiving countries. The author attempts to examine the impact of remittances on household investment among remittance-receiving families.

Djiofack (2013) found that external money flows, such as remittances, are an important source of investment financing. Yasmeen et al. (2011) found that remittances have a positive relationship with private investment and total consumption, resulting in increased GDP and economic growth in Pakistan. Serino and Kim (2011) found that, holding other factors constant, a 1 per cent increase in remittances sent to developing countries through banks was associated with a 0.005 reduction in the squared poverty gap. Awan et al. (2013) concluded that the use of remittances contributes to food security, quality of life, income generation, asset formation, environmental sustainability, and the acceleration of further income and employment growth in Pakistan.

Tabuga (2008) showed that the presence of remittance income is negatively associated with expenditure shares on food and miscellaneous items, while positively correlated with spending on consumer goods, basic utilities, transportation and communication, housing, education, and medical care in the Philippines. Ali et al. (2013) found a significant and positive relationship between remittances and spending on health, housing conditions, children's education, household goods, and daily-use items in Pakistan. Ahmed et al. (2010) found that the probability of households becoming poor decreases by 12.7 per cent if they receive remittances. The poverty headcount ratio and Gini coefficient decline by 7.8 per cent and 4.8 per cent, respectively, for remittance-receiving households.

Remittances not only affect household consumption but also influence the overall economy. Simul (2013), using time-series data from 1976–2007 collected from WDI, found a positive and significant relationship between remittances and economic growth. Siddique et al. (2010) also showed a positive impact of remittances on economic development in Bangladesh, India and Sri Lanka using 25 years of time-series data. Yaseen (2012) showed the positive impact of remittances on economic growth, noting that remittances are used for dynamic investments where funds are deposited in local financial institutions as savings, significantly increasing available financial resources.

In the study of Srivastava and Sasikumar (2003), it was observed that both internal and external migration create large-scale impacts on economic growth and poverty reduction in many areas of India. Simiyu (2013) examined how increased remittance receipts are used in Kenya, focusing on education, health, food, and other household expenditures. Raihan et al. (2009) examined the role of remittances in increasing household consumption and investment, finding that they help rebalance economic growth and create long-term human and capital investment.

Remittances are also used as investment expenditure. In other words, households may convert remitted money into different forms of investment. Awan et al. (2013) found that remittances of migrant workers have a highly positive impact on the socio-economic conditions of migrants and their households left behind, who enjoy significantly higher incomes than in the pre-migration period. Djiofack et al. (2013) found in their empirical analysis that skilled migration has a negative impact on productivity in the host country, whereas unskilled migration has a positive impact.

Research Methodology

This study is explanatory in nature and includes both qualitative and quantitative information. To obtain answers to the research questions and the stated objectives, the study is based on a field survey as primary data collected from different households in Hathajari Upazilla, and on secondary data collected from previous works, journals, books, reports, etc.

The study is based on a multistage sampling technique. There are 64 districts in Bangladesh. Among them, the author selected Chittagong District as the study area. In the context of the number of upazillas in Bangladesh, Chittagong District holds the second position (BBS, 2014). This district consists of 14 upazilas; for the study, the author selected Hathajari Upazila. A multi-stage random sampling method was used for this study.

In the first stage, among the 64 districts, Chittagong District was chosen. In the second stage, from the 14 upazilas of Chittagong District, Hathazari Upazila was selected. In the third stage, out of 15 unions of Hathazari, the author randomly selected 4 unions (Mirzapur, Nangalmora, Katir Hat, Dhalai), where 400 households were selected (200 migrant families and 200 non-migrant families) to conduct this study.

1 Research Technique and Model

1.1 Dependent Variable

Investment in Household Education and Health in BDT

1.2 Independent Variables

Age of household head, sex of the household head, educational status of household head, age of migrant, educational status of migrant, years lived abroad by the migrant, household size, dependent household members, household income including remittance, and remittance receiver dummy were considered as independent or explanatory variables in the study.

1.3 The Multiple Regression Model

A multiple regression model was applied to examine the effect of the explanatory variables on household investment for remittance-receiving and non-receiving households.

The equation can be written with short variable names as:

$$\text{Health and Education} = \beta 0 + \beta 1AHH + \beta 2SHH + \beta 3EHH + \beta 4HHS + \beta 5DHM + \beta 6HIR + \beta 7MLY + \beta 8MAV + \beta 9RRD + u\ldots \text{(i)}$$

Here, the author considers two dependent variables and nine independent variables to measure the effect of the independent variables on the dependent variable.

Table 1 – Variable List Identification of Independent Variables Affecting Dependent Variables

Dependent variable: Investment in Household Education and Health (measured in BDT thousands)

Explanatory variable	Description	Measurement unit	Expected sign	Source
AHH	Age of household head	Years	+ or –	Adams (2005); Tabuga (2008)
SHH	Sex of household head	Dummy: Male = 1, otherwise = 0	+ or –	Rivera & González (2009)
EHH	Educational status of household head	Years of schooling	+	Rivera & González (2009)
HHS	Household size	Number of members	–	Adams (2005); Tabuga (2008)
DHM	Dependent household members	Number of members	–	Parinduri & Thangavelu (2008)
HIR	Household income including remittance	BDT (thousand)	+	Parinduri & Thangavelu (2008)
MLY	Migrant living years abroad	Years	+	Sinning (2008)
MAV	Migrant asset value	BDT (thousand)	+ or –	Udah (2011)
RRD	Remittance receiver dummy	Dummy: 1 = receiver; 0 = otherwise	+ or –	Author's compilation

Source: Author's compilation, 2025

Results

Remittance investment is a vital part of remittance earnings and is also considered a dependent variable in this research. There is a significant difference between the income that can be invested or consumed by remittance-receiving and remittance-non-receiving households. At this stage, the author aims to examine the difference in investment between remittance-receiving and nonreceiving households. People earn money to spend or invest in food, education, medical care, communication, electricity, clothing, entertainment, and other household needs.

Remittance-receiving households obtain remittances from migrants; in some cases, it is the only source of income for the family if there is only one earning member. However, remittance nonreceiving households do not have this opportunity to adequately cover their household expenditures. That is why there is likely to be variation in investment and expenditure patterns between these two groups.

The seemingly unrelated regression (SUR) model is a simplification of a linear regression model that consists of different regression equations. Each equation has its own dependent variable and a specific set of exogenous explanatory variables. Accordingly, six categories of remittancerelated investment are considered as dependent variables. The SUR model is applied to these investment categories, where the explanatory variables are the same for both remittance-receiving and non-receiving households.

Table 2 – Multiple Regression Analysis Results of Independent variables on the Dependent variable

Variables	Education Investment	Health Investment
AHH	-0.226** *(0.24)*	0.318* *(0.11)*
SHH	20.910*** *(8.64)*	-3.374 *(4.10)*
EHH	-1.088*** *(0.59)*	-0.047 *(0.27)*
HHS	-7.301** *(4.12)*	1.113 *(2.03)*
DHM	11.193** *(4.84)*	-1.274* *(2.30)*
HIR	0.077 *(0.01)*	0.012 *(0.01)*
MLY	10.910 *(1.64)*	-3.374 *(4.10)*
MAV	-2.088 *(0.59)*	-0.147 *(0.27)*
RRD	5.524 *(7.12)*	11.235 *(2.44)*
Constant	-7.898 *(15.03)*	-10.661 *(6.92)*
R^2	**0.3401**	**0.2795**
Observations	**400**	**400**
*Significance Level: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01*		

Source: Author's compilation based on field Survey, 2025

Table 2 shows the seemingly unrelated regression analysis of household investment categories for both remittance-receiving and non-receiving households. The investment categories are considered dependent variables, while several explanatory variables influence them.

When education investment is the dependent variable, the age, sex, and education level of the household head, household size, number of dependent household members, and household income excluding remittance are statistically significant. If the age of the household head decreases by one year, household investment in education increases by an average of BDT 226 per year. This indicates a negative relationship between the dependent and independent variables and is statistically significant at the 5 per cent level.

The dummy variable "sex of household head" shows that a male household head invests an average of BDT 20,910 less than a female household head in education per year, which is statistically significant at the 10 per cent level. The education level of the household head is also negatively associated with education investment. The coefficient shows that if the years of schooling of the household head increase by one year, investment in education decreases by an average of BDT 1,088 per year, statistically significant at the 10 per cent level. Conversely, when the number of dependent household members increases, investment in education increases by an average of BDT 11,193 per year, significant at the 5 per cent level.

When health investment is the dependent variable, the age of the household head and the number of dependent household members are statistically significant. If the age of the household head increases by one year, investment in health increases by an average of BDT 318 per year, significant at the 1 per cent level. When the number of dependent household members increases, investment in health decreases by an average of BDT 1,274 per year, also significant at the 1 per cent level.

Conclusion

Household investment in education is positive when household income increases. The age of the household head, education level, and household size are negatively related to investment in education. This implies that older household heads are less likely to invest in education. However, the number of dependent household members is positively associated with education investment. When the number of dependents in a household increases by one, education investment also increases.

Health investment has a positive relationship with the age of the household head. A one-year increase in the age of the household head leads to higher household expenditure on health. On the contrary, a negative relationship exists between health investment and dependent household members. An increase in the number of dependent members reduces household investment in health.

Funding

This study received no specific financial support.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

Ahmed, V., Sugiyarto, G., & Jha, S. (2010). Remittances and household welfare: A case study of Pakistan (ADB Economics Working Paper No. 194). Asian Development Bank. https://adb.org/sites/default/files/pub/2010/Economics-WP194.pdf

Ali, A., Khan, R., Shah, M., & Zia, Y. E. (2013). Do remittances contribute to improvements in life standard at the host area? Evidence from Chitral, KPK, Pakistan. European Journal of Business and Social Sciences, 2(2), 66–74.

Andersen, L. E., Christensen, B. J., & Tejerina, O. M. (2007). A micro-level dynamic analysis of the effects of remittances on social mobility, schooling, work, consumption and investment in Nicaragua. Sixth Annual Global Development Conference, Dakar, 1–21.

Awan, M. T., Khan, S., & Khan, N. (2013). Assessing utilisation patterns of remittances at household level in District Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. International Journal of Arts and Commerce, 2(4), 172–183.

Azam, M., & Khan, A. (2011). Workers' remittances and economic growth: Evidence from Azerbaijan and Armenia. Global Journal of Human Social Science, 11(7), 41–45.

Baldé, Y. (2000). The impact of remittances and foreign aid on savings/investment in Sub-Saharan Africa (SSA) (Unpublished PhD thesis). University of Limoges, France.

Bangladesh Bank. (2015). Yearly data of wage earners' remittance. Foreign Exchange Policy Department, Bangladesh Bank.

Castaldo, A., & Reilly, B. (2007). Do migrant remittances affect the consumption patterns of Albanian households? South-Eastern Europe Journal of Economics, 1, 25–54.

Djiofack, C. Z., Djimeu, E. W., & Boussichas, M. (2013). Impacts of qualified worker emigration on poverty: A macro–micro simulation approach for an African economy. Journal of African Economies, 23(1), 1–52.

Iheke, O. R., Nwaru, J. C., & Onyenweaku, C. E. (2013). The impact of migrant remittances on the technical efficiency of arable crop farm households in South-Eastern Nigeria. 4th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, Hammamet, Tunisia, 1–15.

Ojapinwa, T. V., & Odekunle, L. A. (2013). Workers' remittances and their effect on the level of investment in Nigeria: An empirical analysis. International Journal of Economics and Finance, 5(4), 89–96. https://doi.org/10.5539/ijef.v5n4p89

Parinduri, R. A., & Thangavelu, S. M. (2008). Remittance and migrant households' consumption and savings patterns: Evidence from Indonesia (Research Paper No. 2008-02). Nottingham University Business School. http://ssrn.com/abstract=1146366

Raihan, S., Khondker, B. H., Sugiyarto, G., & Jha, S. (2009). Remittances and household welfare: A case study of Bangladesh (ADB Economics Working Paper No. 189). Asian Development Bank. https://adb.org/sites/default/files/pub/2009/Economics-WP189.pdf

Rivera, J. J. M., & González, J. A. (2009). Effects of remittances on household expenditure patterns of rural Mexico. Yale University.

Serino, M. N. V., & Kim, D. (2011). How do international remittances affect poverty in developing countries? A quantile regression analysis. Journal of Economic Development, 36(2), 17–37.

Shimul, S. N. (2013). Remittance and economic development: Evidence from Bangladesh using unrestricted error correction model and Engle–Granger co-integration approach. Business and Economic Horizons, 9(1), 15–21.

Siddique, A., Selvanathan, E. A., & Selvanathan, S. (2010). Remittances and economic growth: Empirical evidence from Bangladesh, India and Sri Lanka (Discussion Paper No. 10.27). University of Western Australia. http://www.library.uwa.edu.au/data/assets/pdf_file/0006/1371948/10-27-Remittancesand-Economic-Growth.pdf

Simiyu, C. N. (2013). Remittance and household expenditures in Kenya. Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking, 2(3), 718–728.

Sinning, M. G. (2008). Determinants of savings and remittances: Empirical evidence from immigrants to Germany (Occasional Paper). Social Policy Evaluation, Analysis and Research Centre (SPEAR). http://mbc.metropolis.net/assets/uploads/files/Sinning.pdf

Srivastava, R., & Sasikumar, S. K. (2003). An overview of migration in India, its impacts and key issues. Migration, Development and Pro-Poor Policy Choices in Asia Conference, Dhaka, 1–57.

Tabuga, A. D. (2008). International remittances and family expenditure patterns: The Philippines' case. Philippine Journal of Development, 35(2), 103–120.

Udah, E. B. (2011). Remittances, human capital and economic performance in Nigeria. Journal of Sustainable Development in Africa, 13(4), 300–318.

World Bank. (2014). An analysis of trends in the average total cost of migrant remittance service.
Financial and Private Sector Development Vice-Presidency, World Bank.

Yaseen, H. S. (2012). The positive and negative impact of remittances on economic growth in MENA countries. Journal of International Management Studies, 7(1), 7–14.

Yasmeen, K., Anjum, A., Ambreen, S., & Twakal, S. (2011). The impact of workers' remittances on private investment and total consumption in Pakistan. International Journal of Accounting and Financial Reporting, 1(1), 173–177.

Список використаних джерел

Ahmed, V., Sugiyarto, G., & Jha, S. (2010). Remittances and household welfare: A case study of Pakistan (ADB Economics Working Paper No. 194). Asian Development Bank. https://adb.org/sites/default/files/pub/2010/Economics-WP194.pdf

Ali, A., Khan, R., Shah, M., & Zia, Y. E. (2013). Do remittances contribute to improvements in life standard at the host area? Evidence from Chitral, KPK, Pakistan. European Journal of Business and Social Sciences, 2(2), 66–74.

Andersen, L. E., Christensen, B. J., & Tejerina, O. M. (2007). A micro-level dynamic analysis of the effects of remittances on social mobility, schooling, work, consumption and investment in Nicaragua. Sixth Annual Global Development Conference, Dakar, 1–21.

Awan, M. T., Khan, S., & Khan, N. (2013). Assessing utilisation patterns of remittances at household level in District Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. International Journal of Arts and Commerce, 2(4), 172–183.

Azam, M., & Khan, A. (2011). Workers' remittances and economic growth: Evidence from Azerbaijan and Armenia. Global Journal of Human Social Science, 11(7), 41–45.

Baldé, Y. (2000). The impact of remittances and foreign aid on savings/investment in Sub-Saharan Africa (SSA) (Unpublished PhD thesis). University of Limoges, France.

Bangladesh Bank. (2015). Yearly data of wage earners' remittance. Foreign Exchange Policy Department, Bangladesh Bank.

Castaldo, A., & Reilly, B. (2007). Do migrant remittances affect the consumption patterns of Albanian households? South-Eastern Europe Journal of Economics, 1, 25–54.

Djiofack, C. Z., Djimeu, E. W., & Boussichas, M. (2013). Impacts of qualified worker emigration on poverty: A macro–micro simulation approach for an African economy. Journal of African Economies, 23(1), 1–52.

Iheke, O. R., Nwaru, J. C., & Onyenweaku, C. E. (2013). The impact of migrant remittances on the technical efficiency of arable crop farm households in South-Eastern Nigeria. 4th International Conference of the African Association of Agricultural Economists, Hammamet, Tunisia, 1–15.

Ojapinwa, T. V., & Odekunle, L. A. (2013). Workers' remittances and their effect on the level of investment in Nigeria: An empirical analysis. International Journal of Economics and Finance, 5(4), 89–96. https://doi.org/10.5539/ijef.v5n4p89

Parinduri, R. A., & Thangavelu, S. M. (2008). Remittance and migrant households' consumption and savings patterns: Evidence from Indonesia (Research Paper No. 2008-02). Nottingham University Business School. http://ssrn.com/abstract=1146366

Raihan, S., Khondker, B. H., Sugiyarto, G., & Jha, S. (2009). Remittances and household welfare: A case study of Bangladesh (ADB Economics Working Paper No. 189). Asian Development Bank. https://adb.org/sites/default/files/pub/2009/Economics-WP189.pdf

Rivera, J. J. M., & González, J. A. (2009). Effects of remittances on household expenditure patterns of rural Mexico. Yale University.

Serino, M. N. V., & Kim, D. (2011). How do international remittances affect poverty in developing countries? A quantile regression analysis. Journal of Economic Development, 36(2), 17–37. Shimul, S. N. (2013). Remittance and economic development: Evidence from Bangladesh using unrestricted error correction model and Engle–Granger co-integration approach. Business and Economic Horizons, 9(1), 15–21.

Siddique, A., Selvanathan, E. A., & Selvanathan, S. (2010). Remittances and economic growth: Empirical evidence from Bangladesh, India and Sri Lanka (Discussion Paper No. 10.27). University of Western Australia. http://www.library.uwa.edu.au/data/assets/pdf_file/0006/1371948/10-27-Remittancesand-Economic-Growth.pdf

Simiyu, C. N. (2013). Remittance and household expenditures in Kenya. Journal of Emerging Issues in Economics, Finance and Banking, 2(3), 718–728.

Sinning, M. G. (2008). Determinants of savings and remittances: Empirical evidence from immigrants to Germany (Occasional Paper). Social Policy Evaluation, Analysis and Research Centre (SPEAR). http://mbc.metropolis.net/assets/uploads/files/Sinning.pdf

Srivastava, R., & Sasikumar, S. K. (2003). An overview of migration in India, its impacts and key issues. Migration, Development and Pro-Poor Policy Choices in Asia Conference, Dhaka, 1–57.

Tabuga, A. D. (2008). International remittances and family expenditure patterns: The Philippines' case. Philippine Journal of Development, 35(2), 103–120.

Udah, E. B. (2011). Remittances, human capital and economic performance in Nigeria. Journal of Sustainable Development in Africa, 13(4), 300–318.

World Bank. (2014). An analysis of trends in the average total cost of migrant remittance service.
Financial and Private Sector Development Vice-Presidency, World Bank.

Yaseen, H. S. (2012). The positive and negative impact of remittances on economic growth in MENA countries. Journal of International Management Studies, 7(1), 7–14.

Yasmeen, K., Anjum, A., Ambreen, S., & Twakal, S. (2011). The impact of workers' remittances on private investment and total consumption in Pakistan. International Journal of Accounting and Financial Reporting, 1(1), 173–177.

Можливі шляхи вдосконалення внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України: аналіз, виклики та стратегічні рекомендації

Potential Pathways for Improving Internal Audit in the System of the Ministry of Defence of Ukraine: Analysis, Challenges, and Strategic Recommendations

Олександр Шпиталь
ад'юнкт, e-mail: shpital777@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-5261-1954
Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

Oleksandr Shpytal
PhD student, e-mail: shpital777@ukr.net, ORCID ID: 0009-0003-5261-1954
National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 14, 2025 | Revised: October 26, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.21

Мета роботи. Проаналізувати особливості організації внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України, основні внутрішні нормативні документи, що регулюють цю діяльність, на відповідність національним та міжнародним стандартам, виявити проблемні аспекти і визначити можливі шляхи їх вдосконалення з урахуванням міжнародних стандартів.

Метод дослідження. Методи порівняльного аналізу, системного підходу та контент-аналізу документів, аналогії та порівняння.

Результати дослідження. Систематизовано та проаналізовано нормативні внутрішні документи, що регулюють основні аспекти діяльності внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України, зосереджено увагу на їх відповідності національному законодавству і Глобальним стандартам внутрішнього аудиту. На основі проведеного аналізу визначено можливі шляхи вдосконалення внутрішнього аудиту з урахуванням міжнародних стандартів.

Теоретична цінність дослідження. Результати дослідження сприяють науковому розумінню питань організації та функціонування внутрішнього аудиту завдяки виокремленню ключових принципів, внутрішніх документів, що забезпечують підвищення ефективності реалізації функції внутрішнього аудиту, а також створенню основи для впровадження інноваційних підходів у практику внутрішнього аудиту. Запропоновано заходи удосконалення внутрішнього аудиту, які можуть бути використані для актуалізації, удосконалення і регламентації нормативно-правових документів з питань внутрішнього аудиту.

Практична цінність дослідження. Результати дослідження можуть бути використані для підвищення якості й ефективності внутрішнього аудиту, забезпечення гармонізації діяльності підрозділу внутрішнього аудиту в системі МО України.

Цінність дослідження. Систематизація теоретичних, організаційно-методологічних засад здійснення внутрішнього аудиту в системі Міноборони України, виявлення прогалин у нормативно-правовому регулюванні та формування напрямів його вдосконалення, сприяння гармонізації з міжнародними стандартами. Матеріали дослідження цінні для підвищення ефективності підрозділу внутрішнього аудиту і якості проведення внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України. Висновки та рекомендації дослідження можуть бути використані під час розроблення навчальних програм і методичних матеріалів з внутрішнього аудиту для закладів вищої освіти і центрів підвищення кваліфікації.

Тип статті. Теоретичний.

Ключові слова: внутрішній аудит, глобальні стандарти внутрішнього аудиту, Міністерство оборони України.

Purpose. To analyze the organizational features of internal audit within the system of the Ministry of Defence of Ukraine, and its main internal regulatory documents for compliance with national and international standards. The aim is to identify problematic aspects and determine potential ways for their improvement in line with international standards.

Method. The study employs methods of comparative analysis, a systematic approach, document content analysis, analogy, and comparison.

Findings. The research systematizes and analyzes the internal regulatory documents that govern the main aspects of internal audit activities within the Ministry of Defence of Ukraine, with a focus on their compliance with national legislation and the Global Internal Audit Standards. Based on the analysis, potential pathways for improving internal audit in accordance with international standards have been identified.

Theoretical implications. The research findings contribute to the scientific understanding of the organization and functioning of internal audit by identifying key principles and internal documents that enhance the effectiveness of the internal audit function. They also create a foundation for implementing innovative approaches in internal audit practice. The proposed improvement measures can be used to update, refine, and formalize the legal and regulatory framework for internal audit.

Practical implications. The results of the study can be used to enhance the quality and effectiveness of internal audit and to ensure the harmonization of the internal audit unit's activities within the Ministry of Defence of Ukraine system.

The value. The study's value lies in the systematization of the theoretical, organizational, and methodological foundations for conducting internal audit in the MoD of Ukraine; the identification of gaps in the legal and regulatory framework; and the formulation of directions for its improvement, promoting harmonization with international standards. The research materials are valuable for enhancing the effectiveness of the internal audit unit and the quality of internal audits within the MoD of Ukraine. The conclusions and recommendations of the study can be used in developing curricula and methodological materials on internal audit for higher education institutions and professional development centers.

Paper type. Theoretical.

Key words: internal audit, Global Internal Audit Standards, Ministry of Defence of Ukraine.

Вступ

В умовах широкомасштабної агресії, коли Україна мобілізує всі наявні ресурси для захисту свого суверенітету, а обсяги міжнародної військової та фінансової допомоги сягають історичних максимумів, питання ефективності, прозорості та підзвітності в оборонному секторі набуває виняткової значущості. Кожна гривня, кожен долар і євро мають бути використані з максимальною віддачею для посилення боєздатності ЗС України. У цьому контексті роль внутрішнього аудиту кардинально змінюється: з рутинної контрольної функції він перетворюється на стратегічний актив, що безпосередньо впливає на обороноздатність держави.

Надійний, незалежний і професійний внутрішній аудит запобігає неефективному використанню ресурсів, розвитку корупції та зловживань, які в умовах війни прямо загрожують національній безпеці. Внутрішній аудит забезпечує вищому керівництву Міністерства оборони України (МО України) та Уряду України подання об'єктивного стану справ, виявляє системні ризики та слабкі місця в управлінських процесах, а також надає рекомендації щодо їх усунення. Зрештою наявність дієвої системи внутрішнього аудиту, що функціонує за визнаними міжнародними стандартами, є ключовим чинником для підтримки довіри з боку іноземних партнерів, які надають допомогу, та українського суспільства, яке вимагає нульової толерантності до корупції в оборонній сфері.

Запровадження у 2025 році нових Глобальних стандартів внутрішнього аудиту (Global Internal Audit Standards, далі – GIAS 2025) [15], розроблених Інститутом внутрішніх аудиторів (IIA), є не просто черговим оновленням професійних вимог. Це зміна парадигми, що пропонує чіткий і перевірений часом план для побудови сучасної аудиторської функції. Для України та її МО України це не виклик чи додаткове навантаження, а унікальна можливість використати стандарти як дорожню карту для проведення глибокої та змістовної реформи. Перехід на нові стандарти дасть змогу не просто "наздогнати" світові практики, а й побудувати систему, адекватну безпрецедентним викликам сьогодення, що сприятиме трансформації оборонного відомства на шляху до повної інтеграції в євроатлантичні структури безпеки.

Теоретичні основи дослідження

Теоретико-методологічну базу дослідження склали нормативно-правові акти, внутрішні документи підрозділу внутрішнього аудиту МО України, а також міжнародні стандарти внутрішнього аудиту [1–17].

Організаційно-правові засади та окремі аспекти функціонування внутрішнього аудиту в системі МО України досліджували І. Ткач, К. Ульянов, А. Лойшин, Ю. Луцик, Т. Череватий, О. Титковський, А. Ігнатенко, І. Крамаренко та інші [22–29].

Водночас деякі аспекти, які стосуються посилення якості, ефективності, спроможності і незалежності внутрішнього аудиту в системі МО України, залишаються неврегульованими та потребують додаткового дослідження.

Постановка проблеми

Незважаючи на досягнутий розвиток в організації та функціонуванні внутрішнього аудиту, який значною мірою базується на нормативних актах 2011 року, система внутрішнього аудиту є застарілою та залишається орієнтованою на перевірку дотримання законів, нормативно-правових актів, контрактів, політик, процедур та інших управлінських вимог (комплаєнс). Аудиторські дослідження та надані рекомендації не спрямовані на зростання ефективності і результативності діяльності державних установ. Зберігаються системні проблеми на всіх рівнях, що негативно впливає на якість та ефективність внутрішнього аудиту: від застарілої нормативної бази до критичних недоліків у підготовці та компетенції аудиторів, відсутності організаційної незалежності, формального застосування або повного ігнорування ризик-

орієнтованого підходу до планування, що не дає змоги адекватно реагувати на найвищі ризики, зокрема у сфері закупівель. Ці недоліки функціонування внутрішнього аудиту в державних установах були підтверджені результатами аналізу звітності, проведеного Мінфіном за 2023–2024 роки, оцінюванням системи державного управління від Програми SIGMA у 2023 році та нещодавніми аудиторськими перевірками, що виявили значні проблеми в роботі Агенції оборонних закупівель, при цьому масштабні порушення, зафіксовані Рахунковою палатою, є не поодинокими випадками, а симптомами глибокої системної кризи внутрішнього контролю та внутрішнього аудиту [29–31].

Виявлені проблеми призводять до зниження потенційної спроможності й ефективності функціонування підрозділу внутрішнього аудиту, формального підходу до проведення аудиторських досліджень і недостатнього впливу результатів аудиту на вдосконалення організації та функціонування системи управління, внутрішнього контролю, управління ризиками в установах системи МО України.

Особливо гострими залишаються питання удосконалення та дотримання методології внутрішнього аудиту: на цей час не розроблено або недостатньо регламентовано методологічні документи (політики, процеси і процедури) з настановами для внутрішніх аудиторів щодо проведення аудиторських досліджень (оцінювання з надання впевненості) та здійснення аудиторського консультування.

Внутрішній аудит у системі МО України не відповідає вимогам динамічного, ризик-орієнтованого і технологічного середовища, в якому функціонує оборонне відомство під час війни. На противагу цьому, Глобальні стандарти внутрішнього аудиту (GIAS), які набули чинності у 2025 році, змінюють стратегічну модель, де внутрішній аудит стає партнером керівництва, що допомагає створювати, захищати і підтримувати цінність організації.

Трансформація внутрішнього аудиту — це критично важливий компонент зміцнення національної безпеки, оптимізації управління ресурсами та підтримки довіри з боку суспільства і ключових міжнародних партнерів.

Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання адаптації термінології та принципів GIAS 2025. Отже, потрібно проаналізувати особливості організації внутрішнього аудиту в системі МО України, виявити проблемні аспекти діяльності з внутрішнього аудиту та визначити можливі шляхи їх удосконалення з урахуванням міжнародних стандартів.

Методологія дослідження

У проведеному дослідженні застосовано системний підхід до аналізу організації внутрішнього аудиту в системі МО України з точки зору його відповідності принципам міжнародних стандартів GIAS 2025. Використання методів порівняльного аналізу та контент-аналізу документів дало змогу ґрунтовно вивчити проблемні аспекти діяльності з внутрішнього аудиту в системі МО України, сформулювати висновки й окреслити можливі шляхи вдосконалення нормативно-правових і внутрішніх документів підрозділу внутрішнього аудиту МО України.

Результати

Глобальні стандарти GIAS 2025 [10] — це сучасний погляд на роль та функцію внутрішнього аудиту, орієнтир для будь-якої організації, у тому числі в державному секторі, що слугує основою для оцінювання та підвищення якості й ефективності функції внутрішнього аудиту. Щоб зрозуміти глибину необхідних реформ у Міноборони, необхідно детально проаналізувати філософію та ключові вимоги цих стандартів.

Найпомітнішою зміною в GIAS 2025 є відхід від попередньої двокомпонентної структури (“Стандарти якісних характеристик” і “Стандарти діяльності”) до нової, еволюційно логічно побудованої п’ятидоменної моделі. Ця структура відображає цілісний життєвий цикл аудиторської функції – від її фундаментальної мети до конкретного виконання завдань. Такий

підхід змушує розглядати внутрішній аудит не як набір окремих правил, а як інтегровану систему, де кожен елемент пов'язаний з іншими.

Домен I "Мета внутрішнього аудиту" визначає базову місію діяльності з внутрішнього аудиту. Оновлено формулювання мети — "зміцнювати спроможність організації створювати, захищати та підтримувати цінність, надаючи раді та керівництву незалежні, ризик-орієнтовані й об'єктивні аудиторські та консультаційні послуги, аналітичну оцінку та прогноз". Це кардинальний зсув від традиційного погляду на аудит як суто контролюючу функцію, що виявляє порушення, до ролі стратегічного партнера, який допомагає організації успішно досягати поставлених цілей.

Домен II "Етичне ставлення та професіоналізм" закладає непорушний фундамент для довіри до аудиторської функції. Цей домен деталізує вимоги до доброчесності, об'єктивності, конфіденційності і компетентності аудиторів. Без дотримання цих етичних принципів будь-яка аудиторська діяльність втрачає сенс.

Логіка нової структури є її головною інновацією. Така структура створює чіткий зв'язок між високорівневою метою (Домен I), принципами управління та нагляду (Домен III), операційним менеджментом функції (Домен IV) та безпосереднім виконанням аудиторських послуг (Домен V). Будь-яка спроба імплементувати нові стандарти частково або внести зміни до чинних Стандартів ВА [3], ігноруючи цю взаємопов'язану структуру, призведе лише до поверхових, косметичних змін, а не справжньої трансформації.

Зміцнення управління та незалежності: критична роль ради і вищого керівництва (Домен III "Нагляд [Governing] за функцією внутрішнього аудиту") є, можливо, найважливішим для реформи в державному секторі, зокрема такій ієрархічній структурі, як МО України. Цим доменом встановлено чіткі вимоги до найвищого органу управління та вищого керівництва щодо забезпечення ефективності і незалежності аудиту. Ключовою вимогою цього домену визначено обов'язок наглядового органу офіційно затвердити статут і встановити мандат внутрішнього аудиту, в якому чітко визначити його повноваження, роль та обов'язки. Стандартами передбачено вимогу керівнику служби внутрішнього аудиту мати прямий та необмежений доступ і звітувати безпосередньо перед наглядовим органом. Це спосіб гарантувати організаційну незалежність та унеможливити тиск або втручання з боку керівників середньої ланки, діяльність яких може бути предметом аудиту. Важливо, що стандарти окремо враховують специфіку державного сектору, де мандат аудиту може бути визначений не лише внутрішніми документами, а й законодавством.

Стратегічне управління аудиторською функцією: планування, ресурси та забезпечення якості (Домен IV "Управління [Managing] функцією внутрішнього аудиту") визначено, як керівник аудиторського підрозділу має організувати його роботу для досягнення поставленої мети. Центральним елементом є вимога до розроблення ризик-орієнтованого плану аудиту. Це означає, що аудиторські ресурси (час, персонал) мають бути спрямовані на перевірку тих сфер, процесів і систем, де існують найвищі ризики для досягнення цілей організації. До таких ризиків належать загрози надійності фінансової та операційної інформації, збереження активів, ефективності операцій та дотримання законодавства.

У стандартах також наголошено на необхідності забезпечення функції внутрішнього аудиту достатніми ресурсами та компетентним персоналом, що володіє необхідними знаннями і навичками. Крім того, обов'язковою є наявність Програми забезпечення та підвищення якості (QAIP), яка передбачає як регулярне внутрішнє оцінювання, так і періодичне зовнішнє оцінювання незалежними кваліфікованими експертами. Керівник внутрішнього аудиту відповідає за забезпечення постійного вдосконалення функції внутрішнього аудиту. Стандарт 12.2 "Вимірювання ефективності" [5] вимагає від керівників внутрішнього аудиту розробки та звітування за чіткими KPI, що відображають стратегію, що стає умовою підтвердження професійної відповідності. Це гарантує, що сама аудиторська

функція працює ефективно та відповідає стандартам.

У розділі про надання послуг, що створюють цінність, та використання технологій (Домен V "Проведення внутрішнього аудиту") регламентовано процес виконання конкретних аудиторських завдань – від планування до звітування. У стандартах наголошено, що аудит має надавати не лише послуги з надання впевненості (assurance), а й консультаційні послуги (advisory), які допомагають керівництву вдосконалювати процеси управління та контролю.

Важливою новацією є введення "Тематичних вимог" (Topical Requirements) — додаткових, більш деталізованих стандартів для аудиту сфер з високим рівнем ризику. Попередній перелік таких сфер включає кібербезпеку, управління відносинами з третіми сторонами (критично важливо для закупівель), управління ризиками шахрайства та інформаційні технології. Це пряма відповідь на найактуальніші виклики, що стоять перед МО України.

Крім того, у GIAS 2025 акцентовано на необхідності використання сучасних технологій, аналізу даних та штучного інтелекту. Це дає змогу аудиторам зосереджуватися не на традиційному тестуванні невеликих вибірок, а на аналізі повних масивів даних (наприклад, усіх транзакцій із закупівель за рік) та впровадженні систем безперервного моніторингу в режимі реального часу. Такий підхід значно підвищує ефективність аудиту і здатність виявляти аномалії, помилки та шахрайські дії.

Для об'єктивного оцінювання розриву між поточною практикою внутрішнього аудиту і глобальними стандартами необхідно детально проаналізувати чинну нормативну базу та реальний стан справ із внутрішнім аудитом у системі МО України. Проведений аналіз дав змогу виявити систему, що, попри певні позитивні кроки, залишається в полоні застарілих підходів і стикається з глибокими системними проблемами.

Так, сутність "внутрішнього аудиту" законодавством визначено як "незалежну, об'єктивну діяльність, що передбачає здійснення аудиторських досліджень (оцінки з надання впевненості) та аудиторського консультування для сприяння розпоряднику бюджетних коштів у досягненні цілей, завдань і конкретних результатів своєї діяльності. Внутрішній аудит сприяє покращенню ефективності і результативності в діяльності розпорядника бюджетних коштів, а також підприємств, установ та організацій, що належать до сфери його управління, шляхом застосування систематичного, послідовного підходу до оцінки і вдосконалення організації та функціонування системи управління, внутрішнього контролю, управління ризиками. Для здійснення внутрішнього аудиту розпорядник бюджетних коштів в особі керівника утворює самостійний структурний підрозділ внутрішнього аудиту, що є підпорядкованим і підзвітним безпосередньо такому керівнику" [1].

Встановлено, що лише з 05 березня 2025 року зміни, внесені у нормативне визначення сутності внутрішнього аудиту, привели його у відповідність до Глобальних стандартів: внутрішньому аудиту законодавчо надано статус незалежної та об'єктивної діяльності, а також чітко виокремлено два напрями його здійснення – "аудиторське дослідження (оцінка з надання впевненості)" та "аудиторське консультування" [1].

Основи для функціонування внутрішнього аудиту в державному секторі України закладені понад 10 років тому і на той час були прогресивним кроком. Однак нині ця нормативна база застаріла.

Постанова КМУ "Деякі питання здійснення внутрішнього аудиту та утворення підрозділів внутрішнього аудиту" від 28.09.2011 № 1001 (далі – ПКМУ № 1001) [2] є основним документом, що визначає загальні рамки для внутрішнього аудиту в органах виконавчої влади. Хоча до нього були внесені зміни, зокрема щодо запровадження сертифікації аудиторів та створення аудиторських комітетів, його основна філософія залишається незмінною з 2011 року.

Наказом МФУ "Про затвердження Стандартів внутрішнього аудиту" від 04.10.2011 № 1247 (далі – Стандарти ВА) [3] затверджено національні стандарти, які є адаптацією попередньої версії міжнародних стандартів. Національні стандарти значно поступаються

новим GIAS 2025 за структурою, акцентами і вимогами, особливо в частині управління, ризик-орієнтованості та використання технологій.

Наказом МФУ "Про затвердження Кодексу етики працівників підрозділу внутрішнього аудиту" від 29.09.2011 №1217 [4] встановлено базові етичні норми для аудиторів державного сектору.

Аналіз цих документів показує, що українська регуляторна база розроблена для умов мирного часу та орієнтована на потреби стабільної бюрократичної системи, в якій дотримуються процедур та виявляють фінансові порушення, але для воєнного часу цього недостатньо. Світ ризиків, технологій та самої професії внутрішнього аудиту зазнав кардинальних змін з 2011 року, що й стало причиною розроблення нових GIAS 2025.

Отже, чинна нормативна база з внутрішнього аудиту ґрунтується на застарілій парадигмі. Спроби її модернізувати через точкові зміни, як-от запровадження сертифікації, є недостатніми, оскільки не змінюють самої філософії. Потрібен повний перегляд підходів, а не косметичний ремонт.

На рівні МО України діяльність з внутрішнього аудиту регулюється власними нормативними актами та внутрішніми документами з внутрішнього аудиту, які конкретизують загальнодержавні вимоги.

Наказом МО України "Про організацію діяльності з внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України" від 15.12.2020 № 475 затверджено Порядок проведення внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України (далі – Порядок проведення ВА) [7], яким врегульовані такі питання:

у загальних положеннях визначено перелік організаційних структур (далі – Установ), у яких Служба ВА уповноважена проводити внутрішні аудити; глосарій; строки проведення внутрішнього аудиту; права та зобов'язання внутрішніх аудиторів під час виконання аудиторського завдання; права особового складу, права та зобов'язання керівника установи, у якій виконується аудиторське завдання; дії аудиторів у разі невиконання посадовими (службовими) особами установи законних вимог аудиторів або перешкоджання їм у виконанні посадових (службових) обов'язків;

забезпечення незалежності й об'єктивності діяльності з внутрішнього аудиту; забезпечення професійної компетентності і ретельності; забезпечення та підвищення якості; сутності діяльності з внутрішнього аудиту; управління діяльністю Служби ВА; планування діяльності з внутрішнього аудиту; організації внутрішнього аудиту; планування аудиторського завдання; виконання аудиторського завдання; документування перебігу та результатів внутрішнього аудиту; моніторингу врахування рекомендацій за результатами внутрішнього аудиту; звітування про діяльність Служби ВА; надання інформації про результати внутрішніх аудитів; консультаційної діяльності Служби ВА; розгляду скарг на дії внутрішніх аудиторів Служби ВА.

Цей наказ – ключовий внутрішній документ, що визначає єдині підходи до роботи Служби внутрішнього аудиту. Наказом аудиторам надано широкі права, зокрема право доступу до будь-яких приміщень, документів і ресурсів, а також право проводити опитування персоналу. Водночас наказ покладає на аудиторів обов'язки дотримуватися стандартів, забезпечувати професійну компетентність та належну ретельність.

Служба внутрішнього аудиту МО України (далі – Служба ВА) складається з Департаменту внутрішнього аудиту (далі – Департамент ВА) та підпорядкованих йому територіальних підрозділів внутрішнього аудиту. Мета, основні завдання і функції Департаменту ВА, порядок його взаємодії з іншими структурними підрозділами та повноваження директора Департаменту ВА визначено Положенням про Департамент ВА [8].

Можна стверджувати, що суб'єктом здійснення внутрішнього аудиту в системі Міноборони є Департамент ВА – самостійний структурний підрозділ апарату МО України, у

підпорядкуванні якого перебувають територіальні управління внутрішнього аудиту.

Для дослідження нормативно-правових вимог до врядування функції внутрішнього аудиту в державному органі та підтримання незалежності і сприяння розвитку діяльності внутрішнього аудиту в системі Міноборони між Міністром оборони України та директором Департаменту ВА у 2023 році підписана "Декларація внутрішнього аудиту МО України" [9], якою визначено мету (місію) та цілі внутрішнього аудиту в МО України, принципи незалежності, основні повноваження та обов'язки Департаменту ВА і територіальних управлінь.

З метою обґрунтування сутності мети внутрішнього аудиту відповідно до національного законодавства, глобальних стандартів та внутрішніх документів з питань внутрішнього аудиту в системі МО України доречно проаналізувати її визначення (табл. 1).

Таблиця 1 – Визначення сутності мети внутрішнього аудиту

Документи	**Сутність визначення**
Стаття 26 Бюджетного кодексу України [1]	Сприяння розпоряднику бюджетних коштів у досягненні цілей, завдань і конкретних результатів своєї діяльності. Внутрішній аудит сприяє покращенню ефективності і результативності в діяльності розпорядника бюджетних коштів, а також підприємств, установ та організацій, що належать до сфери його управління, шляхом застосування систематичного, послідовного підходу до оцінки і вдосконалення організації та функціонування системи управління, внутрішнього контролю, управління ризиками
Глобальні стандарти внутрішнього аудиту [15]	Посилює здатність організації створювати, захищати та підтримувати цінність, надаючи раді та керівництву послуги з незалежного, заснованого на оцінці ризиків та об'єктивного надання впевненості, консалтингу, бачення та прогнозування. Внутрішній аудит покращує здатність організації: успішно досягати поставлених цілей; виконувати процеси управління, ризик-менеджменту і контролю; приймати рішення і забезпечувати нагляд, репутацію та довіру серед зацікавлених осіб; служити інтересам суспільства
Положення про Департамент внутрішнього аудиту [8]	Сприяння Міністру оборони України у досягненні Міноборони визначених цілей, додання цінності Міноборони та підтриманні довіри до нього шляхом системного та послідовного підходу до здійснення ризик-орієнтованих та об'єктивних внутрішніх аудитів, надання рекомендацій, пропозицій і консультацій керівникам підконтрольних суб'єктів та обміну знаннями, що можуть сприяти підвищенню ефективності внутрішнього контролю і управління ризиками, створенню та підтриманню політик і процедур, які забезпечують належне управління державними ресурсами та захист активів від втрат, розвитку доброчесності, підзвітності та ефективності, дотриманню етичних цінностей
Декларація внутрішнього аудиту Міністерства оборони України [9]	Сприяння Міністру у досягненні визначених цілей за допомогою системного та послідовного ризик-орієнтованого підходу до проведення внутрішніх аудитів шляхом оцінки діяльності підрозділів Міноборони, а також додання цінності Міноборони за результатами такої оцінки через надання Міністру об'єктивних і незалежних висновків, рекомендацій (пропозицій) та консультацій з таких питань: удосконалення функціонування системи внутрішнього контролю в тому числі процесів управління ризиками; удосконалення системи управління; поліпшення політик і процедур, які забезпечують запобігання фактам незаконного, неефективного та нерезультативного використання бюджетних коштів та інших активів, виникненню помилок чи недоліків у діяльності Міноборони; посилення підзвітності та підвищення ефективності діяльності Міноборони; розвитку доброчесності через поступовий розвиток культури етичної поведінки, заснованої на дотриманні етичних цінностей

Джерело: сформовано автором на основі [1; 8; 9; 15].

Аналіз сутності мети внутрішнього аудиту показав, що відповідно до Бюджетного кодексу України мета внутрішнього аудиту полягає в сприянні розпоряднику бюджетних коштів у досягненні цілей, завдань і конкретних результатів своєї діяльності. Це передбачає системне оцінювання управлінських процесів, контролю й використання ресурсів. Головна ідея – підвищити ефективність використання бюджетних коштів і мінімізувати ризики невиконання завдань і недосягнення результатів.

Глобальні стандарти ВА визначають, що внутрішній аудит підсилює здатність організації створювати, захищати і підтримувати цінність. Цього досягають через незалежні та об'єктивні послуги визнаних категорій: забезпечення впевненості, консалтингу, бачення та прогнозування. Аудит базується на оцінюванні ризиків та спрямований на поліпшення процесів управління, контролю і прийняття рішень. Основними напрямами вдосконалення є: успішне досягнення поставлених цілей; процеси управління, ризик-менеджменту і контролю; прийняття рішень і нагляду, репутація та довіра зацікавлених осіб; головна ідея – здатність служити інтересам суспільства.

Мету внутрішнього аудиту за внутрішніми документами МО України визначено згідно із Положенням про Департамент ВА – сприяти Міністру оборони у досягненні цілей МО України, додавати цінності і підтримувати довіру. Цього досягають застосуванням ризик-орієнтованих аудитів, наданням рекомендацій та обміном знаннями, а в декларації внутрішнього аудиту уточнено, що додана цінність формується через оцінювання систем внутрішнього контролю, управління ризиками і надання об'єктивних висновків та консультацій. Ключовими об'єктами впливу в МО України є: функціонування системи внутрішнього контролю й управління ризиками; удосконалення систем управління та процедур; запобігання неефективному використанню ресурсів; підзвітність і підвищення ефективності діяльності; розвиток культури етичної поведінки.

Можна зробити висновок, що мета внутрішнього аудиту у всіх трьох джерелах об'єднана ідеєю підсилення здатності організації досягати поставлених цілей. Національне законодавство зосереджене на ефективності управління бюджетними коштами і результатах роботи розпорядника бюджетних коштів. Глобальні стандарти акцентують увагу на об'єктивному наданні впевненості, прогнозуванні та консалтингу. Внутрішні документи Міноборони деталізують застосування цих підходів, розширюючи функції аудиту за рахунок розвитку етичної поведінки та обміну знаннями. Загалом визначення мети внутрішнього аудиту в системі МО України відповідає міжнародним принципам і національним вимогам, забезпечуючи додання цінності, підзвітності і довіри до МО України.

Повноваження з розроблення методологічних документів для проведення внутрішнього аудиту відповідно до Стандартів ВА надано директору Департаменту ВА [3].

Аспекти діяльності з внутрішнього аудиту, які не були визначені у Порядку ВА [7], регламентовано окремими настановами, порядками та методичними рекомендаціями, які розробив і затвердив Департамент внутрішнього аудиту (далі – ДВА).

Щоб визначити, наскільки реалізовано вимоги Стандартів ВА у внутрішніх документах з питань здійснення внутрішнього аудиту Служби ВА, ми провели порівняльний та контент-аналіз внутрішніх документів, визначили рівень відповідності і статус поточного реагування (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння внутрішніх документів з питань здійснення внутрішнього аудиту Служби ВА з вимогами Стандартів ВА

Питання, які мають бути врегульовані внутрішніми документами згідно зі Стандартами ВА [3]	**Регулюючий внутрішній документ ДВА МОУ**	**Рівень відповідності і статус поточного регулювання**
Планування діяльності з внутрішнього аудиту	Тимчасова настанова з ризик-орієнтованого планування (наказ ДВА від 04.12.2017 № 42) [11]	**Частково врегульовано** Існує детальна ризик-орієнтована методологія, що базується на “Тимчасовій настанові” 2017 року, положення якої можуть бути застарілими
Організація та проведення внутрішнього аудиту (планування та виконання аудиторського завдання), документування його перебігу і результатів, контроль за виконанням аудиторських завдань	Порядок документування результатів аудиторських завдань (наказ ДВА від 28.07.2021 № 24) [12]; Порядок планування аудиторських завдань (наказ ДВА від 30.12.2021 № 55 [13]; Порядок виконання аудиторських завдань (наказ директора ДВА від 13.12.2022 № 51 [14]	**Повністю врегульовано** Повноваження, права та основні процеси проведення аудитів добре визначені
Оформлення робочих та офіційних документів, формування і зберігання справ внутрішніх аудитів; складання і підписання аудиторського звіту, порядок та строки надання і розгляду коментарів до аудиторських звітів	Порядок документування результатів аудиторських завдань (наказ ДВА від 28.07.2021 № 24) [12]; Порядок формування і зберігання справ та ведення обліку за результатами внутрішніх аудитів (наказ ДВА від 31.12.2021 № 59) [15]	**Повністю врегульовано** Надзвичайно детальні та надійні процедури для всього життєвого циклу аудиторської документації – від створення до безпечного зберігання
Реалізація результатів внутрішніх аудитів, моніторинг врахування аудиторських рекомендацій та результатів їх впровадження	Порядок проведення ВА (наказ МОУ від 15.12.2020 № 475) [7]	**Частково врегульовано** Немає окремого порядку здійснення моніторингу результатів впровадження рекомендацій
Ведення обліку та накопичення звітних даних за результатами внутрішніх аудитів (у тому числі відповідних форм, шаблонів), вимоги до звітування про результати діяльності з внутрішнього аудиту	Порядок формування і зберігання справ та ведення обліку за результатами внутрішніх аудитів (наказ ДВА від 31.12.2021 № 59 [15]; Про автоматизацію обліку результатів внутрішніх аудитів (наказ директора ДВА від 20.09.2024 № 44)	**Частково врегульовано** Існує ризик для безпеки та цілісності ведення обліку результатів внутрішніх аудитів з використанням MS Excel та баз даних Access
Підходи та методологія проведення внутрішнього оцінювання якості внутрішнього аудиту, вимоги до складання програми забезпечення та підвищення якості внутрішнього аудиту	Порядок проведення внутрішньої оцінки якості внутрішнього аудиту (наказ ДВА від 18.08.2021 № 25 [16]	**Частково врегульовано** Встановлений порядок орієнтований на перевірку дотримання процедур та наявності документів, а не на вимірювання результативності та впливу аудиту.

Питання, які мають бути врегульовані внутрішніми документами згідно зі Стандартами ВА [3]	**Регулюючий внутрішній документ ДВА МОУ**	**Рівень відповідності і статус поточного регулювання**
Розгляд скарг на дії працівників підрозділу внутрішнього аудиту з урахуванням вимог законодавства	Порядок проведення ВА (наказ МОУ від 15.12.2020 № 475) [7]	**Повністю врегульовано** Відсутні задокументовані процедури щодо отримання, проведення розслідування або вирішення скарг на дії внутрішніх аудиторів
Аспекти і порядок взаємодії, обміну інформацією між підрозділом внутрішнього аудиту та іншими структурними підрозділами установи, іншими органами	Порядок проведення ВА (наказ МОУ від 15.12.2020 № 475) [7]	**Частково врегульовано** Наявні нормативні матеріали з цього питання дещо узагальнені, зокрема не визначений внутрішній регламент, що регулював би процедуру взаємодії між іншими департаментами, а посилання на загальні норми недостатні для забезпечення ефективної співпраці
Інші питання діяльності з внутрішнього аудиту (за рішенням керівника підрозділу внутрішнього аудиту)	Методичні рекомендації з проведення оцінки ефективності функціонування системи внутрішнього контролю [17]; Методичні рекомендації з проведення аудитів процесів [18]	**Частково врегульовано** Наявна методологія демонструє використання передових міжнародних практик для проведення оцінювання, водночас немає методології проведення аудитів у найбільш ризикових та специфічних для оборонної сфери напрямах

Джерело: сформовано автором на основі [7; 11–18].

Детальний аналіз питань, позначених у матриці як “Частково врегульовано”, вказує на наявність операційних і стратегічних ризиків.

Так, фундаментальний документ, що визначає методологію ризик-орієнтованого планування [11], має статус “Тимчасової настанови” і був затверджений ще у 2017 році. Збереження статусу “тимчасовий” для такого ключового процесу протягом багатьох років, включно з періодом широкомасштабного вторгнення, є значущим фактом. По-перше, термін “тимчасовий” сам по собі вказує на те, що методологія могла не пройти повну валідацію або вважалася проміжним рішенням, що потребує доопрацювання. Його тривале існування вказує або на інституційну інерцію, або на неспроможність фіналізувати і затвердити постійний оновлений порядок. По-друге, і це критично важливо, перелік ризиків для Міністерства оборони кардинально змінився з 2017 року, а особливо після лютого 2022 року. Методологія, розроблена в умовах, що передували широкомасштабній війні, може бути абсолютно неадекватною для оцінювання поточних ризиків, пов’язаних із масштабною міжнародною допомогою, закупівлями в умовах воєнного стану, прискореною мобілізацією, складною логістикою та новими корупційними загрозами. Це створює стратегічний ризик того, що вся діяльність з планування аудиту базується на потенційно застарілій основі. Якщо сам фундамент аудиторського плану — оцінка ризиків — спирається на неактуальну методологію, то весь аудиторський ресурс може бути спрямований неправильно, зосереджений на застарілих ризиках, тоді як нові, критичні загрози залишаться поза увагою. Це прямо підриває здатність аудиту виконувати свою місію — “додавати цінність” та сприяти досягненню цілей організації.

Невизначений порядок моніторингу результатів впровадження рекомендацій є однією з найпоширеніших причин зниження ефективності функції внутрішнього аудиту. Без надійної системи подальшого контролю аудиторські звіти можуть залишатися на полиці, а функція не досягати своєї головної мети — сприяти вдосконаленню та зменшенню ризиків. Це становить часткову, але значну регуляторну прогалину.

Запровадження єдиного автоматизованого обліку результатів внутрішніх аудитів за допомогою файлів Excel та баз даних Access є тактичним рішенням, спрямованим на вирішення нагальної операційної проблеми, що, однак, має потенційні стратегічні ризики. Вибір технологій вказує на прагнення швидко та з мінімальними витратами вирішити завдання збирання та узагальнення даних з територіальних підрозділів. Однак обрані інструменти не є повноцінними корпоративними системами управління даними і створюють значні ризики у довгостроковій перспективі, серед них можна виокремити:

ризик цілісності даних – MS Excel не має вбудованих надійних механізмів контролю за версіями, валідацією введених даних та аудиторським слідом змін. Це створює високу ймовірність виникнення помилок як під час первинного введення даних, так і в ході їх подальшої консолідації та аналізу;

ризик безпеки – захист файлів Excel та баз даних Access є відносно слабким, особливо в контексті обробки чутливої інформації оборонного відомства. Існує ризик несанкціонованого доступу, копіювання, модифікації або знищення даних;

ризик масштабованості і продуктивності – зі збільшенням обсягу даних та кількості користувачів продуктивність і стабільність рішень на базі цих технологій різко падає, що може призвести до збоїв у роботі і втрати даних.

Таким чином, запровадження автоматизації обліку вирішує поточну проблему (“оптимізація звітності“), однак обрані інструменти створюють нову, глибшу проблему належного управління даними. Це рішення може виявитися тимчасовим і потребуватиме заміни на більш надійну та захищену систему в майбутньому. Такий підхід дещо дисонує із загальним високим рівнем зрілості і системності, який демонструють інші внутрішні документи ДВА.

Наявна методологія проведення внутрішнього оцінювання якості внутрішнього аудиту забезпечує формальний контроль (комплаєнс) — перевірку дотримання процедур та наявності документів. Однак вона не містить інструментів для вимірювання результативності та впливу аудиту. Цей підхід вимірює активність підрозділу, але не дає відповіді на ключове питання: чи сприяє внутрішній аудит досягненню стратегічних цілей МОУ та чи призводить до системних покращень? Таким чином, відсутній механізм оцінювання реальної дієвості та ефективності внутрішнього аудиту, що підтверджує лише часткове врегулювання цього питання.

Ефективний аудит потребує структурованої співпраці з іншими структурними підрозділами установи. Наприклад, взаємодія з юридичним департаментом могла би визначати порядок запиту правових висновків для аудиторських потреб, з департаментом закупівель – встановлювати порядок обміну даними для аналізу ризиків. Відсутність документального регулювання внутрішньої процедури взаємодії створює невизначеність, яка залишає умови для взаємодії на розсуд сторін у кожному конкретному випадку, що неефективно і може призводити до непорозумінь або затримок. Без формалізованих процедур взаємодії підрозділ може бути сприйнятий як зовнішній контролер, а не інтегрована частина системи врядування.

Сучасна методологічна база є надзвичайно розвиненою. Для її подальшого вдосконалення рекомендовано розробити і затвердити методичні рекомендації щодо проведення аудитів у найбільш ризикових та специфічних для оборонної сфери напрямах, таких як інформаційні технології та кібербезпека (IT-аудити), а також аудитів оборонних закупівель з урахуванням особливостей законодавства та практики у цій сфері.

За результатами проведеного аналізу внутрішньої нормативної бази Департаменту внутрішнього аудиту Міноборони можна зробити висновок про її фрагментарність через те, що її складовими є численні окремі накази, що може ускладнювати цілісність розуміння та застосування на практиці. Критично важливо, що ключовий процес — ризик-орієнтоване планування — досі ґрунтується на "тимчасовій" методології, основа якої була розроблена за умов, що кардинально відрізняються від сьогодення, і тому може не відповідати поточним викликам.

З метою проведення фахових консультацій та розгляду питань, пов'язаних із діяльністю з внутрішнього аудиту та підготовки рекомендацій щодо її вдосконалення, при Міністерстві оборони України в 2024 році створено Аудиторський комітет Міністерства оборони України як консультативно-дорадчий орган [20] та затверджено його Положення [21]. Основним завданням Комітету визначено підтримку розвитку діяльності з внутрішнього аудиту в Міністерстві оборони України, яку забезпечують: сприянням організаційній і функціональній незалежності підрозділу; створенням належних умов для здійснення внутрішнього аудиту, у тому числі забезпечення достатньої кількості ресурсів для провадження діяльності з внутрішнього аудиту, недопущення обмежень для організації роботи підрозділу; усуненням умов, що перешкоджають виконанню керівником або працівниками підрозділу їх обов'язків та втручанню в їх діяльність посадових або інших осіб; розглядом стану вжиття необхідних заходів за результатами здійснення внутрішнього аудиту; обговоренням результатів діяльності підрозділу, результатів внутрішнього та зовнішнього оцінювання якості внутрішнього аудиту; поданням пропозицій щодо вдосконалення діяльності з внутрішнього аудиту в державному органі; наданням фахових консультацій та розглядом питань, пов'язаних з організацією та функціонуванням внутрішнього контролю та/або функціонуванням окремих його елементів, підготовкою рекомендацій з їх удосконалення [21].

Створення цього комітету є надзвичайно важливим і позитивним кроком, що відображає розуміння необхідності посилення нагляду за аудиторською функцією та наближення до міжнародних практик управління. Це є прямою, хоч і дещо запізнілою, реакцією на провали в управлінні, які призвели до гучних корупційних скандалів та виявлення масштабних порушень у сфері закупівель. Попередні звіти Рахункової палати і результати внутрішніх перевірок закупівельної агенції чітко вказали на системні збої в управлінні та нагляді, а не лише на окремі помилки виконавців. Глобальні стандарти [10] роблять основний акцент на нагляді з боку незалежного органу рівня ради директорів. Таким чином, утворення Аудиторського комітету в МО України є інституційним визнанням того, що попередня структура нагляду була неадекватною, і спробою виправити першопричину виявлених проблем завдяки створенню механізму високорівневого незалежного контролю, як це передбачено найкращими світовими практиками.

Відповідно до Глобальних стандартів [10] функція внутрішнього аудиту отримує свій мандат від наглядової ради. Мандат визначає повноваження, роль і відповідальність функції внутрішнього аудиту та документується у "Статуті внутрішнього аудиту" (далі – Статут ВА), який затверджує і переглядає рада (рада директорів, аудиторський комітет або інший уповноважений орган). Вище керівництво бере участь в обговоренні очікувань від функції внутрішнього аудиту, які враховує рада під час встановлення мандату внутрішнього аудиту, і підтримує мандат внутрішнього аудиту на всіх рівнях організації.

Мандат встановлює стратегічні повноваження керівника функції ВА, уповноважуючи його на співпрацю з наглядовою радою та вищим керівництвом з питань створення, гарантування незалежності та нагляду за діяльністю аудиту.

Натомість Статут ВА деталізує ці положення на операційному рівні, визначаючи місце підрозділу в організаційній структурі та закріплюючи подвійну систему підзвітності: функціональну підзвітність перед радою (затвердження бюджету, управління людськими

ресурсами) та адміністративну звітність (оцінювання ефективності роботи керівника підрозділу внутрішнього аудиту).

Результати порівняльного аналізу показують, що національна модель врядування внутрішнього аудиту в державному секторі ґрунтується на декларативному документі, який встановлює мету (місію), часткові цілі, принципи незалежності і базовий перелік повноважень та обов'язків внутрішнього аудиту, але не деталізує жодних процедур чи механізмів підтримки та реалізації контролю за діяльністю підрозділу внутрішнього аудиту.

На противагу цьому Глобальні стандарти передбачають затвердження наглядовою радою Статуту ВА. Цей документ має детально регламентувати такі аспекти: мету, повноваження і відповідальність (мандат) внутрішнього аудиту; процеси забезпечення та підтримки його діяльності; процедури оцінювання ефективності роботи керівника підрозділу ВА. Водночас передбачено активне залучення керівництва державного органу до визначення очікувань від функції аудиту, участі у формуванні та перегляді його мандата, а також до його всебічної підтримки на всіх рівнях організації [10].

Ключовим аналітичним завданням статті є систематичний порівняльний аналіз поточного стану організації внутрішнього аудиту в системі Міноборони з еталонною моделлю, представленою Глобальними стандартами 2025 року. Цей аналіз, структурований за п'ятьма доменами GIAS 2025, виявляє глибокі розриви не лише в окремих процедурах, а й фундаментальній філософії та підходах.

Порівняння чітко показує, що проблема не в окремих недоліках, а в тому, що система внутрішнього аудиту в МОУ та GIAS 2025 існує в різних парадигмах: перша — це система контролю за відповідністю, що залишилася в минулому; друга — сучасна система управління, орієнтована на ризики, створення цінності та досягнення стратегічних цілей.

Професіоналізм та компетентність (Домен II). У GIAS 2025 встановлено високі вимоги до знань, навичок та постійного професійного розвитку аудиторів. Це різко контрастує із задокументованими провалами в системі підготовки військових аудиторів в Україні. Чинна система готує фахівців вузького профілю, які не володіють компетенціями, необхідними для аудиту складних оборонних процесів. Національна сертифікація, хоч і є позитивним кроком, має бути оцінена на предмет відповідності міжнародно визнаним сертифікатам, таким як Certified Internal Auditor (CIA), і за змістовим наповненням. Так, попри важливий крок із запровадження національної сертифікації внутрішніх аудиторів у 2023 році, її результати залишаються скромними. Станом на вересень 2025 року лише 58 представників державного сектору отримали відповідні сертифікати [32].

Управління та незалежність (Домен III). У GIAS 2025 існує вимога, що керівник аудиту повинен мати пряму функціональну підзвітність найвищому наглядовому органу (Аудиторському комітету), що гарантує його незалежність. В українській практиці згідно з Постановою № 1001 та наказом № 475 керівник аудиту підпорядкований керівнику установи (Міністру), що створює ризик фільтрації інформації і тиску. Хоча створення Аудиторського комітету є кроком у правильному напрямку, його реальні повноваження та ступінь незалежності ще мають бути доведені на практиці. Розрив полягає у відсутності законодавчо закріпленої функціональної підзвітності саме Аудиторському комітету, а не лише адміністративної — Міністру.

Управління ризиками та планування аудиту (Домен IV). У GIAS 2025 визначено, що план аудиту має базуватися на динамічному, безперервному та всеосяжному оцінюванні ризиків організації. Аудит має бути зосереджений на тому, що найбільше загрожує досягненню цілей МОУ. Натомість результати аудиту закупівельної агенції показують, що планування, ймовірно, є реактивним, а не проактивним. Відсутність зрілої системи управління ризиками (ERM) в Міноборони в цілому унеможливлює побудову справді ризик-орієнтованого аудиту.

Виконання завдань та інтеграція технологій (Домен V). У GIAS 2025 зосереджено увагу на використанні аналізу даних і технологій для забезпечення всебічної впевненості. Це створює прірву в аналізі порівняно з поточними методами в МОУ, які, судячи з усього, залишаються переважно ручними та базуються на вибіркових перевірках. Факт використання таблиць Excel для ведення бази даних постачальників у ключовій закупівельній агенції є символом цього технологічного відставання.

У наведеній нижче (табл. 3) узагальнено ключові розриви між чинною практикою та GIAS 2025, що визначають пріоритети для майбутніх реформ.

Таблиця 3 – Аналіз розривів між межами внутрішнього аудиту в системі МОУ та Глобальними стандартами внутрішнього аудиту 2025 року

Домен та принцип GIAS	Ключова вимога GIAS (узагальнено)	Відповідне регулювання в Україні	Спостережуваний стан у МОУ	Ідентифікований розрив	Пов'язаний ризик та наслідки
Домен II: Етика та професіоналізм	Внутрішні аудитори мають володіти знаннями, навичками та іншими компетенціями, необхідними для виконання своїх обов'язків	НМОУ № 475; ПКМУ № 12 (про сертифікацію)	Задокументовані системні проблеми в підготовці аудиторів: вузька спеціалізація, некомпетентні викладачі, відсутність міждисциплінарних знань	**Фундаментальний розрив у компетенціях.** Аудитори не готові до проведення складних перевірок у сферах логістики, кібербезпеки, IT, розроблення озброєнь та налагодження міжнародних контрактів	**Критичний ризик.** Нездатність аудиторів адекватно оцінювати ризики у ключових сферах призводить до неефективного контролю, що створює умови для збоїв та корупції, як це показано у звіті Рахункової палати
Домен III: Нагляд за функцією ВА	Керівник ВА має прямі та необмежені звітні відносини з наглядовим органом (Аудиторським комітетом)	ПКМУ № 1001; НМОУ № 475	Звітність адміністративно здійснюється перед Міністром, періодично — перед новостворюваним Аудиторським комітетом. Ступінь «необмеженості» доступу формально не гарантований	**Потенційне порушення незалежності.** Звітність не є виключно та функціонально спрямованою до найвищого наглядового органу, що створює ризик втручання керівництва або фільтрації висновків	**Високий ризик.** Критичні висновки, що стосуються вищого керівництва або системних збоїв, можуть бути пом'якшені або затримані, що підриває саму суть внутрішнього аудиту і консервує проблеми, виявлені у закупівлях
Домен IV: Управління функцією ВА	Діяльність ВА має базуватися на ризик-орієнтованому плані, який відповідає стратегічним ризикам та	Стандарти ВА, наказ МФУ № 1247	Планування, ймовірно, є реактивним та орієнтованим на комплаєнс, а не проактивним та	**Відсутність стратегічної ризик-орієнтації.** Аудиторські ресурси витрачаються на менш	**Високий ризик.** Міністерство залишається «сліпим» до нових і стратегічних загроз. Аудит не виконує свою функцію раннього

Домен та принцип GIAS	Ключова вимога GIAS (узагальнено)	Відповідне регулювання в Україні	Спостережуваний стан у МОУ	Ідентифікований розрив	Пов'язаний ризик та наслідки
	цілям організації		ризик-орієнтованим. Через відсутність зрілої системи управління ризиками (ERM) в МОУ «необмеженість» доступу формально не гарантована	значущі перевірки, а стратегічні ризики (наприклад, неефективна система закупівель чи управління активами) залишаються поза увагою	попередження, що призводить до масштабних провалів, які виявляються лише постфактум
Домен IV: Управління функцією ВА	Вимірювання ефективності функції ВА, розробка цілей та методології для оцінювання прогресу досягнення цілей функції та сприяти постійному її вдосконаленню	Стандарти ВА, НМФУ № 1247, НМФУ № 480, НДВА № 25	Чинна методологія (як внутрішня, так і зовнішня) орієнтована на перевірку процесу, а не на вимірювання кінцевого результату та впливу	**Відсутність механізму оцінки реальної дієвості та ефективності аудиту** система не дає інструментів для відповіді на питання щодо досягнення системних покращень та сприяння стратегічним цілям	**Високий ризик.** ВА перетворюється на "аудит заради аудиту", тобто стає самоціллю, а не інструментом покращення. Це призводить до неможливості продемонструвати цінність та втрати довіри до самої системи ВА
Домен V: Надання послуг ВА	ВА має використовувати технології та методи аналізу даних для підвищення ефективності й охоплення аудиту	Не регулюється чітко	Переважно ручні методи та вибіркові перевірки. Використання застарілих інструментів (напр., Excel для ведення обліку)	**Технологічне відставання.** Нездатність аналізувати великі масиви даних (наприклад, усі платіжні транзакції) та здійснювати безперервний моніторинг	**Середній ризик.** Пропускаються шахрайські схеми, аномалії та помилки, які можна виявити лише за допомогою аналітики. Аудит залишається неефективним і трудомістким

Джерело: сформовано автором на основі [2; 3; 5; 7; 10].

Окремо зазначимо, що положення GIAS 2025 можуть бути застосовані для служб внутрішнього аудиту і в приватному, і державному секторі. Так, окремим розділом GIAS 2025 передбачено специфіку застосування Глобальних стандартів внутрішнього аудиту в державному секторі, зумовлену особливостями його функціонування. Це потребує від функції внутрішнього аудиту, крім базових вимог, додаткового врахування низки ключових принципів: дотримання вимог нормативно-правових актів; сприяння підвищенню результативності, ефективності й економічності державних процесів і програм; контролю за належним захистом

та справедливим використанням державних ресурсів під час надання послуг; оцінювання відповідності поточної діяльності організації її стратегічним завданням і цілям. Важливими аспектами внутрішнього аудиту в державному секторі можна вважати: ризик-орієнтований підхід; баланс між аудиторськими й консультаційними послугами; забезпечення досягнення цілей установи через процеси управління, управління ризиками та контролю; сприяння спроможності організації служити інтересам суспільства; професійну компетентність аудиторів; незалежність та об'єктивність аудиту [10].

Висновки

Проведене дослідження показало, що в МО України сформовано базову нормативну основу для функціонування внутрішнього аудиту, яка загалом узгоджується з національним законодавством та ключовими принципами Глобальних стандартів. Водночас виявлено низку аспектів, що потребують подальшого вдосконалення, актуалізації та чіткої регламентації. Для вирішення цих завдань у статті запропоновано стратегічні рекомендації, реалізація яких допоможе побудувати в системі МО України ефективну та незалежну функцію внутрішнього аудиту, що повною мірою відповідатиме вимогам Глобальних стандартів (GIAS 2025).

Рекомендації згруповані за чотирма пріоритетними напрямами:

1. Фундаментальні реформи нормативної бази – повний перегляд ключових урядових та відомчих нормативних актів для їх гармонізації з принципами, структурою і термінологією Глобальних стандартів 2025 року.
2. Зміцнення управління та незалежності – приведення повноважень новоствореного Аудиторського комітету МО України до вимог Глобальних стандартів ВА.
3. Побудова системи забезпечення сучасного кадрового потенціалу – відмова від застарілих підходів до навчання та впровадження моделі компетенцій, гібридної моделі кадрового забезпечення (поєднання штатних фахівців із залученням зовнішніх експертів) та створення спеціалізованих аудиторських груп для роботи з найвищими ризиками (закупівлі, кібербезпека, шахрайство).
4. Впровадження ризик-орієнтованої і технологічної методології проведення внутрішнього аудиту – інтеграція аудиту з системою управління ризиками та вкладення інвестицій у сучасні програмні платформи для аналізу даних.

Реалізація цих стратегічних рекомендацій дасть змогу перетворити внутрішній аудит у системі МО України з формального контрольного органу на потужний інструмент підвищення ефективності оборонного менеджменту, зміцнення довіри та забезпечення стійкості України у довгостроковій перспективі.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Бюджетний кодекс України: Закон України від 08.07.2010 № 2456-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2542-14#Text (дата звернення: 10.10.2025).
2. Кабінет Міністрів України. Постанова від 28.09.2011 № 1001 «Порядок здійснення внутрішнього аудиту та утворення підрозділів внутрішнього аудиту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1001-2011-%D0%BF#Text (дата звернення: 10.10.2025).

3. Міністерство фінансів України. Наказ від 04.10.2011 № 1247 «Про затвердження Стандартів внутрішнього аудиту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1219-11#Text (дата звернення: 10.10.2025).
4. Міністерство фінансів України. Наказ від 29.09.2011 № 1217 «Про затвердження Кодексу етики працівників підрозділу внутрішнього аудиту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1195-11#Text (дата звернення: 10.10.2025).
5. Кабінет Міністрів України. Постанова від 12.01.2022 № 12 «Про запровадження сертифікації працівників підрозділів внутрішнього аудиту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/12-2022-%D0%BF#Text (дата звернення: 10.10.2025).
6. Міністерство фінансів України. Наказ від 18.05.2022 № 144 «Порядок проведення сертифікації працівників підрозділів внутрішнього аудиту». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0676-22#Text (дата звернення: 10.10.2025).
7. Міністерство оборони України. Наказ від 15.12.2020 № 475 «Про організацію діяльності з внутрішнього аудиту в системі Міністерства оборони України». URL: https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-mou-n-475-vid-15-12-2020-pro-organizatsiiu-diialnosti-z-vnutrishnogo-auditu-v-sistemi-ministerstva-oboroni-ukraini (дата звернення: 10.10.2025).
8. Міністерство оборони України. Наказ від 05.06.2019 № 280 «Про затвердження Положення про Департамент внутрішнього аудиту Міністерства оборони України». URL: https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-ministerstva-oboroni-ukraini-n-280-vid-05-06-2019-pro-zatverdzhennia-polozhennia-pro-departament-vnutrishnogo-auditu-ministerstva-oboroni-ukraini (дата звернення: 10.10.2025).
9. Декларація внутрішнього аудиту Міністерства оборони України. URL: https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/povnovazhennya-pragnennya-meta-ta-osnovni-princzipi-vnutrishnogo-auditu (дата звернення: 10.10.2025).
10. Глобальні стандарти внутрішнього аудиту. URL: https://theiia.org.ua/wp-content/uploads/2024/12/global-internal-audit-standards-ukrainian.pdf (дата звернення: 10.10.2025).
11. Тимчасова настанова з ризик-орієнтованого планування: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 04.12.2017 № 42. 26 с.
12. Порядок документування результатів аудиторських завдань: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 28.07.2021 № 24. 56 с.
13. Порядок проведення внутрішньої оцінки якості внутрішнього аудиту: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 18.08.2021 № 25. 64 с.
14. Порядок виконання аудиторських завдань: наказ директора Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 13.12.2022 № 51. 61 с.
15. Порядок планування аудиторських завдань: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 30.12.2021 № 55. 88 с.
16. Порядок формування і зберігання справ та ведення обліку за результатами внутрішніх аудитів: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 31.12.2021 № 59. 32 с.
17. Методичні рекомендації з проведення оцінки ефективності функціонування системи внутрішнього контролю: наказ Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 25.10.2021 № 43. 40 с.
18. Методичні рекомендації з проведення аудитів процесів: наказ директора Департаменту внутрішнього аудиту Міністерства оборони України від 08.12.2023 № 75. 46 с.
19. Порядок підготовки доповідей за результатами виконання аудиторських завдань: наказ Департаменту внутрішнього аудиту МО України від 04.04.2023 № 23. 11 с.

20. Міністерство оборони України. Наказ від 07.04.2024 № 223/нм «Про утворення Аудиторського комітету Міністерства оборони України». URL: https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-mou-vid-07-04-2024-n-223-pro-utvorennia-auditorskogo-komitetu-ministerstva-oboroni-ukraini (дата звернення: 10.10.2025).
21. Міністерство оборони України. Наказ від 14.05.2024 № 313 «Положення про Аудиторський комітет Міністерства оборони України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0313322-24#Text (дата звернення: 10.10.2025).
22. Ульянов К.Є., Бариніна М.В. Еволюція поглядів на призначення фінансово-контрольних органів Міністерства оборони України. *Social Development and Security*. 2018. Вип. 2 (4). С. 59–68. http://doi.org/10.5281/zenodo.1237042 (дата звернення: 10.10.2025).
23. Ігнатенко А.В., Лисенко М.В., Лойшин А.А., Мазка С.А. Аналіз процесу становлення внутрішнього аудиту в Міністерстві оборони України. *Social Development and Security*. 2019. Вип. 9 (1). С. 40–59. http://doi.org/10.33445/sds.2019.9.1.4 (дата звернення: 10.10.2025).
24. Підвищення ефективності державного фінансового контролю за рахунок впровадження системи ризик-орієнтованого планування / Ю. Луцик та ін. *Social Development and Security*. 2019. Вип. 9 (4). С. 41–60. DOI: http://doi.org/10.33445/sds.2019.9.4.3 (дата звернення: 10.10.2025).
25. Методичні підходи до визначення чисельності персоналу служби внутрішнього аудиту Міністерства оборони України в ризик-орієнтованому плануванні діяльності / А. Лойшин та ін. *Social Development and Security*. 2024. Вип. 14 (5). С. 247–265. https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.24 (дата звернення: 10.10.2025).
26. Луцик Ю.О., Череватий Т.В., Кравчук Ю.О. Європейські стандарти внутрішнього аудиту та перспективи їх впровадження в Міністерстві оборони України. *International Scientific Journal "Internauka". Series: "Economic Sciences"*. 2024. https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-3 (дата звернення: 10.10.2025).
27. Луцик Ю.О., Череватий Т.В., Кравчук Ю.О. Роль і місце внутрішнього контролю та внутрішнього аудиту в процесі здійснення оборонних закупівель. *Modern Economics*. 2024. № 43. С. 51–56. https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-07 (дата звернення: 10.10.2025).
28. Крамаренко І. Механізм внутрішнього аудиту в оборонному секторі України: виклики та перспективи. *Наукові перспективи. Серія: «Державне управління»*. 2025. № 6 (60). С. 11. https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-6(60)-192-202 (дата звернення: 10.10.2025).
29. Богданьок О. У Міноборони розповіли про результати аудиту Агенції оборонних закупівель // *Суспільне. Новини*. 2025. URL: https://suspilne.media/939699-u-minoboroni-rozpovili-pro-rezultati-auditu-agencii-oboronnih-zakupivel/ (дата звернення: 10.10.2025).
30. Рахункова палата затвердила Звіт за результатами аудиту діяльності Міноборони у сфері закупівлі, розробки і модернізації озброєння та військової техніки / Рахункова палата України. 2024. URL: https://rp.gov.ua/PressCenter/News/?id=1948 (дата звернення: 10.10.2025).
31. Міністерство фінансів України. Звітна інформація про стан функціонування державного внутрішнього фінансового контролю у 2023 році та 2024 році. URL: https://www.mof.gov.ua/uk/informacija-pro-stan-vnutrishnogo-kontrolju-ta-vnutrishnogo-auditu (дата звернення: 10.10.2025).
32. Міністерство фінансів України. Реєстр сертифікованих внутрішніх аудиторів. URL: https://mof.gov.ua/uk/certification_of_internal_auditors-628 (дата звернення: 10.10.2025).

References

1. Budget Code of Ukraine (No. 2456-VI). (2010). Law of Ukraine On the Budget Code of Ukraine of July 8, 2010. Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2542-14
2. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2011, September 28). Resolution No. 1001 On the Procedure for Conducting Internal Audit and Establishment of Internal Audit Units. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1001-2011-п
3. Ministry of Finance of Ukraine. (2011, October 4). Order No. 1247 On Approval of Internal Audit Standards. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1219-11
4. Ministry of Finance of Ukraine. (2011, September 29). Order No. 1217 On Approval of the Code of Ethics for Internal Audit Unit Employees. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1195-11
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, January 12). Resolution No. 12 On the Introduction of Certification for Internal Audit Unit Employees. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/12-2022-п
6. Ministry of Finance of Ukraine. (2022, May 18). Order No. 144 On the Procedure for Certification of Internal Audit Employees. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0676-22
7. Ministry of Defence of Ukraine. (2020, December 15). Order No. 475 On Organizing Internal Audit Activities in the Ministry of Defence of Ukraine System (26 p.). Retrieved October 10, 2025, from https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-mou-n-475-vid-15-12-2020-pro-organizatsiiu-diialnosti-z-vnutrishnogo-auditu-v-sistemi-ministerstva-oboroni-ukraini
8. Ministry of Defence of Ukraine. (2019, June 5). Order No. 280 On Approval of the Regulation on the Internal Audit Department of the Ministry of Defence of Ukraine. Retrieved October 10, 2025, from https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-ministerstva-oboroni-ukraini-n-280-vid-05-06-2019-pro-zatverdzhennia-polozhennia-pro-departament-vnutrishnogo-auditu-ministerstva-oboroni-ukraini
9. Ministry of Defence of Ukraine. (n.d.). Internal Audit Declaration of the Ministry of Defence of Ukraine. Retrieved October 10, 2025, from https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/povnovazhennya-pragnennya-meta-ta-osnovni-princzipi-vnutrishnogo-auditu
10. The Institute of Internal Auditors Ukraine. (2024). Global Standards for Internal Audit. Retrieved October 10, 2025, from https://theiia.org.ua/wp-content/uploads/2024/12/global-internal-audit-standards-ukrainian.pdf
11. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2017, December 4). Temporary Instruction on Risk-Based Planning (26 p.).
12. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2021, July 28). Procedure for Documenting the Results of Audit Assignments (56 p.).
13. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2021, August 18). Procedure for Conducting Internal Quality Assessments of Internal Audit (64 p.).
14. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2022, December 13). Procedure for Executing Audit Assignments (61 p.).
15. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2021, December 30). Procedure for Planning Audit Assignments (88 p.).
16. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2021, December 31). Procedure for Forming and Storing Files and Keeping Records of Internal Audits (32 p.).
17. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2021, October 25). Methodological Recommendations for Assessing the Effectiveness of the Internal Control

System (40 p.).
18. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2023, December 8). Methodological Recommendations for Conducting Process Audits (46 p.).
19. Department of Internal Audit, Ministry of Defence of Ukraine. (2023, April 4). Procedure for Preparing Reports Based on Audit Assignments (11 p.).
20. Ministry of Defence of Ukraine. (2024, April 7). Order No. 223/nm On the Establishment of the Audit Committee of the Ministry of Defence of Ukraine. Retrieved October 10, 2025, from https://mod.gov.ua/diyalnist/normativno-pravova-baza/nakaz-mou-vid-07-04-2024-n-223-pro-utvorennia-auditorskogo-komitetu-ministerstva-oboroni-ukraini
21. Ministry of Defence of Ukraine. (2024, May 14). Order No. 313 Regulation on the Audit Committee of the Ministry of Defence of Ukraine. Retrieved October 10, 2025, from https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0313322-24
22. Ulyanov, K. Ye., & Barynina, M. V. (2018). Evolution of views on the purpose of financial control bodies of the Ministry of Defence of Ukraine. Social Development and Security, 2(4), 59–68. https://doi.org/10.5281/zenodo.1237042
23. Ihnatenko, A. V., Lysenko, M. V., Loishyn, A. A., & Mazka, S. A. (2019). Analysis of the formation process of internal audit in the Ministry of Defence of Ukraine. *Social Development and Security, 9*(1), 40–59. https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.1.4
24. Lutsyk, Y., et al. (2019). Improving the efficiency of public financial control through the introduction of risk-based planning systems. *Social Development and Security, 9*(4), 41–60. https://doi.org/10.33445/sds.2019.9.4.3
25. Loishyn, A., et al. (2024). Methodological approaches to determining the personnel number of the internal audit service of the Ministry of Defence of Ukraine in risk-based planning activities. *Social Development and Security, 14*(5), 247–265. https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.5.24
26. Lutsyk, Y. O., Cherevatyi, T. V., & Kravchuk, Y. O. (2024). European internal audit standards and prospects for their implementation in the Ministry of Defence of Ukraine. *International Scientific Journal "Internauka". Series: Economic Sciences*. https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-3
27. Lutsyk, Y. O., Cherevatyi, T. V., & Kravchuk, Y. O. (2024). The role and place of internal control and internal audit in the process of defence procurement. *Modern Economics, 43*, 51–56. https://doi.org/10.31521/modecon.V43(2024)-07
28. Kramarenko, I. (2025). Mechanism of internal audit in the defence sector of Ukraine: challenges and prospects. *Scientific Perspectives. Series: Public Administration, 6*(60), 11. https://doi.org/10.52058/2708-7530-2025-6(60)-192-202
29. Bohdanok, O. (2025, n.d.). Ministry of Defence announced results of the Defence Procurement Agency audit. *Suspilne News*. Retrieved October 10, 2025, from https://suspilne.media/939699-u-minoboroni-rozpovili-pro-rezultati-auditu-agencii-oboronnih-zakupivel/
30. Accounting Chamber of Ukraine. (2024). Report on the audit results of the Ministry of Defence activities in procurement, development and modernization of weapons and military equipment. Retrieved October 10, 2025, from https://rp.gov.ua/PressCenter/News/?id=1948
31. Ministry of Finance of Ukraine. (n.d.). Reporting information on the state of functioning of state internal financial control in 2023 and 2024. Retrieved October 10, 2025, from https://www.mof.gov.ua/uk/informacija-pro-stan-vnutrishnogo-kontrolju-ta-vnutrishnogo-auditu
32. Ministry of Finance of Ukraine. (n.d.). Register of certified internal auditors. Retrieved October 10, 2025, from https://mof.gov.ua/uk/certification_of_internal_auditors-628

Analysing the Growth of Biofloc Technology in the Regional Economy of Bangladesh

Аналіз зростання технології “Biofloc” у регіональній економіці Бангладеш

S.M. Naser Arafat
BBA Graduate, Department of Business Administration, MBA in Masters in Business Administration – Gopalganj Science and Technology University, e-mail: smbishal98@gmail.com

С.М. Насер Арафат
Випускник програми Bachelor of Business Administration, кафедра ділового адміністрування, Магістр ділового адміністрування (MBA), e-mail: smbishal98@gmail.com

North Western University, Khulna, Bangladesh

Північно-Західний університет, м. Кхулна, Бангладеш

Received: August 21, 2025 | Revised: September 09, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.22

Purpose. The purpose of the article is to analyse the growth, economic significance, and practical effectiveness of Biofloc Technology in the regional economy of Bangladesh, assessing its contribution to fish production, employment generation, and sustainable aquaculture development.

Method. The study applies a descriptive research design supported by secondary data analysis. Economic indicators, cost–benefit assessments, and production efficiency data were examined to compare traditional pond aquaculture with Biofloc-based systems. Comparative evaluation of protein retention, stocking density performance, feed utilisation, and microbial activity was used to assess technological effectiveness.

Findings. The results demonstrate that Biofloc Technology significantly increases production efficiency while reducing feed costs, space requirements, and dependence on traditional pond systems. Evidence shows higher survival rates, increased biomass output, improved nitrogen utilisation, and enhanced economic returns. The technology supports youth entrepreneurship, reduces unemployment, and promotes more resilient and sustainable aquaculture in Bangladesh.

Theoretical implications. The study strengthens theoretical perspectives on sustainable aquaculture and microbial-based nutrient recycling systems. It confirms that Biofloc Technology aligns with circular-economy principles through “upcycling” waste nitrogen into high-value microbial protein, contributing to ecological sustainability and resource-efficient production models.

Practical implications. The findings support the adoption of Biofloc Technology as a cost-effective and highly productive aquaculture method suitable for regions with limited land and water resources. Policy makers and stakeholders may utilise the results to promote entrepreneurship, youth employment, small-scale fish farming, and national strategies oriented toward food security and economic growth.

Paper type. Empirical research article.

Key words: Biofloc, unemployment, economy, growth, effectiveness.

Мета дослідження. Аналіз зростання, економічної значущості та практичної ефективності технології Biofloc у регіональній економіці Бангладеш, а також оцінювання її внеску у збільшення рибної продукції, створення робочих місць та розвиток сталого аквакультурного сектору.

Метод дослідження. У роботі застосовано описовий дослідницький підхід з використанням аналізу вторинних даних. Проведено оцінювання економічних показників, аналіз витрат і вигод, а також порівняння ефективності виробництва між традиційним ставковим рибництвом та системами на основі технології Biofloc. Додатково проаналізовано показники утримання білка, густоти посадки, використання кормів та мікробної активності.

Результати дослідження. Отримані результати свідчать, що технологія Biofloc істотно підвищує ефективність виробництва, знижує витрати на корми та скорочує потребу у великих площах для риборозведення. Підтверджено вищі рівні виживаності, збільшення біомаси, поліпшення використання азоту та зростання економічної віддачі. Технологія сприяє розвитку молодіжного підприємництва, зменшенню безробіття та формуванню більш стійкої та продуктивної аквакультури в Бангладеш.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження підсилює теоретичні засади сталого розвитку аквакультури та мікробних систем повторного використання поживних речовин. Показано, що технологія Biofloc узгоджується з принципами циркулярної економіки, оскільки трансформує азотовмісткі відходи у високоцінний мікробний білок, сприяючи екологічній стійкості та ресурсоефективності.

Практична цінність дослідження. Практичні результати підтверджують доцільність упровадження технології Biofloc як маловитратного та високопродуктивного методу аквакультури, особливо у регіонах із дефіцитом земельних та водних ресурсів. Отримані дані можуть бути використані державними органами та зацікавленими сторонами для стимулювання підприємництва, розширення зайнятості молоді, підтримки малих рибних господарств і реалізації стратегій, спрямованих на зміцнення продовольчої безпеки та економічне зростання.

Тип статті. Емпірична дослідницька стаття.

Ключові слова: Біофлок, безробіття, економіка, зростання, ефективність.

Introduction

With almost seven billion people on earth, the demand for aquatic food continues to increase and hence, the expansion and intensification of aquaculture production are highly required. Ifremer was responsible for inventing this technology. The prime goal of aquaculture expansion must be to produce more aquaculture products without significantly increasing the usage of the basic natural resources of water and land (Avnimelech, 2009). The second goal is to develop sustainable aquaculture systems that will not damage the environment (Naylor et al., 2000). The third goal is to

build systems that provide an equitable cost/benefit ratio to support economic and social sustainability (Avnimelech, 2009). All these three prerequisites for sustainable aquaculture development can be met by Biofloc technology.

Biofloc technology was first developed in the early 1970s at Ifremer-COP (French Research Institute for Exploitation of the Sea, Oceanic Center of the Pacific) with different penaeid species including P. monodon, *Fenneropenaeus merguiensis*, *L. vannamei* and *L. stylirostris*. During the 1980s and the beginning of the 1990s, research continued in Israel and the USA. In 1988, the Sopomer farm in Tahiti (French Polynesia) also implemented the technology. Nowadays, BFT has been successfully expanded in large-scale shrimp farming in Asia, Latin and Central America, as well as in small-scale greenhouses in the USA, South Korea, Brazil, Italy, China, and others. This Biofloc Technology is a very new concept in Bangladesh. Biofloc technology is a technique for enhancing water quality in aquaculture through balancing carbon and nitrogen in the system. Basically, it was developed to control overproduction. This technology is also called a waste treatment system. The technology has recently gained attention as a sustainable method to control water quality, with the added value of producing proteinaceous feed, and Biofloc systems were also developed to prevent the introduction of disease to a farm from incoming water. If carbon and nitrogen are well balanced in the solution, ammonium in addition to organic nitrogenous waste will be converted into bacterial biomass (Schneider et al., 2005). By adding carbohydrates to the pond, heterotrophic bacterial growth is stimulated and nitrogen uptake through the production of microbial proteins takes place (Avnimelech, 1999). This enhanced nitrogen uptake by bacterial growth decreases the ammonium concentration more rapidly than nitrification (Hargreaves, 2006).

So, biofloc technology is not only effective in treating wastewater but also provides nutrition to the aquatic animal. This technology has made fishery production more efficient and less time-consuming, and by applying this technology the fishery industry will boom in the future as producers will get more output at lower cost. Export will increase, as well as economic growth will accelerate in the country.

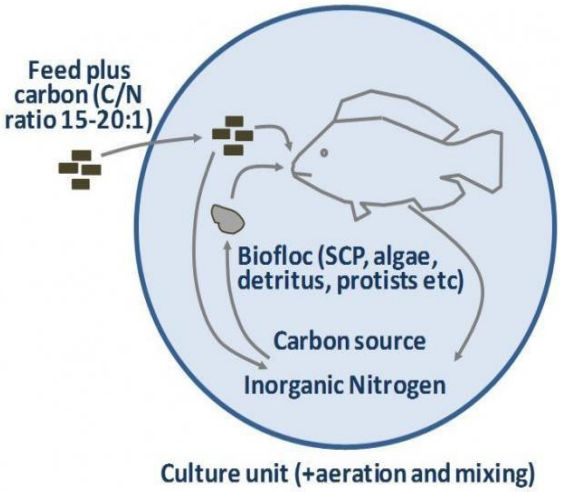


Figure 1 – Biofloc Technology Process in Bangaldesh

Literature Review

Biofloc technology makes it possible to minimize water exchange and water usage in aquaculture systems by maintaining adequate water quality within the culture unit, while producing low-cost bioflocs rich in protein, which in turn can serve as feed for aquatic organisms (Crab, 2010; Crab et al., 2007, 2009, 2010a). Compared to conventional water treatment technologies used in aquaculture, Biofloc technology provides a more economical alternative (a decrease of water

treatment expenses by approximately 30%), and additionally, a potential gain on feed expenses (the efficiency of protein utilization is twice as high in Biofloc technology systems when compared to conventional ponds), making it a low-cost sustainable component for future aquaculture development (Avnimelech, 2009; De Schryver et al., 2008). Conventional technologies to manage and remove nitrogen compounds are based on either earthen treatment systems or a combination of solids-removal and nitrification reactors (Crab et al., 2007).

The strength of Biofloc technology lies in its 'cradle-to-cradle' concept as described by McDonough and Braungart (2002), in which the term "waste" in fact does not exist. Translated into Biofloc terms, waste nitrogen generated by uneaten feed and excreta from the cultured organisms is converted into proteinaceous feed available for those same organisms. Instead of "downcycling," a phenomenon often found in conventional recycling attempts, the technique actually "upcycles" by closing the nutrient loop. Hence, water exchange can be decreased without deterioration of water quality and, consequently, the total amount of nutrients discharged into adjacent water bodies may be reduced (Lezama-Cervantes & Paniagua-Michel, 10). In this context, Biofloc technology can also be used in the specific case of maintaining appropriate water temperature, good water quality, and high fish survival in low- or no-water-exchange greenhouse ponds, helping to overcome periods of lower temperature during winter. Indeed, fish survival levels in overwintering tilapia cultured in greenhouse ponds with Biofloc technology were excellent, being 97 ± 6% for 100 g fish and 80 ± 4% for 50 g fish (Crab et al., 2009).

The key to minimizing possible negative impacts of climate change on aquaculture and maximizing opportunities will be understanding and promoting a wide range of inventive adaptive technologies, such as Biofloc technology combined with greenhouse ponds.

Economic Viability — Cost reduction and profit calculation comparing traditional pond fish farming and Biofloc technology

First, it is necessary to identify which fish species are eligible for Biofloc technology: shrimp, tilapia, catfishes such as Pungas, Magur, Shing, Pabda, Koi, sea bass, salmon, cod, groupers, soles, small indigenous species (e.g., Bele), crabs, lobsters, mussels, clams, etc. To provide a clearer understanding, the following table presents an economic analysis of culturing tilapia, comparing pond fish farming and Biofloc technology in terms of costs and profits.

Table 1 – Economic Cost–Benefit Analysis of Biofloc Technology

Investment (BDT)	CF	WB	BFT	RWB
Pond Preparation	67,500	67,500	67,500	67,500
Cost of Fingerlings	750.00	750.00	750.00	750.00
Feed Cost	3,240.00	**1,261.00**	**1,625.00**	—
Operational Cost	304.30	155.88	500.00	183.18
Total Cost	4,361.80	2,234.40	**1,317.50**	2,625.70
Production (kg/treatment)	92.340	75.600	62.20	72.600
Gross Income from Sale	5,540.40	4,536.00	3,732.00	4,356.00
Net Profit while Starting/6 Months	1,178.60	2,301.60	**2,414.50**	1,730.30
Net Profit/Harvest/6 Months	48,510.0	94,749.2	99,453.3	71,230.7

Source: Economic analysis of over-wintered culture of mono-sex tilapia in ponds for 6 months' experimentation (Hossain, M.A., A.A. Hossain & N. Sultana, 2005).

Here, the sale price of tilapia = Taka 120.00/kg; operational cost was considered as 7.5% of total cost.

[Abbreviations: CF = Commercial Feed; WB = Wheat Bran; BFT = Biofloc Technology; RWB = Rice and Wheat Bran.]

From this table, it can be observed that production was the highest in the CF group receiving commercial tilapia feed, but the highest net profit was obtained in the BFT system due to the contribution of periphyton. Some profits were also recorded in the WB and RWB treatments; however, these values were lower than those of BFT, and economically farmers may not receive significant benefits from WB and RWB.

Therefore, the results of the present study suggest that it is possible to successfully culture monosex GIFT tilapia using BFT, and that the culture of monosex tilapia with periphyton is more economical and beneficial compared to wheat bran and even commercial tilapia feed under the farming conditions of Bangladesh (Hossain, M.A., A.A. Hossain & N. Sultana, 2005). According to the Department of Fisheries in Bangladesh, the average per-hectare fish production from ponds is 4,851 kilograms, which means around 20 kilograms per decimal. In contrast, in this experiment they obtained 600 kilograms from half a decimal, which clearly demonstrates the remarkable growth performance and harvest rate associated with Biofloc technology. Entrepreneurs report that this is 30 percent higher than the usual production from ponds using traditional fish-farming practices. Technology itself is a remarkable tool (Sykh Siraj, 2019).

Figure 2 – Fish Production in Biofloc Technology

Research Methodology

There are mainly three types of research: exploratory research, descriptive research, and causal research. To complete my research paper on “Impacts of Biofloc Technology on the Economy in Bangladesh — A precise discussion on how Biofloc technology has developed our fisheries sector, reduced unemployment, and increased our economic growth rate because of its cost-effective nature”, I have conducted this study using the descriptive research method. By following the descriptive research method, I have attempted to examine the existing present scenario of Biofloc technology in Bangladesh, and I have also tried to evaluate its economic implications by identifying the unemployment rate, conducting cost–profit calculations, and analyzing the practical use of Biofloc technology in our fisheries sector.

There are two types of data sources: (1) primary sources and (2) secondary sources. In any kind of research paper, it is generally necessary to use both primary and secondary data sources. They differ from each other in several essential ways.

1 How Biofloc Technology Works

Heterotrophic bacteria feed on organic matter. Basically, the process follows this reaction: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + energy$

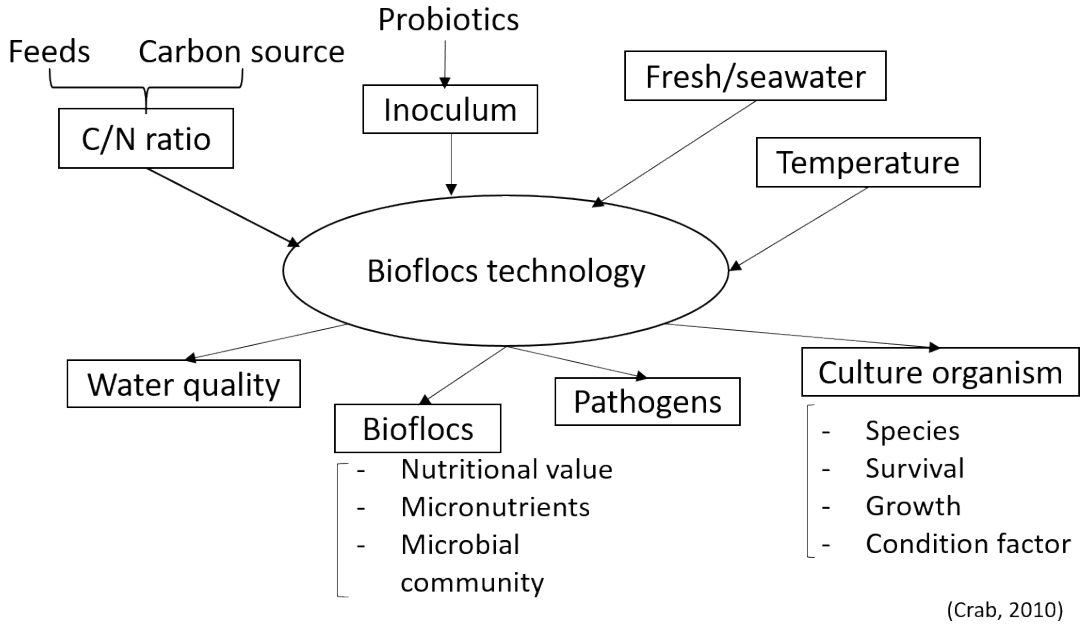


Figure 3 – The working process of Biofloc Technology

But bacteria are made of protein, so they need nitrogen. They use the chemical energy in organic substrates and consume oxygen (although there are anaerobic bacteria). Then heterotrophic bacterial growth is stimulated, and nitrogen uptake occurs through the production of microbial proteins. If carbon and nitrogen are well balanced in the solution, ammonium together with organic nitrogenous waste will be converted into bacterial biomass.

The bacteria then absorb nitrogen from the water and help maintain water quality. Microbial activity degrades waste, partly into CO_2 and approximately 59% into microbial biomass. Normally, there is not enough nitrogen in ponds for new cell production. However, carbon-rich and protein-poor materials (carbohydrates, CH compounds) such as starch or cellulose (flour, molasses, cassava) can be added. The additional purpose is to keep the C/N ratio higher than 10. The bacteria form an important part of the food chain. We can manipulate microbial activity to control nitrogen levels in the pond, and they also seem to improve disease protection.

2 Effectiveness of Biofloc Technology in the Bangladesh Economy

BFT has several benefits compared to semi-intensive ponds and Recirculating Aquaculture Systems (RAS). It can improve biosecurity, feed conversion ratio, water-use efficiency, land-use efficiency, water quality, and reduce sensitivity to light fluctuations. However, there are also some disadvantages: it requires high energy for mixing and aeration, it has a reduced response time because water respiration rates are elevated, it requires alkalinity supplementation, and it can cause an increase in nitrate levels within the system.

Use of 30% protein feed resulted in 55 tons/ha in 51 days; use of 20% protein feed resulted in 76 tons/ha in 51 days — a 31% reduction in feed cost. Use of 40% protein feed produced 448 kg/ha in 94 days; use of 25% protein feed plus tapioca flour produced 644 kg/ha in 94 days, increasing nitrogen retention from 20% to 45%. Supplementation of 30% protein feed with molasses had no effect on growth. At a C/N ratio of 10, production reached 445 kg/ha in 120 days; at a C/N ratio of 20 (by addition of tapioca starch), production reached 583 kg/ha in 120 days. Feeding 35% protein feed resulted in 21 tons/ha in 84 days. Addition of starch and labeled 15N showed that 25% of feed protein could be

replaced with Biofloc-derived protein. Feed plus wheat flour resulted in 31 tons/ha in 84 days, while 35% protein feed plus wheat flour produced 30 tons/ha in 84 days. Normal feed produced 3.1 tons/ha in 35 days. Biofloc incorporation in feed at 7.8% resulted in 4.7 tons/ha in 35 days, and 15.6% incorporation produced 4.6 tons/ha in 35 days. Increasing the C/N ratio by carbohydrate addition enhanced shrimp production, increasing nitrogen retention from added feed by 13%.

Glycerol-grown Biofloc controlled quorum-sensing-regulated bioluminescence in *Vibrio harveyi*, demonstrating the probiotic effect of Biofloc. PL-15 grown for 45 days in BFT systems with and without artificial substrate at higher stocking densities showed higher weight in substrate-added treatments (0.40 g) without affecting water quality. Inclusion of whole shrimp floc and floc fractions in formulated diets improved shrimp growth rates without affecting survival. Ammonia reduction through improving the C/N ratio by addition of tapioca flour resulted in higher growth rates at C/N ratios of 10 and 20, with ratios of 20 and 30 being even more effective.

Regarding finfish species, Biofloc Technology was effective in combinations with tilapia, producing good yields. Maize was used as the carbohydrate source. Bioflocs developed using different carbohydrate sources (glycerol, acetate, and glucose) were also used as feed. Glycerol-based Bioflocs had higher protein content and resulted in higher prawn survival. The study concluded that the selection of carbohydrate sources determines floc quality.

BFT application at different stocking densities showed that 200 BFT produced the highest survival rate (60%), with the condition index remaining the same across all BFT tanks (18/20). The lowest RNA/DNA ratio was reported at 200 BFT. The influence of BFT on prawn growth at 32%, 28%, and 24% protein levels indicated that the highest growth rate occurred at 24% protein.

Application of BFT in mixed culture and optimization of bioflocculation at different hydrogen ion concentrations showed that pH 7.5 produced good flocculation both qualitatively and quantitatively. Major carps exhibited higher prawn growth rates when 100% *Catla* was added to treatments. BFT increased weight by 50% and biomass by 80% in early post-larval stages compared to conventional clear-water systems.

Application in nursery rearing systems improved survival rates ranging from 55.9% to 100%, achieving 97% and 100% survival in some cases. BFT systems with and without pelletized feed addition performed better than conventional clear-water systems. Juveniles fed with 35% CP pelletized feed grew significantly better under BFT conditions than in clear water. BFT helped reduce feed conversion ratio (FCR) and feed cost. Heterotrophic bacterial-based systems showed no negative influence on growth or FCR values with 30% and 45% crude protein diets and 39% and 43% CP in diets.

Evaluating the performance of various locally available carbohydrate sources as bioflocculating agents showed that tapioca flour was the most effective. Addition of tapioca flour increased larval survival rates.

Conclusion

Biofloc technology is not new to the world. It was invented in the 1970s at Ifremer-COP (French Research Institute for the Exploitation of the Sea, Oceanic Center of the Pacific). However, in Bangladesh it is relatively new. People have been using this technology for almost four years, and most of them are responding positively. This is because it allows higher production compared to traditional pond fish culture, which the majority of people in Bangladesh rely on. For a certain amount of fish, the pond-culture system requires 5 to 10 times more space than a biofloc tank. According to comparative assessments, biofloc technology is a more cost-effective process. Since it requires less space and lower investment, anyone—especially young people—can start fish farming using this technology. They cannot afford the consequences of unemployment, so this method is particularly beneficial for them.

Bangladeshi people are regionally more dependent on fish. Here, individuals need approximately 200 grams of protein per day, which is most commonly obtained from fish. However,

only 6% to 7% of the required protein intake is fulfilled on average by fish consumption. Therefore, demand for fish consistently exceeds production, as is the case in many parts of the world. Given this high demand, fish-culture businesses can be operated more effectively, and biofloc technology offers a modern and efficient method of fish farming where physical labor is minimal, with the focus shifting to care and maintenance. This will directly contribute to GDP growth and strengthen the economy. It will undoubtedly reduce unemployment and encourage greater youth participation in the fisheries sector by providing an accessible, low-investment, and profitable entrepreneurial opportunity. As more individuals adopt Biofloc technology, overall fish production will continue to rise, helping to meet national nutritional needs while simultaneously promoting sustainable economic development.

Funding

This study received no specific financial support.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture, 356*, 351–356. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046

Hargreaves, J. A. (2013, April). *Biofloc production systems for aquaculture* (SRAC Publication No. 4503). Southern Regional Aquaculture Center. https://aquaculture.mgcafe.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf

Nahar, A., Abu, M., & Siddik, B. (2015, January). Biofloc technology in aquaculture systems generates higher income in mono-sex Nile tilapia farming in Bangladesh [Supplemental material]. *Advances in Biological Research, 9*(4), 236–241. https://doi.org/10.5829/idosi.abr.2015.9.93142

BD Fisheries Sector. (2020). *Aquaculture practices of Bangladesh*. Dhaka, DC: Government Fisheries Site.

Halim, M. A., Nahar, S., & Nabi, M. M. (2019, August 3). Biofloc technology in aquaculture and its potentiality: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 7*(5), 260–266.

Satish, G. G. (2014, September 27). Biofloc technology in aquaculture. [Web article].

Shoib, S. (2019, December 24). Fish culture at SAU using Biofloc Technology. [Supplemental material]. *Bangladesh Post*.

Sontakke, R., & Haridas, H. (2018, November 8). Economic viability of biofloc based system for the nursery rearing of milkfish (*Chanos chanos*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*, 2960–2967.

Seraj, S. (2019, July 25). Modern fish farming technologies shaping the cultivation. *The Daily Star*.

Список використаних джерел

Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture, 356*, 351–356. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046

Hargreaves, J. A. (2013, April). *Biofloc production systems for aquaculture* (SRAC Publication No. 4503). Southern Regional Aquaculture Center. https://aquaculture.mgcafe.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_4503_biofloc_production_systems_for_aquaculture.pdf

Nahar, A., Abu, M., & Siddik, B. (2015, January). Biofloc technology in aquaculture systems generates higher income in mono-sex Nile tilapia farming in Bangladesh [Supplemental material]. *Advances in Biological Research, 9*(4), 236–241. https://doi.org/10.5829/idosi.abr.2015.9.93142

BD Fisheries Sector. (2020). *Aquaculture practices of Bangladesh*. Dhaka, DC: Government Fisheries Site.

Halim, M. A., Nahar, S., & Nabi, M. M. (2019, August 3). Biofloc technology in aquaculture and its potentiality: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, 7*(5), 260–266.

Satish, G. G. (2014, September 27). Biofloc technology in aquaculture. [Web article].

Shoib, S. (2019, December 24). Fish culture at SAU using Biofloc Technology. [Supplemental material]. *Bangladesh Post*.

Sontakke, R., & Haridas, H. (2018, November 8). Economic viability of biofloc based system for the nursery rearing of milkfish (*Chanos chanos*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7*, 2960–2967.

Seraj, S. (2019, July 25). Modern fish farming technologies shaping the cultivation. *The Daily Star*.

Портфельне управління розвитком військового потенціалу: підхід, орієнтований на PM²-PFM, для оборонних організацій

Portfolio-Based Development of Military Capabilities: a PM²-PFM–Driven Approach for Defence Organisations

Микола Ткач [A]
Corresponding author: доктор економічних наук, доцент, e-mail: nyck1985@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8832-1268

Людмила Нефьодова [A]
старший науковий співробітник, e-mail: lnefol@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-2029-790X

Павло Макошенець [A]
ад'юнкт, e-mail: pavmamot@gmail.com

Віталій Ткаченко [A]
ад'юнкт, e-mail: vitalik000000@ukr.net

Mykola Tkach [A]
Corresponding author: Dr of Economics, Associate Professor, e-mail: nyck1985@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8832-1268

Ludmila Nefiodova [A]
Senior Researcher, e-mail: lnefol@gmail.com, ORCID ID: 0009-0005-2029-790X

Pavlo Makoshenets [A]
PhD student, e-mail: pavmamot@gmail.com

Vitaliy Tkachenko [A]
PhD student, e-mail: vitalik000000@ukr.net

[A] Національний університет оборони України, м. Київ, Україна
[A] National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 20, 2025 | Revised: October 29, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.23

Мета роботи. Спроєктувати та апробувати портфельну модель пріоритизації розвитку спроможностей військ (сил) на основі PM²-PfM із вбудованою багатокритеріальною підтримкою рішень, що пов'язує спроможності, програми і проєкти та підтримує обґрунтовані інвестиційні рішення в оборонній сфері.

Метод дослідження. Дослідження має прикладний, методологічно-орієнтований дизайн із вбудованою демонстраційною апробацією на стилізованому, але репрезентативному портфелі ініціатив розвитку спроможностей оборонної організації. Концептуальну рамку становить PM²-PfM (Portfolio Management) у зв'язці з PM²-Programme Management **та** PM² Project Management**,** що забезпечує простежуваність "стратегія – спроможність – програма – проєкт – результат (вигода)".

Результати дослідження. Операціоналізовано портфельний підхід до розвитку спроможностей на основі PM²-PfM із простежуваністю "стратегія – спроможність – програма – проєкт – результат (вигода)".

Теоретична цінність дослідження. Показано, як змінюється склад портфеля за різних бюджетних та часових сценаріїв; запропоновано збалансовані варіанти з урахуванням критичних залежностей між ініціативами, що доповнює існуючу методологію портфельного управління.

Практична цінність дослідження. запропонована прозора простежуваність компромісів, скорочено цикл прийняття інвестиційних рішень завдяки стандартизованим артефактам, що вплине на зростання частки фінансування спрямованої на критичні спроможності за сталих бюджетних меж.

Цінність дослідження. Побудовано інтегральний рейтинг ініціатив і карту "цінність–складність", що дозволяє швидко ідентифікувати "швидкі перемоги", "стратегічні інвестиції" та спроможності на відкладення або переформатування.

Обмеження дослідження. Обмеження дослідження полягає у використанні джерел, що знаходяться у відкритому доступі. Майбутні дослідження будуть спрямовані на вивчення підходів щодо впровадження портфельного управління в систему Міністерства оборони України.

Тип статті. теоретичний, практичний.

Purpose. To design and validate a transparent prioritization and governance model that links capabilities, programs, and projects and supports informed investment decisions in the defense sector.

Method. The study has an applied, methodologically-oriented design with built-in demonstration testing on a stylized but representative portfolio of capability development initiatives of a defense organization. The conceptual framework is PM²-PfM (Portfolio Management) in conjunction with PM²-Programme Management and PM² Project Management, which ensures traceability "strategy – capability – programme – project – result/benefit".

Findings. A portfolio approach to capacity development based on PM²-PfM with the traceability of "strategy – capability – programme – project – result/benefit" has been operationalized.

Theoretical implications. It shows how the portfolio composition changes under different budget and time scenarios; balanced options are proposed, taking into account critical dependencies between initiatives, which complements the existing portfolio management methodology.

Practical implications. Transparent traceability of trade-offs is proposed, the cycle of investment decisions is shortened thanks to standardized artifacts, which will affect the increase in the share of funding directed to critical capabilities within stable budget limits.

Originality/Value. An integrated ranking of initiatives and a "value–complexity" map have been constructed, allowing for the quick identification of "quick wins", "strategic investments", and the ability to postpone or reformat.

Research limitations/Future research. The limitation of the study is the use of open-access sources. Future research will be aimed at studying approaches to implementing portfolio management in the system of the Ministry of Defense of Ukraine.

Papertype. theoretical and practical.

Ключові слова: портфельне управління; розвиток спроможностей; оборонне планування; пріоритизація; AHP; PM²-PfM; урядування.

Key words: portfolio management; capability development; defense planning; prioritization; AHP; PM²-PfM; governance.

Вступ

Сучасні оборонні організації працюють у середовищі високої невизначеності, конкуренції за ресурси та швидко змінюваних стратегічних пріоритетів. У таких умовах фрагментовані ініціативи розвитку спроможностей, слабка простежуваність зв'язку "ціль – програма – проєкт" і відсутність прозорої пріоритизації призводять до втрат цінності, дублювання зусиль і затримок у досягненні оперативних ефектів. Портфельний підхід пропонує цілісну відповідь, оскільки поєднує стратегічні наміри з конкретними інвестиційними рішеннями, забезпечуючи кероване формування, збалансування та реалізацію набору взаємопов'язаних програм і проєктів у межах єдиної рамки урядування. У дослідженні ми спираємося на відкриту методологію PM²-PfM Європейської Комісії, яка надає процесну модель (Framework Definition, Composition, Realisation, Stakeholder Engagement), чіткі ролі урядування (PfDG, PfSC, PfM, PfSO) та артефакти (Portfolio Handbook, Portfolio Analysis Report, KPI і дашборди) для інституціоналізації портфельних практик у державному секторі, зокрема в обороні [1].

З огляду на ієрархію "портфель – програма – проєкт", дослідження також використовує пов'язаний рівень програмного та проєктного управління PM², який забезпечує керовану трансформацію інвестиційних рішень у результати та вигоди (benefits realisation). У PM² програми визначаються як сукупність взаємопов'язаних проєктів та робіт, спрямованих на спільні цілі й вигоди; портфельний рівень встановлює пріоритети, розподіляє ресурси та відстежує узгодженість зі стратегією, тоді як програмний і проєктний рівні забезпечують доставлення результатів у керованих життєвих циклах.

Метою статті є спроєктувати та апробувати портфельну модель пріоритизації розвитку спроможностей військ (сил) на основі PM²-PfM із вбудованою багатокритеріальною підтримкою рішень (оцінка внеску в capability gaps, стратегічне вирівнювання, терміновість ефекту, ризик, складність, ресурсомісткість та взаємозалежності), а також показати, як артефакти PM² підвищують прозорість компромісів, скорочують цикл ухвалення інвестиційних рішень і збільшують частку фінансування, спрямовану на пріоритетні спроможності за сталих бюджетних обмежень. Таким чином, дослідження робить внесок у методичне забезпечення оборонного планування, поєднуючи стандартизоване урядування портфеля з перевіркою надійності рішень і практичними шаблонами впровадження.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичну основу дослідження складає:

- **методологія PM² Portfolio Management (PM²-PfM)** Європейської Комісії, яка пропонує "легку" (lean) рамку державного застосування з чотирма процесами — Framework Definition, Composition, Realisation, Stakeholder Engagement — та чітким набором ролей і артефактів (зокрема Portfolio Handbook, Portfolio Analysis Report, Performance Dashboard) для інституціоналізації портфельних практик в органах влади, зокрема в оборонних установах [2];
- **для сил оборони релевантною є логіка capability-based planning** у межах NATO Defence Planning Process (NDPP), що гармонізує національне й альянсове планування, визначає мінімально необхідні спроможності та спрямовує інвестиції на закриття розривів (capability gaps). Поєднання портфельного підходу з NDPP забезпечує прозору трасованість від політичного керівництва до вимог спроможностей і далі — до програм (проєктів), що фінансуються [3];
- **багатокритеріальний аналіз забезпечує визначення ваг критеріїв** через парні порівняння і перевірку узгодженості рішень, тоді як ціннісні моделі MAUT-типу дозволяють агрегувати оцінки в інтегральний "ціннісний рахунок" для ранжування й

сценарного формування портфеля. Теоретичні засади AHP/MAUT детально висвітлені у працях Т. Сааті та оглядових статтях із прикладними кейсами в державному секторі [4];

- **теоретичне підґрунтя дослідження** спирається на PM²-PfM як державну (public-sector-friendly) методологію портфельного управління, ієрархічну інтеграцію з PM²-PgM та PM² для керованої реалізації та трекінгу вигод; NDPP як доменну рамку здатнісного планування для оборони; AHP/MAUT як інструментарій багатокритеріальної пріоритизації та аналізу чутливості. Сукупність цих компонентів забезпечує логічну трасованість "політика – стратегія – спроможності – програми – проєкти – вигоди", прозору пріоритизацію та обґрунтованість інвестиційних рішень у розвитку спроможностей військ (сил) [5–8].

Постановка проблеми

Оборонна організація, як правило, ухвалює інвестиційні рішення щодо розвитку спроможностей в умовах високої невизначеності, дефіциту ресурсів і швидкої зміни пріоритетів. На практиці це призводить до низки системних дисфункцій. Переважно всі програми та проєкти запускаються за відсутності повної карти залежностей "спроможність – програма – проєкти", що ускладнює пакетування, секвенування та інтеграцію результатів. Відсутність стандартизованих правил відбору та порогів прийнятності знижує прозорість компромісів і унеможливлює обґрунтовану відмову від низькоцінних ініціатив. Рішення часто домінуються терміновістю або лобістськими аргументами, тоді як багатокритеріальна оцінка застосовується нерівномірно або фрагментарно. Нерозмежовані ролі (орган інвестиційних рішень, комітет, портфельний менеджер, офіс підтримки) та нестандартизовані артефакти (handbook, аналіз портфеля, дашборди) подовжують цикл ухвалення, посилюють конфлікти стейкґолдерів і ускладнюють процедури ескалації. Неформалізовані карти залежностей, відсутність сценарного аналізу та агрегованого контролю (time–cost–benefit–risk) на рівні портфеля призводять до перевитрат, затримок і втрати цінності. Вигоди декларуються на етапі обґрунтування, але їхній моніторинг і підтвердження впродовж життєвого циклу програм залишаються фрагментарними.

Проблема дослідження полягає у відсутності інституціоналізованої, відтворюваної та прозорої портфельної моделі, що забезпечувала б простежуваність від стратегічних намірів до профінансованих ініціатив і підтверджених вигод; формалізовану багатокритеріальну пріоритизацію в умовах бюджетно-часових обмежень; кероване урядування рішень та комунікацій; управління залежностями і ризиками на рівні портфеля спроможностей.

Методологія дослідження

Для реалізації мети дослідження здійснено її декомпозицію та використано такі методи наукового пізнання:

- **емпіричний аналіз** – використання офіційної статистики, звітів урядових та міжнародних організацій, фінансових звітів;
- **статистичний аналіз** – застосування статистичних методів для аналізу даних, зокрема кореляційного та регресійного аналізу, а також методів аналізу часових рядів;
- **якісний аналіз** – опрацювання текстових матеріалів (офіційні документи, прес-релізи, публікації в ЗМІ) з метою виявлення тенденцій, тем та патернів;
- **кейс-стаді** – детальний розбір окремих випадків чи подій, релевантних предмету дослідження;

- **експертний контент-аналіз** – аналітика матеріалів антивоєнних російських видань та моніторинг публічних заяв російських урядовців;
- **теоретичний аналіз** – вивчення наукових статей і теоретичних праць для формування теоретичної бази та ідентифікації прогалин у наявних знаннях;
- **системний аналіз** – дослідження взаємозв'язків між елементами досліджуваної системи та оцінювання впливу зовнішніх і внутрішніх чинників;
- **сценарний аналіз** – розроблення та оцінювання альтернативних сценаріїв розвитку подій на основі поточних тенденцій і можливих змін у зовнішньому та внутрішньому середовищі.

Результати

В умовах повномасштабної війни та хронічного дефіциту ресурсів ефективність рішень щодо інвестицій у спроможності визначає темп нарощування бойового потенціалу. Портфельний підхід за PM²-PfM безпосередньо орієнтований на підвищення прозорості рішень та "видимості" компромісів, пріоритизацію ініціатив в умовах обмежень, регулярне звітування на основі точних і порівнюваних даних, оптимізацію використання дефіцитних ресурсів і випереджальне управління ризиками. У керівництві окремо наголошено на необхідності створення прозорості для ухвалення рішень, спрямування ресурсів на ініціативи, узгоджені зі стратегією, мінімізації ризиків та оптимізації ресурсів і звітності для вищого керівництва на основі точних та порівняльних даних [4].

Зазначений підхід дозволяє структурувати діяльність у чотири процеси й прямо передбачає їхню рекурентність та гнучке коригування складу портфеля залежно від змін стратегії та ходу реалізації (тобто "живе портфоліо", синхронізоване з бюджетним роком та оперативними потребами):

- **Framework Definition (визначення фреймворку)** – встановлення стандартів, визначення та адаптація правил, процедур, ролей (Governance) і артефактів (наприклад, Portfolio Handbook), які застосовуються до всіх проєктів, програм і портфеля загалом, забезпечуючи узгодженість та прозорість управління;
- **Composition (формування)** – стратегічний відбір, ідентифікація, оцінювання, пріоритизація та балансування ініціатив. Охоплює прийняття рішень щодо включення проєктів і програм або відмови від них, що оптимізує інвестиції та забезпечує узгодженість зі стратегією організації;
- **Realisation (реалізація)** – нагляд і контроль за виконанням чинних проєктів і програм. Включає моніторинг KPI, відстеження вигод (Benefits Tracking), управління ризиками та змінами. Спрямована на досягнення цілей і створення запланованих результатів та вигод;
- **Stakeholder Engagement (залучення зацікавлених сторін)** – комунікація та взаємодія з усіма учасниками (керівництво, виконавці, бенефіціари, донори). Це безперервний процес ідентифікації та аналізу потреб стейкхолдерів і підтримання прозорих комунікацій протягом усього життєвого циклу портфеля.

Ці чотири процеси функціонують не ізольовано, а як безперервний цикл, забезпечуючи динамічне управління ресурсами та стратегічними ініціативами організації. Довідник окремо підкреслює динамічність композиції портфеля, безперервний моніторинг реалізації та системну роботу зі стейкхолдерами. Стандартом чітко розподілено урядування рішень на рівні вищого керівництва (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл функцій між різними рівнями стейкхолдерів

Абревіатура	Значення	Функція
PfDG	Portfolio Decision-making/Delegation (Прийняття рішень/Делегування портфеля)	Найвищий стратегічний рівень. Відповідає за загальне стратегічне управління, розподіл ресурсів і прийняття ключових рішень щодо цілого набору програм і проєктів. Це рівень вищого керівництва, яке визначає, **ДЛЯ ЧОГО** робиться.
PfSC	Portfolio (Programme Steering) Strategic Committee (Стратегічний (керівний) комітет портфеля (програми))	Стратегічний рівень управління. Орган, який здійснює нагляд, надає вказівки та контролює виконання програм, забезпечуючи їх відповідність стратегії, відповідає за те, **ЩО** робиться.
PfM	Programme Management (Управління програмами)	Тактичний рівень управління. Відповідає за координацію та управління групою взаємопов'язаних проєктів (програмою) для досягнення конкретних стратегічних вигод. Це рівень, який контролює, **ЯК** досягаються вигоди.
PfSO	Project (Programme) Support Office (Офіс підтримки проєктів (програм))	Операційний рівень. Виконує адміністративні, інструментальні та консультаційні функції. Забезпечує дотримання стандартів, звітність і підтримку менеджерів проєктів та програм.

Базою даних для ухвалення управлінських рішень у портфелі є стандартизовані артефакти, що застосовуються для пріоритизації та звітування. До артефактів належать такі документи та показники: Portfolio Handbook, Portfolio Analysis Report, журнали змін, ризиків та інцидентів, дашборди й KPI (табл. 2).

Таблиця 2 – Стандартизовані артефакти для пріоритизації та звітування

Елемент	Призначення	Значення для управління портфелем
Portfolio Handbook (Довідник портфеля)	Основний документ, що визначає систему управління (Governance), процеси, ролі, відповідальність і стандарти, які застосовуються до всіх програм і проєктів портфеля.	Забезпечує послідовність і єдине розуміння того, як функціонує портфель, як вимірюється успіх та яким чином взаємодіють його компоненти.
Portfolio Analysis Report (Звіт про аналіз портфеля)	Регулярний стратегічний звіт, що оцінює ефективність портфеля, його узгодженість зі стратегічними цілями та оптимальність використання ресурсів.	Є підставою для ухвалення стратегічних рішень (PfDG/PfSC), зокрема щодо запуску нових програм, коригування пріоритетів або призупинення/скасування ініціатив.
Журнали змін, ризиків та інцидентів (Logs)	Централізовані реєстри для фіксації змін, ризиків, проблем та інцидентів у програмах і проєктах.	Дають змогу агрегувати інформацію для виявлення системних проблем і взаємозалежних ризиків, що можуть впливати на успіх портфеля загалом.
Dashboards (Дашборди)	Візуальні інструменти для подання ключових показників ефективності (KPI) у стислому та наочному форматі, часто в режимі наближеного реального часу.	Забезпечують швидкий моніторинг “здоров’я” портфеля, дають змогу керівництву оперативно оцінювати ситуацію без потреби в детальному аналізі кожного звіту.
KPI (Key Performance Indicators)	Ключові показники ефективності для вимірювання результативності портфеля, програм і проєктів (фінансова віддача, стратегічна узгодженість, використання ресурсів, інтегральний ризик тощо).	Дозволяють об’єктивно оцінювати прогрес у досягненні стратегічних цілей, порівнювати ефективність компонентів портфеля та підвищувати обґрунтованість управлінських рішень.

Також стандарт подає готовий перелік інструментів, яких бракує оборонному плануванню для швидкої пріоритизації та комунікації з оборонно-промисловим комплексом, донорами та парламентом:

Project Prioritisation Matrix (матриця пріоритетності проєктів) – інструмент, який використовується для об'єктивного ранжування всіх потенційних або поточних проєктів у портфелі. Вона допомагає керівництву (PfDG) ухвалити рішення щодо проєктів, які мають отримати фінансування та ресурси. Проєкти оцінюються за набором зважених критеріїв, наприклад узгодженість зі стратегією, очікувана вигода, терміновість, рівень ризику та необхідні ресурси. Проєкт з найвищим сумарним балом отримує найвищий пріоритет;

Value-vs-Complexity (вартість проти складності) – візуальний інструмент (діаграма 2×2), що використовується для класифікації проєктів на основі двох ключових вимірів. Вісь Y (Value / Вартість) – очікувана вигода або цінність для організації. Вісь X (Complexity / Складність) – ресурсна й технічна складність реалізації. Використання цього інструмента допомагає визначити "легкі перемоги" (висока вартість / низька складність) та уникати "пасток" (низька вартість / висока складність), оптимізуючи загальний баланс ризиків та віддачі портфеля;

KPI (Key Performance Indicators — ключові показники ефективності) на рівні портфеля – показники, які вимірюють, наскільки успішно портфель досягає своїх стратегічних цілей. Як приклад можна навести відсоток проєктів, що відповідають стратегії, загальний рівень ризику портфеля, відсоток використання критичних ресурсів, фінансову віддачу (ROI) портфеля. KPI забезпечують об'єктивну оцінку "здоров'я" портфеля та допомагають керівництву швидко реагувати на відхилення;

Scenario Analysis (сценарний аналіз) – метод, який використовується для оцінювання того, як різні гіпотетичні зовнішні або внутрішні події (сценарії) впливають на загальну ефективність і життєздатність портфеля. Прикладом може бути різке скорочення бюджету, затримка критичних поставок, зміна пріоритетів вищого керівництва. Метою є підвищення стійкості портфеля та розроблення плану реагування на випадок настання несприятливих подій, що є ключовим для управління ризиками на рівні PfSC;

Benefits Tracking (відстеження вигод) – систематичний процес вимірювання, моніторингу та управління реалізацією очікуваних вигод від програм і проєктів після їх завершення. У PfM, на відміну від проєктного менеджменту, який фокусується на результаті (deliverables), управління портфелем фокусується на вигодах (benefits). Відстеження вигод підтверджує, що інвестиції (портфель) справді принесли очікувану стратегічну цінність;

Portfolio Dashboard (дашборд портфеля) – централізований візуальний інтерфейс, який агрегує інформацію з усіх проєктів і програм у портфелі, відображаючи ключові KPI та статус у режимі, наближеному до реального часу. Слугує головним інструментом для швидкого моніторингу керівною групою (PfSC). Зазвичай використовує візуальні індикатори (зелений, жовтий, червоний) для відображення стану щодо термінів, бюджету та ризиків, даючи змогу зосередитися на проблемних ділянках.

Їхнє призначення — надати єдину картину цілей і стану портфеля, бути основою моніторингу та контролю, документувати ключові рішення та забезпечувати інституційну пам'ять (аудит, накопичення досвіду). Стандарт вимагає визначати критерії оцінювання (узгодження зі стратегічними цілями, створення цінності, використання ресурсів, ризики реалізації, терміновість, необхідність тощо), встановлювати шкали та ваги, щоб об'єктивно порівнювати ініціативи (у т. ч. між портфелями). Це природно поєднується з AHP (Analytic Hierarchy Process) / MAUT (Multiple Attribute Utility Theory) і нашою методикою багатокритеріальної підтримки рішень.

Окремо потрібно зупинитися на процедурі "kill/hold/go" з PM²-PfM, яка є необхідною при формуванні оборонних портфелів. Практичний зміст: **go** – запустити або продовжити; **hold** – тимчасово призупинити; **kill** – не запускати або припинити назавжди з перерозподілом ресурсів на більш актуальні програми (проєкти) з розвитку оборонних спроможностей.

PM²-PfM задає стандартизовані стани для кожної ініціативи (проєкт / програма) протягом двох процесів — Composition (формування або складання портфеля) та Realisation (реалізація). Це створює спільну мову для рішень вищого керівництва:

- **“Approved / GO”** — кандидат пройшов відбір у Composition і схвалений до реалізації (переходить у Realisation). Це ключовий етап, на якому організація відбирає, пріоритизує та балансує набір проєктів і програм, щоб створити оптимальний портфель, який найкраще відповідає її стратегічним цілям і ресурсним обмеженням. Цей етап містить кілька важливих кроків: відбір – оцінювання всіх нових ініціатив (проєктів або програм) та їхньої потенційної цінності на основі попередньо визначених критеріїв (Project Prioritisation Matrix); пріоритизація – ранжування ініціатив для визначення тих, що принесуть найбільшу стратегічну вигоду та мають бути реалізовані першочергово (Value-vs-Complexity); балансування – забезпечення оптимального балансу всередині портфеля за різними параметрами (ризик, зокрема баланс між високоризиковими інноваційними та низькоризиковими необхідними проєктами, а також використання ресурсів); авторизація – офіційне затвердження керівництвом фінального складу портфеля та виділення необхідних ресурсів;
- **“Running”** — період активної реалізації проєкту, під час якого виконується основна частина робіт, спрямованих на створення кінцевого продукту, послуги або результату. На цій стадії команда виконує завдання, визначені у плані управління проєктом, сформованому на фазі planning. Основний фокус – створення та інтеграція результатів (deliverables), забезпечення ефективної комунікації, управління людськими ресурсами, керівництво командою, контроль якості та залучення заінтересованих сторін. На цій фазі виникає найбільша потреба в управлінні змінами, оскільки відхилення від початкового плану та ризики реалізуються саме під час виконання робіт;
- **“Suspended / HOLD”** — тимчасова зупинка з можливим поверненням у попередній стан після усунення причин. Зупинка зазвичай відбувається через зовнішні чи внутрішні фактори, які унеможливлюють продовження роботи, наприклад тимчасове блокування фінансування, відсутність критичних ресурсів, зміна пріоритетів, реалізація значного ризику або необхідність вирішення критичної проблеми. Це не є скасуванням (Cancellation / Closing). Головна відмінність полягає в тому, що після усунення причин, які спричинили зупинку, ініціатива має повернутися до попереднього активного стану (“running”) для подальшої реалізації. На період “Suspended” зазвичай мінімізуються витрати, але зберігається основний склад команди або ключова документація для забезпечення можливості швидкого відновлення;
- **“Rejected / KILL (на вході)”** — відхилення кандидата на стадії Composition (можливе й до завершення оцінювання, якщо очевидна неперспективність). Відхилення відбувається, коли проєкт не відповідає поточним стратегічним цілям організації, має недопустимо високий ризик за низької очікуваної вигоди, вимагає критичних ресурсів, які вже зарезервовані для пріоритетніших програм, або є очевидно неперспективним чи економічно невиправданим, що може бути виявлено ще до завершення повного циклу оцінювання. Ініціатива не включається до портфеля і, як правило, не отримує фінансування та подальшого розвитку;
- **“Terminated / KILL (дострокове завершення)”** — дострокове припинення під час Realisation, коли відсутня подальша доцільність або триває хронічно слабке виконання. Причинами можуть бути зміна стратегії організації або зовнішні умови (наприклад, поява нової технології чи зміна законодавства), внаслідок чого проєкт або програма більше не

приносить очікуваної стратегічної вигоди або його (її) мета стає нерелевантною; проєкт (програма) постійно не відповідає ключовим показникам ефективності (KPI) щодо термінів, бюджету або якості; ризики, які реалізувалися, призвели до того, що витрати на відновлення перевищують очікувану вигоду. Рішення про припинення ухвалюється на рівні портфеля на основі оновленого звіту про аналіз портфеля (Portfolio Analysis Report). Після прийняття рішення про "Terminated / KILL" ініціатива переходить у фазу закриття (Closing), де фокус зміщується на формальне закриття всіх контрактів, деактивацію ресурсів, архівацію документації та забезпечення Lessons Learned;

- **"Ended"** — означає нормальне та успішне завершення проєкту або програми відповідно до запланованого життєвого циклу. Настає після успішного завершення етапу Closing (закриття), який слідує за фазою Executing ("running"). Це означає, що очікувані результати були створені, а заплановані вигоди (або, принаймні, більша їх частина) були реалізовані або очікується їх реалізація відповідно до плану Benefits Tracking. Фаза Closing включає формальну передачу кінцевого продукту, розпуск команди, закриття контрактів, архівацію документації та обов'язковий збір Lessons Learned. Після цього ініціатива набуває статусу "Ended".

Три перелічені статуси є кінцевими станами для будь-якої ініціативи (проєкту чи програми) у портфелі: "Rejected / KILL", "Terminated / KILL" та "Ended".

Застосування PfM забезпечує прямий зв'язок між стратегією та виконанням, що дає змогу досягти узгодженості (Alignment). Фаза "Composition" гарантує, що лише ті програми та проєкти, які максимально узгоджені з воєнно-політичними пріоритетами та довгостроковою стратегією оборони, отримують ресурси. Проєкти, які не відповідають стратегії, будуть відхилені "Rejected" ще на вході. Цей підхід також дозволяє оптимізувати інвестиції: завдяки таким інструментам, як Value-vs-Complexity та Portfolio Analysis Report, керівництво (PfDG) може бачити, чи приносять інвестиції (портфель) очікувану вигоду (Benefits Tracking). Це дозволяє припиняти неефективні ініціативи ("Terminated / KILL") і перенаправляти критичні ресурси на пріоритетні напрями.

Чітко визначені кінцеві стани та механізми контролю зменшують хаос і підвищують прогнозованість. Наявність чітких статусів ("running", "suspended", "ended") забезпечує дисципліну у виконанні. Якщо проєкт хронічно відстає або стає недоцільним, застосовується механізм "Terminated", що запобігає подальшому використанню коштів і ресурсів у безперспективні ініціативи. Механізм "Suspended / HOLD" дає змогу тимчасово зупинити проєкт, коли зовнішні фактори (наприклад, затримка фінансування чи логістики) унеможливлюють його продовження. Це запобігає марнуванню ресурсів, які можна тимчасово перерозподілити.

Методологія PfM може суттєво вплинути на підвищення загальної ефективності та результативності сил оборони України. Управління переходить від фокусу на простому завершенні завдань до фокусу на вигодах (Benefits Tracking), які створюють нові спроможності для сил оборони. Інструменти Portfolio Dashboards та агреговані журнали змін / ризиків роблять стан усіх ініціатив прозорим для вищого керівництва, дозволяючи швидше реагувати на системні проблеми та ухвалювати рішення про "KILL" чи зміну пріоритетів. Вибудовується інституційна пам'ять: успішне завершення ("Ended") фіксується після фази "Closing", яка включає збір "Lessons Learned". Це забезпечує накопичення інституційної пам'яті та запобігає повторенню помилок у майбутніх проєктах з розвитку спроможностей.

Завдяки цим механізмам сили оборони можуть швидше адаптуватися до мінливого оперативного середовища, мінімізувати непродуктивні витрати та максимізувати стратегічну віддачу від кожної інвестиції в оборону.

Розглянемо детальніше методику **Project Prioritisation Matrix (PM²-PfM)** для пріоритизації оборонних програм (проєктів). Prioritisation Matrix (PM²-PfM) – це проста багатокритеріальна таблиця для об'єктивного ранжування кандидатів-проєктів (програм), коли ресурсів бракує на всі

одночасно. У PM²-PfM цей інструмент прямо рекомендовано для зваженого (weighted) мультикритеріального ранжування: проєкти оцінюються за релевантними до стратегії критеріями, кожен критерій має вагу, підсумковий бал обчислюється як зважена сума, після чого формується рейтинг (top → low) [4]. Алгоритм дій методики Project Prioritisation Matrix (PM²-PfM) при відборі пріоритетних оборонних проєктів (програм, ініціатив) складається з шести послідовних кроків.

Крок 1.

Визначення мети (Composition)

Формування мети є критично важливим для початку процесу пріоритизації, оскільки встановлює стратегічний контекст і гарантує, що всі наступні дії будуть узгоджені з вищими цілями:

- чітке визначення та підтвердження актуальності стратегії та воєнно-політичних пріоритетів, з якими має бути узгоджений портфель;
- фіксація загального ліміту фінансування (бюджетних асигнувань) та обмежень критичних ресурсів (наприклад, кваліфікований персонал, виробничі потужності) на плановий період;
- визначення допустимого загального рівня ризику для портфеля (наприклад, баланс між інноваційними та підтримуючими проєктами);
- створення Portfolio Handbook (довідника портфеля) – офіційне затвердження ролей (PfDG, PfSC), процесів, критеріїв оцінювання та порогових значень (KILL-критерії) для застосування в наступних кроках.

Результатом кроку є наявність затверджених і задокументованих вхідних даних, що дає змогу перейти до Кроку 2 (вибору критеріїв оцінювання) та забезпечує основу для обґрунтованого рішення про “Rejected” (KILL на вході).

Крок 2.

Вибір критеріїв оцінювання

Необхідно обрати 4–5 ключових критеріїв, згрупованих за трьома основними сферами управління портфелем: стратегічна цінність (вигода), складність (ризик) та фінансова доцільність.

Група 1. Стратегічна цінність та операційна вигода (Value).

У цій групі можуть бути такі критерії оцінювання:

- стратегічна узгодженість – наскільки ініціатива (проєкт чи програма) безпосередньо сприяє досягненню цілей, визначених у стратегії та ключових доктринальних документах;
- операційна вигода (benefits) – потенціал для суттєвого підвищення спроможності (наприклад, скорочення циклу управління, збільшення живучості військ, створення асиметричної переваги).

Група 2. Складність та ризик реалізації (Complexity & Risk).

У цій групі можуть бути такі критерії оцінювання:

- ресурсна залежність / складність – оцінка потреби у критичних обмежених ресурсах (висококваліфікований персонал, унікальне виробниче обладнання). Чим вища залежність, тим вищий ризик;
- технічна життєздатність та зрілість – рівень технологічної готовності (TRL) та наявність необхідної бази (науково-дослідних лабораторій, платформ для розвитку технологій). Оцінка ризику, пов’язаного з недоведеністю технології.

Група 3. Час та фінансова доцільність.

У цій групі можуть бути такі критерії оцінювання:

- терміновість (час досягнення спроможності) – як швидко проєкт може перейти у статус “running” і забезпечити оперативну готовність (час до “Ended”). Вищий бал – для проєктів, що швидко надають критичну спроможність.

Після вибору критеріїв необхідно визначити вагові коефіцієнти для кожного з них. Це дає змогу кількісно відобразити, які аспекти (наприклад, стратегія чи ризик) є найважливішими для оборонного портфеля.

Сума ваг критеріїв дорівнює 1. Їх доцільно отримати через AHP (Analytic Hierarchy Process) [4] із перевіркою узгодженості (CR ≤ 0,10). Це стандартна практика MCDM; прийнятність CR = 10 % широко наводиться в джерелах з AHP.

Крок 3.

Присвоєння ваг критеріям

На цьому етапі кількісно визначається, наскільки важливий кожен критерій для загального успіху та стратегічного вирівнювання оборонного портфеля. Сума всіх вагових коефіцієнтів має дорівнювати 100 % (або 1).

Визначення ваг має відображати поточний стратегічний фокус (наприклад, пріоритет швидкості та узгодженості зі стратегією над абсолютною технічною новизною).

Як приклад можна використовувати такий розподіл ваг, який ставить на перше місце стратегію та безпосередню вигоду (загальна вага 70 %), що є логічним для оборонного домену в умовах війни.

Група – цінність, критерії оцінювання:

- стратегічна узгодженість (вага 35 %) – найвища вага. Якщо проєкт не відповідає оборонній стратегії, він має бути відхилений (Rejected), незалежно від інших факторів;
- операційна вигода (вага 30 %) – висока вага. Відображає прямий внесок у підвищення бойової спроможності та ефективності на полі бою.

Група – ризик, критерії оцінювання:

- ресурсна залежність та складність (вага 15 %) – середня вага. Враховує ризик неможливості реалізації через брак критичних ресурсів чи експертизи;
- технічна життєздатність та зрілість (вага 10 %) – нижча вага. Оцінка технічних ризиків. Важлива, але не повинна повністю блокувати перспективні, проте менш зрілі технології.

Група – час, критерії оцінювання:

- терміновість досягнення спроможності (вага 10 %) – нижча вага. Важливий параметр, але здебільшого використовується як додатковий фактор або для розрізнення проєктів із подібними стратегічними балами.

Крок 4.

Створення шкали оцінювання

Цей крок необхідний, щоб стандартизувати та об’єктивно оцінити кожен проєкт-кандидат за п’ятьма визначеними критеріями, наведеними вище (стратегічна узгодженість, операційна вигода, ресурсна залежність, технічна зрілість, терміновість).

Для оборонного домену, де критична важливість має прямий вплив на безпеку, доцільно використовувати шкалу з невеликою кількістю градацій (наприклад, 1, 3, 5), щоб уникнути надмірної суб’єктивності та спростити рішення, яке часто є бінарним (критично потрібно або ні):

- оцінка 5 – критичний пріоритет: ініціатива має прямий, негайний та критичний вплив на досягнення ключових стратегічних цілей і є обов’язковою до включення;
- оцінка 4 – високий пріоритет: ініціатива має значний позитивний вплив і є важливою для забезпечення поточної спроможності;
- оцінка 3 – середній пріоритет: ініціатива є бажаною або необхідною для підтримання поточної функціональності, але не є критичною для стратегічних змін;
- оцінка 2 – низький пріоритет: ініціатива має обмежений вплив на поточну стратегію, може бути відкладена або включена за наявності надлишку ресурсів;

- оцінка 1 – невідповідність: ініціатива не відповідає стратегії, має неприйнятно високий ризик або мінімальну вигоду; candidate for “Rejected” (KILL).

Для забезпечення об’єктивності оцінювачі повинні мати чіткі інструкції щодо застосування цієї шкали до кожного з п’яти критеріїв. Як приклад, можна запропонувати такий варіант:

1. **Критерій “стратегічна узгодженість” (35 %):**
    - оцінка 5 (критичний) – ініціатива безпосередньо впроваджує нову критичну спроможність, визначену в оборонній стратегії;
    - оцінка 1 (невідповідність) – ініціатива не корелює з жодним поточним стратегічним пріоритетом або дублює існуючі спроможності.
2. **Критерій “операційна вигода” (30 %):**
    - оцінка 5 (критичний) – очікується суттєве скорочення циклу OODA (процесу прийняття рішень) або забезпечення асиметричної переваги (наприклад, проривна технологія РЕБ);
    - оцінка 1 (невідповідність) – вигода є мінімальною, не відчутною на полі бою або вимагає надмірних ресурсів для впровадження.
3. **Критерій “ресурсна залежність” (15 %):**
    - оцінка 5 (критичний) – усі необхідні критичні ресурси (фінанси, персонал, технології) вже доступні або легко залучаються;
    - оцінка 1 (невідповідність) – реалізація залежить від недоступних або надмірно обмежених ресурсів (наприклад, унікальні спеціалісти, відсутність вітчизняного виробництва).
4. **Критерій “технічна зрілість” (10 %):**
    - оцінка 5 (критичний) – технологія має високий рівень готовності (TRL, наприклад, 8–9), успішно пройшла польові випробування (“running”) і готова до масштабування [9];
    - оцінка 1 (невідповідність) – технологія перебуває на низькому рівні (TRL 1–3), вимагає значних додаткових НДДКР, що створює високий ризик.
5. **Критерій “терміновість” (10 %):**
    - оцінка 5 (критичний) – спроможність може бути досягнута у короткостроковій перспективі (до 6–12 місяців), що є критичним для поточної оперативної потреби;
    - оцінка 1 (невідповідність) – спроможність може бути досягнута лише у довгостроковій перспективі (3–5 років) і не впливає на поточний конфлікт.

Крок 5.

Оцінювання проєктів-кандидатів

1. **Етап оцінювання (Scoring).**
2. Оцінювальна група (зазвичай PfSC або експертна комісія) присвоює бал (від 1 до 5) кожному проєкту за кожним із п’яти критеріїв, ґрунтуючись на їх визначеннях.
3. **Етап розрахунку зваженого бала.**
4. Для кожного проєкту необхідно помножити отриманий бал на ваговий коефіцієнт відповідного критерію (з Кроку 2/3) і підсумувати результати.
5. **Етап ранжування та висновків.**
6. На цьому етапі проєкти ранжуються відповідно до отриманих зважених балів, після чого визначається їхня пріоритетність.

Крок 6.

Аналіз ризиків та балансування

Мета — забезпечити, щоб портфель був не лише бажаним, а й реалістичним щодо ресурсів і мав прийнятний загальний рівень ризику.

1. **Аналіз ризиків та стійкості (Scenario Analysis).**
2. На цьому етапі керівний комітет портфеля (PfSC) використовує дані про ризики (критерії 3 та 4) для оцінювання загальної стійкості.
    - здійснюється перевірка загального ризику – оцінюється, чи не перевищує сумарний ризик усіх високоранжованих проєктів допустимий поріг ризику, визначений на Кроці 1. Якщо портфель стає надто ризиковим через велику кількість проєктів з низькою технічною зрілістю (критерій 4), може бути прийнято рішення про “Suspended” / HOLD для одного з таких проєктів, навіть якщо він має високу вигоду;
    - проводиться сценарний аналіз – використовуються інструменти Scenario Analysis для моделювання впливу ключових зовнішніх загроз (наприклад, затримка іноземного фінансування або втрата критичного виробничого об’єкта) на портфель. За допомогою цього методу виявляються проєкти, які мають високу стійкість до цих загроз, і ті, які є найбільш уразливими.
3. **Балансування портфеля та ресурсний “челендж”.**
4. Цей процес забезпечує, що ресурси не будуть перевантажені, а стратегічний фокус буде збережено.
    - здійснюється ресурсне балансування – перевірка загального попиту на обмежені ресурси (фінанси, експерти, виробничі потужності) проти їхньої наявності. Якщо два найбільш пріоритетні проєкти вимагають одного й того самого ресурсу (наприклад, інженерного підрозділу в один і той самий період), один із проєктів може бути відкладений або переведений у статус “Suspended”, доки не звільняться ресурси;
    - проводиться балансування за категоріями – оцінюється, чи не є портфель занадто сфокусованим лише на одному типі ініціатив (наприклад, тільки “running” із низьким ризиком без інноваційних або, навпаки, надмірна частка високоризикових). Як правило, для візуалізації балансу використовується діаграма Value-vs-Complexity.
5. **Фінальне рішення та встановлення статусів.**
6. На основі аналізу ризиків та балансування ухвалюються остаточні рішення щодо статусу проєктів-кандидатів.

    Для прикладу:
    - проєкти зі статусом “running” – проєкти офіційно авторизовано й включено до портфеля, після чого вони переходять до етапу виконання. Наслідки для портфеля – максимізація стратегічної вигоди та більш ефективний розподіл ресурсів;
    - проєкти зі статусом “suspended” / HOLD – проєкти є стратегічно важливими (високі бали за критеріями 1 та 2), але тимчасово зупинені через непереборні ресурсні чи зовнішні обмеження. Наслідки для портфеля – ресурси звільняються, але проєкт залишається в “резерві” портфеля для переоцінювання у наступному циклі;
    - проєкти зі статусом “Rejected” / KILL (на вході) – підтверджено, що проєкт не відповідає стратегії (критерій 1) або має неприйнятну комбінацію високого ризику та низької вигоди. Наслідки – остаточне виключення, ресурси не виділяються.

Результатом цього кроку є офіційно затверджений набір програм і проєктів, які формують портфель спроможностей, що є максимально стійким, збалансованим і стратегічно узгодженим. Далі портфель переходить у фазу виконання.

Розглянемо ролі кожного зі стейкхолдерів, визначених у методології PM²-PfM, на кожному з кроків:

1. **Стратегічний рівень (Portfolio Level — управління портфелем).** На цьому рівні ухвалюються ключові рішення щодо інвестицій та стратегічної узгодженості. Цей рівень зазвичай відповідає ролям PfDG (Portfolio Decision Group) та PfSC (Portfolio Steering Committee):

- **керівник (керівники) найвищого рангу (Portfolio Decision Group – PfDG)** визначає стратегію та фінансові обмеження (Крок 1), ухвалює остаточні рішення “running”, “rejected”, “terminated”. Працює на основі пакета аналітичних матеріалів від PfM/PfSO: дашбордів, сценаріїв, оцінки наслідків для KPI (вигод); на засіданнях ухвалює рішення та задає мандат наступного циклу пріоритизації. Основним артефактом, за який PfDG відповідає (або який використовує), є Portfolio Analysis Report, на основі якого приймаються рішення та визначаються стратегічні цілі;
- **керівний комітет (Portfolio Steering Committee – PfSC)** здійснює нагляд і забезпечує балансування (Крок 6). Оцінює та ранжує ініціативи (Крок 5), здійснює оперативне управління портфелем і готує рішення для PfDG, веде зміни (ескалації), контролює виконання в межах делегованих повноважень. Розглядає рейтинг ініціатив, сценарії складу портфеля, стани компонентів (“running”, “suspended”, “terminated”), погоджує перерозподіл ресурсів, пакування та секвенування програм. Основними артефактами, за які PfSC відповідає (або які використовує), є Project Prioritisation Matrix (оцінювання) та Portfolio Dashboard (моніторинг KPI);
- **адміністратор портфеля (Portfolio Manager – PfM)** координує процеси Composition та Realisation, забезпечує звітність і функціонування системи. Головує в PfSC, забезпечує консолідацію даних і звітності, готує та веде Portfolio Handbook. Фасилітує пріоритизацію, веде “календар рішень”, збирає KPI (вигоди) з програм і проєктів, формує what-if-сценарії за обмеженнями бюджету, часу та ризику. Готує зведені аналітичні матеріали для PfSC/PfDG. Основними артефактами, за які PfM відповідає (або які використовує), є Portfolio Handbook (розроблення та підтримка), журнали змін, ризиків та інцидентів (агрегація), інструменти Benefits Tracking (звітність).

2. **Рівень програм і проєктів.** На цих рівнях відбувається безпосередня реалізація (фаза “running”):

- **керівник програми (Programme Manager – PgM)** координує взаємозалежні проєкти для досягнення стратегічних вигод, звітує перед PfSC. Основними артефактами, за які він відповідає (або які використовує), є інструменти Benefits Tracking (відстеження вигод програми) та проєктні плани (нагляд);
- **керівник проєкту (Project Manager – PM)** відповідає за виконання проєкту в межах бюджету та термінів, звітує перед PgM або PfM. Основними артефактами є план проєкту та журнали змін, ризиків та інцидентів (ведення на рівні проєкту);
- **офіс підтримки (Portfolio / Programme / Project Support Office – PfSO)** надає методичну, аналітичну та адміністративну підтримку: розробляє й підтримує шаблони, стандарти, портфельний репозиторій і дашборди. Збирає та перевіряє показники, оновлює журнали (ризики, зміни, рішення), публікує дашборди. Готує якісні дані для прийняття рішень, веде “живий” репозиторій портфеля (динамічну та актуальну систему зберігання, що містить усі офіційні дані та артефакти щодо поточного стану портфеля). Забезпечує дотримання стандартів (Framework Definition). Основними артефактами є шаблони документів, підтримка ведення журналів, стандарти KPI.

Портфельний підхід в оборонному плануванні, особливо в умовах війни, дає змогу досягти прозорості компромісів і скорочення циклу ухвалення рішень. Стандартизовані артефакти й уніфіковані дані дозволяють швидше погоджувати інвестиції, підвищуючи частку фінансування

критичних спроможностей у межах сталого бюджету. Project Prioritisation Matrix у зв'язці з вагами критеріїв і нормалізацією дає змогу об'єктивно ранжувати ініціативи, а карта "Value-vs-Complexity" швидко відокремлює "швидкі перемоги" та "стратегічні інвестиції". Рекурентні процеси PM²-PfM (Framework Definition, Composition, Realisation, Stakeholder Engagement) забезпечують гнучке балансування портфеля під зміни обстановки, синхронно з бюджетним циклом і оперативними потребами. Стандартизовані стани (Approved, Running, Suspended, Ended, Rejected, Terminated) запобігають "інерції проєктів", дозволяють завчасне припинення неефективних ініціатив і вивільнення ресурсів для пріоритетних потреб. Дашборди, журнали рішень та інструменти benefits tracking формують єдину картину стану, підтримують аудит і запобігають повторенню системних помилок.

Умови повномасштабної війни й хронічного дефіциту ресурсів роблять портфельний підхід безпосереднім каталізатором темпу нарощування бойового потенціалу за рахунок пріоритизації та випереджального управління ризиками.

У подальшому автори планують продовжити дослідження щодо впровадження портфельного підходу в систему Міністерства оборони України — з фокусом на інституціоналізацію процесів, критеріїв, порогів та артефактів. Подальшими напрямами досліджень можуть бути:

- інституційний дизайн і RASCI-матриця для МОУ, розроблення варіантів моделі урядування портфеля (PfDG / PfSC / PfM / PfSO) під український контекст: мандати, пороги ескалацій, календар рішень, інтеграція з планувальним і бюджетним циклом (PPBE);
- формування набору стандартних критеріїв (ваг) для функціональних груп спроможностей, розроблення каталогів критеріїв і базових профілів ваг для розвідки, застосування, логістики, кіберпростору тощо;
- розширений сценарний аналіз і стійкість портфеля – вбудовування регулярних what-if-сценаріїв, шоків бюджету, затримок постачань, "вузьких місць" оборонно-промислового комплексу, визначення критеріїв прийнятності портфельного ризику;
- політика kill / hold / go та "червоні лінії" – визначення KILL-критеріїв на вході (strategy misfit, неприйнятний ризик, надмірна ресурсомісткість), а також тригерів для Terminated / HOLD у Realisation; юридична та процесна інтеграція з контрактами й держзамовленням;
- операціоналізація benefits tracking – типові карти вигод, KPI портфеля (програм), правила атрибуції та верифікації бенефітів, механізми закриття "benefits gap";
- цифрові артефакти й репозиторій рішень – концепція портфельного репозиторію, журнали змін, ризиків і рішень, вимоги до даних ("точні й порівнювані"), шаблони звітності для PfDG / PfSC.

Висновки

Стаття переконливо доводить, що PM²-PfM може слугувати "операційною системою" для оборонного портфеля. Дана методологія робить рішення прозорими, трасованими й відтворюваними, скорочує час від запиту до інвестиційного рішення, дозволяє на ранніх стадіях "зупиняти" низькоцінні ініціативи та фокусуватися на вигодах, а не лише на "здачі продуктів". В умовах війни це особливо важливо, оскільки забезпечує здатність оперативно трансформуватися, підвищувати темп нарощування спроможностей (боєздатності) та ефективніше управляти ризиками.

PfM гарантує, що лише ті програми та проєкти, які мають найвищу стратегічну узгодженість та операційну вигоду, проходять стадію Composition та отримують статус "running". Завдяки механізмам "Rejected" / KILL (на вході) та використанню матриці пріоритетності, методологія унеможливлює розпорошення ресурсів на ініціативи, що не відповідають актуальній оборонній стратегії. Portfolio Dashboard та регулярні Portfolio Analysis Report надають вищому керівництву (PfDG) точні та порівнювані дані (Accurate & Comparable),

що дозволяє швидко ухвалювати рішення про “Terminated” / KILL (раніше завершення) для ініціатив, які втратили доцільність, і перенаправляти ресурси туди, де вони є критично необхідними.

PfM забезпечує дисципліну та контроль через чіткі статуси (“running”, “suspended”, “ended”) і фіксацію правил у Portfolio Handbook. Це мінімізує ситуативне фінансування та хаотичне управління. Централізоване ведення журналів змін, ризиків та інцидентів дає змогу ідентифікувати системні ризики та залежності, а Scenario Analysis підвищує стійкість портфеля до зовнішніх загроз (наприклад, ракетних ударів по виробничих об’єктах або затримок фінансування).

Портфельна методологія перетворює оборонне планування з реактивного процесу на проактивну, цілісну систему управління, яка є життєво необхідною для забезпечення швидкої адаптації, фінансової відповідальності та стійкості сил оборони в умовах високої невизначеності та активних бойових дій.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. European Commission, Centre of Excellence in PM². PM²-Portfolio Management: overview, resources, downloads [Електронний ресурс]. — 2022–2025. — URL: https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-portfolio-management_en (дата звернення: 12.09.2025).
2. European Commission. PM² Portfolio Management Guide. Version 1.5. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. — 116 p. — URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e6b94ceb-d4c2-11ec-a95f-01aa75ed71a1 (дата звернення: 12.09.2025).
3. NATO. NATO Defence Planning Process (NDPP) [Електронний ресурс]. — Офіційна сторінка НАТО. — URL: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49202.htm (дата звернення: 14.10.2025).
4. Saaty, T. L. The Analytic Hierarchy Process. — New York: McGraw-Hill, 1980. — 287 p. — URL: https://books.google.com.ua/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ (дата звернення: 16.09.2025).
5. European Commission. *PM² Programme Management Guide*. Version 1.0. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. — URL: https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_NO0421052ENN (дата звернення: 13.10.2025).
6. European Commission, CoEPM². PM²-Programme Management: overview & download [Електронний ресурс]. — 2023–2025. — URL: https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-programme-management_en (дата звернення: 15.10.2025).
7. European Commission. *PM² Project Management Methodology Guide*. Version 3.1. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024. — URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/97cc2f12-c648-11ee-95d9-01aa75ed71a1/language-en (дата звернення: 01.10.2025).
8. European Commission, CoEPM². PM² Guides and Artefacts — official downloads (Project 3.1, Programme 1.0, Portfolio 1.5) [Електронний ресурс]. — 2024–2025. — URL: https://pm2.europa.eu/resources_en (дата звернення: 17.10.2025).

9. ISO 16290:2013. Space systems — Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their detailed descriptions [Електронний ресурс] / International Organization for Standardization. — Geneva, 2013. — URL: https://www.iso.org/standard/60879.html (дата звернення: 12.11.2025).

References

1. European Commission, Centre of Excellence in PM². (2022–2025). *PM²-Portfolio Management: overview, resources, downloads*. https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-portfolio-management_en
2. European Commission. (2022). *PM² Portfolio Management Guide* (Version 1.5). Publications Office of the European Union. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e6b94ceb-d4c2-11ec-a95f-01aa75ed71a1
3. NATO. (2025). *NATO Defence Planning Process (NDPP)*. NATO Official Website. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49202.htm
4. Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill. https://books.google.com.ua/books/about/The_Analytic_Hierarchy_Process.html?id=Xxi7AAAAIAAJ
5. European Commission. (2021). *PM² Programme Management Guide* (Version 1.0). Publications Office of the European Union. https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_NO0421052ENN
6. European Commission, Centre of Excellence in PM². (2023–2025). *PM²-Programme Management: overview & download*. https://pm2.europa.eu/pm2-methodologies/pm2-programme-management_en
7. European Commission. (2024). *PM² Project Management Methodology Guide* (Version 3.1). Publications Office of the European Union. https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/97cc2f12-c648-11ee-95d9-01aa75ed71a1/language-en
8. European Commission, Centre of Excellence in PM². (2024–2025). *PM² Guides and Artefacts — official downloads (Project 3.1, Programme 1.0, Portfolio 1.5)*. https://pm2.europa.eu/resources_en
9. International Organization for Standardization. (2013). *ISO 16290:2013 — Space systems: Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their detailed descriptions*. https://www.iso.org/standard/60879.html

Підготовка управлінь (штабів) армійських корпусів як складова системи управління військами та організації пунктів управління: аналіз міжнародного й національного досвіду

Preparation of Army Corps Headquarters as a Component of the Troop Command System and Organization of Command Posts: Analysis of International and National Experience

Олександр Войтко [A]
Corresponding author: доктор військових наук, доцент, начальник інституту стратегічних комунікацій, e-mail: o.voytko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4610-4476

Дмитро Рибак [A]
старший викладач кафедри територіальної оборони, e-mail: rybak.dima@ukr.net, ORCID ID: 0009-0005-4239-2131

Максим Самсоненко [A]
викладач кафедри управління військами, e-mail: samson8115@ukr.net, ORCID ID: 0009-0001-6264-6582

Андрій Малиш [B]
Старший викладач кафедри, e-mail: andrey.malih@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-8751-2323

Олександр Замурняк [B]
Викладач кафедри, e-mail: kvp.nau@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-5806-044X

Максим Поливода [B]
Старший викладач кафедри, e-mail: maksym.polivoda@npp.kai.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4673-008X

Oleksandr Voitko [A]
Corresponding author: Dr of Military Sciences, Associate Professor, Head of the Institute of Strategic Communications, e-mail: o.voytko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4610-4476

Dmytro Rybak [A]
Senior teacher of the Department of Territorial Defense, e-mail: rybak.dima@ukr.net, ORCID ID: 0009-0005-4239-2131

Maksym Samsonenko [A]
Lecturer at the Department of Military Management, e-mail: samson8115@ukr.net, ORCID ID: 0009-0001-6264-6582

Andrii Maiysh [B]
Senior Lecturer Department, e-mail: andrey.malih@gmail.com, ORCID ID: 0009-0003-8751-2323

Oleksandr Zamurnyak [B]
Lecturer Department, e-mail: kvp.nau@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-5806-044X

Maxim Polivoda [B]
Senior Lecturer Department, e-mail: maksym.polivoda@npp.kai.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4673-008X

[A] Національний університет оборони України, м. Київ, Україна
[B]Кафедра військової підготовки Державного університету "Київський авіаційний університет", м. Київ, Україна

[A] National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[B]Department of Military Training, State University "Kyiv Aviation University", Kyiv, Ukraine

Received: October 20, 2025 | Revised: October 29, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.24

Мета роботи. Проведення аналізу іноземного та вітчизняного досвіду організації підготовки управлінь армійських корпусів.
Метод дослідження. Методи аналізу, узагальнення, дедукції.
Результати дослідження. Проведено аналіз стану організації системи підготовки управлінь (штабів) армійських корпусів за іноземними та вітчизняними публікаціями, викладено спільність етапів підготовки, особливості індивідуальної підготовки фахівців на L-курсах та узагальнено об'єктивні причини розбіжностей окремих питань організації їх оперативної підготовки.
Теоретична цінність дослідження. Матеріали статті можуть бути корисними службовим особам органів військового управління різних рівнів підпорядкованості, а також науковцям і дослідникам у галузі застосування, управління та розвитку Збройних Сил України.
Тип статті. Теоретично-практичний**,** описовий, методичний.

Purpose. Conducting an analysis of foreign and domestic experience in organizing the training of army corps departments.
Method. Methods of analysis, generalization, deduction.
Findings. An analysis of the state of the organization of the training system of departments (headquarters) of army corps was conducted based on foreign and domestic publications, the commonality of the training stages, the features of individual training of specialists at L-courses were outlined, and the objective reasons for differences in individual issues of organizing their operational training were summarized.
Theoretical implications. The materials of the article may be useful to officials of military command bodies of various levels of subordination, as well as to scientists and researchers in the field of application, management and development of the Armed Forces of Ukraine.
Papertype. Theoretical-practical, descriptive, methodical.

Ключові слова: управління, штаб армійського корпусу, організація підготовки, оперативно-тактичне угруповання, індивідуальна підготовка; оперативна підготовка; оперативність та стійкість системи управління, пункти управління, L- курси, система управління.

Key words: management, army corps headquarters, training organization, operational-tactical group, individual training, operational training, efficiency and stability of the management system, control points, L-courses, control system.

Вступ

Аналіз організації підготовки оперативно-тактичних угруповань військ сил оборони України (далі – ОВУ) у другому році відсічі широкомасштабної збройної агресії російської федерації засвідчив необхідність суттєвого удосконалення як самої системи управління військами, так і підготовки органів військового управління. Протягом перших двох років війни єдиними штатними бойовими військовими формуваннями залишались окремі бригади та полки, тоді як питання створення повноцінних штатних бойових з'єднань – зокрема дивізій та армійських корпусів – ще не було реалізоване. Водночас органи управління оперативного рівня (штаби оперативних командувань) були позбавлені повноцінних функцій оперативного управління військами.

У цих умовах бригади й полки зводилися у тимчасово створені оперативно-тактичні угруповання (ОТУ) та оперативні угруповання військ (ОУВ), а функції оперативного управління покладалися на відповідні штаби ОТУ й ОУВ. Такі штаби, по суті, виступали тимчасовими пунктами управління, сформованими за рахунок офіцерів різних органів військового управління та без належної попередньої злагодженості. Часто командувачів та офіцерів оперативних угруповань призначали на посади, до виконання функціональних обов'язків яких вони не мали відповідної підготовки.

Поширеними були ситуації, коли у підпорядкуванні командира загальновійськової або територіальної бригади перебувало від 4 до 8 позаштатних підрозділів і фактично жодного штатного. Це призводило до зниження рівня підготовки та злагодженості ОВУ різних рівнів, дезорганізації управління підрозділами тактичної ланки та втрати оперативності у прийнятті рішень через перевищення норм керованості. Виникали й інші проблеми, що ускладнювали організацію та проведення об'єднаних операцій, насамперед через недосконалість структури пунктів управління та недостатню підготовленість штабів до функціонування в умовах високої динаміки бойових дій.

Водночас створення штатних бойових з'єднань – таких як дивізії та армійські корпуси – залишається одним з ключових напрямів розвитку Збройних Сил України, про що йдеться у Концепції реформування ЗС України [1]. У воєнний час це завдання набуває особливої актуальності, адже потребує наукового опрацювання питань організації системи управління, підготовки штабів (управлінь) армійських корпусів та розбудови пунктів управління, спроможних забезпечити стійке, безперервне й ефективне управління військами у визначених районах відповідальності.

У цьому контексті важливим є вивчення міжнародного та національного досвіду щодо підготовки управлінь (штабів) армійських корпусів як невід'ємної складової системи управління військами, що й зумовлює актуальність даного дослідження.

Теоретичні основи дослідження

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує [2–5], що з низкою переваг щодо застосування армійських корпусів (поява сталих органів управління, військових частин, зони відповідальності) не розкритими залишаються питання підготовки штабних офіцерів. Армійські корпуси формуються на базі колишніх бригад. Водночас, вимоги до рівня підготовки офіцерів штабів загальновійськових бригад відрізняється від рівня офіцерів штабів армійських корпусів. На рівні корпусу здійснюється вже планування операції, яка за визначенням, змістом і масштабом відрізняється від планування бою бригади.

У джерелах [2–3] у загальних рисах зазначається проблема підготовки особового складу бригад закордоном за штабними процедурами об'єднаних сил (ОС) НАТО та невідповідність їм штабних процедур ОТУ. При цьому причини відмінності таких процедур в штабах ОТУ (зокрема, різниці в умовах часових, інформаційних та технологічних обмежень стосовно автоматизації процедур планування) не враховуються.

Також в [3] зазначається перевага у адаптуванні організаційної структури АК до масштабу з'єднань (дивізій) та об'єднань (армій), якими воює противник. У свою чергу перехід до організаційної структури АК має потягнути за собою збільшення можливостей для ураження противника. Крім того, перевагою очікується перехід на уніфіковану систему підготовки усього особового складу корпусу, зокрема, створення власних навчальних центрів не лише солдатського і сержантського складу, але й офіцерського.

Постановка проблеми

Проте аналізу досвіду організації підготовки оперативного складу управлінь (штабів) бригад та корпусів не проводився.

Отже основною метою статті є аналіз іноземного та національного (українського) досвіду організації підготовки управлінь армійських корпусів.

Результати

Ключовою проблемою яка виникла під час переходу на корпусну структуру став брак компетентних штабних офіцерів. Для управління одним корпусом потрібно мати 300-350 фахівців. Для управління 20 корпусами відповідно 6000-7000 фахівців. Підготовка такої кількості фахівців в умовах відсічі збройної агресії потребує не лише залучення максимальної кількості наявних центрів підготовки штабних офіцерів, але й перепрофілювання таких центрів з тактичного рівня підготовки на оперативний рівень, вивчення досвіду організація підготовки в ОС НАТО.

Організація підготовки оперативного складу управлінь (штабів) бригад та корпусів у Збройних Силах України є наближеною до організації підготовки оперативного складу у НАТО. Так, поетапна підготовка управлінь армійських корпусів ЗС США та держав-членів НАТО поділяється на три етапи [4]:

індивідуальна підготовка – офіцери і сержанти проходять курси в національних та багатонаціональних навчальних центрах;

колективна підготовка – охоплює тренування органів управління під час командно-штабних навчань та комп'ютеризованих навчань;

бойове злагодження – відпрацьовується взаємодія з підрозділами, зокрема в реалістичних сценаріях, що імітують сучасне поле бою.

Проте, вона містить і низку відмінностей.

Так, підготовка управлінь армійських корпусів у країнах НАТО є багаторівневим процесом, що поєднує планування застосування, оперативне управління та тактичну взаємодію в умовах багатонаціонального середовища.

Усі країни НАТО дотримуються єдиних стандартів підготовки та управління (наприклад, STANAG 2014, 2034, 2107), що забезпечує взаємосумісність у багатонаціональних операціях.

Ротаційний принцип підготовки управлінь корпусного рівня здійснюється у рамках ротації до Сил реагування НАТО (NRF), або в рамках участі у місіях (KFOR, EFP, NMI), це забезпечує постійний розвиток спроможностей.

Підготовка ведеться з урахуванням національних особливостей кожної країни, але в єдиному форматі, відповідно до потреб Альянсу. Наприклад, корпусні штаби армій Німеччини, Італії, Польщі чи Великої Британії регулярно задіяні у багатонаціональних навчаннях.

Основні принципи й підходи підготовки управлінь армійських корпусів країн НАТО включають: стандартизацію; модульність і гнучкість; поетапну підготовку управлінь; систему навчальних центрів НАТО; ротаційний принцип підготовки; інтеграція з національними компонентами.

Важливу роль у підготовці штабів армійських корпусів відіграє Система навчальних центрів ОС НАТО, зокрема основними з них є:

Joint Warfare Centre (JWC, Ставангер, Норвегія) – планування та підготовка (СРХ/САХ);

Joint Force Training Centre (JFTC, Бидощ, Польща) – тренування багатонаціональних штабів до участі в операціях НАТО;

NATO Communication and Information Systems School (Італія) – підготовка зі зв'язку та автоматизованих систем управління.

На цей час підготовка управлінь армійських корпусів у ЗС України проводиться за двома послідовними етапами:

перший – оперативна підготовка у формі підготовки персоналу у видах, окремих родах військ (сил), під керівництвом начальників управлінь підготовки видів, окремих родів військ (сил), із залученням мобільних тренувальних груп від підпорядкованих ВВНЗ, НЦ. Завершується цей етап спільними штабними (командно-штабними) тренуваннями;

другий – оперативна підготовка, у колективному форматі у складі органу військового управління, а саме управління армійського корпусу у НУОУ. Завершується цей етап командно-штабними навчаннями.

Бойове злагодження управлінь армійських корпусів ЗС України разом з підпорядкованими їм військовими частинами у, на відміну від штабів ОС НАТО, відбувається вже безпосередньо в зоні (районі) виконання бойових завдань.

На першому етапі підготовка штабів тактичного рівня (батальйонів та бригад), а також командирів (взводів, рот, батальйонів) передбачена в загальній системі підготовки персоналу ЗС України за курсами L-1 та L-2 має проходити у вказаних ВВНЗ згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №1490 від 30.12.2022 [5]. Згідно із Постановою визначено підготовку військових фахівців з тактичним рівнем освіти на курсах L-1, а у подальшому курсах L-2.

На курсах L-1 передбачено 3 напрямки підготовки:

1) курсантів – під час проходження ними навчання за програмою підготовки рівня "бакалавр" з одночасним проходженням курсів L-1A та L-1B;

2) громадянами, що мають вищу освіту, але не мають військової освіти – курси L-1A та/або L-1B);

3) офіцерами запасу L-1A та/або L-1B.

Зокрема, для командирів взводів передбачено курси – L-1/A (загальновійськова підготовка), L-1/B (підготовка відповідно до ВОС, на яку планується його підготовка).

Для командирів рот передбачено курси L-1/C.

Для офіцерів управління (штабу) батальйону, командирів батальйонів, офіцерів управління (штабу) бригади – курси L-2 загальні та за спеціальністю.

Для командирів бригад, офіцерів штабів АК визначено курси оперативного рівня підготовки фахівців L-3 (які готуються в НУОУ).

Для підготовки зазначених вище категорій офіцерів на курсах L-2 від НУОУ у 2023 році було передано до ВВНЗ відповідні програми їх підготовки, де і здійснюється їх підготовка, у тому числі офіцерів за окремими ВОС штабів бригад. Водночас, в силу об'єктивних причин, факультативно в НУОУ організовано додаткову підготовку окремих категорій посадових осіб (командирів бригад, начальників штабів бригад та ін.), які проходять підготовку на курсах L-3, але не встигали пройти підготовку за курсами L-2, у наслідок зростання інтенсивності ведення бойових дій, реорганізації органів управління та ін.

Тому, згідно рішень Міністра оборони України, Головнокомандувача ЗС України на клопотання Командувача Сухопутних військ ЗС України в НУОУ в межах курсу підготовки офіцерів оперативного рівня (L-3) факультативно тимчасово організовано додаткову підготовку офіцерів на курсах (L-2).

Також причинами такої організації є те, що у ВВНЗ до початку відсічі збройної агресії рф традиційно готували, командирів взводів та профільних спеціалістів. Відповідну допідготовку (L-курси) командирів рот, батальйонів, офіцерів штабів батальйонів ввели під час відсічі

збройної агресії рф. Укомплектованість ВВНЗ викладачами за рівнем освіти та знань щодо підготовки офіцерів штабів бригад була недостатньою. Гриф інформації щодо роботи з документами для рівня штабів батальйонів обмежувався рівнем не вище ДСК. Крім того, курси L-2 почали викладати у ВВНЗ лише з минулого року.

Що стосується другого етапу – оперативної підготовки слід зазначити, що процеси планування операцій та бою за стандартами (доктринами, бойовими статутами, настановами) ЗС України та ОЗС НАТО (ОРР та ТР), у т.ч. ЗС США на корпусному рівні, подібні між собою, але мають і відмінності, зважаючи на умови (Україна поки не є членом НАТО і не може вносити пропозиції в STANAG щодо використання процедурних публікацій, здійснює відсіч збройній агресії РФ) та низку причин: за чисельністю структур штабів, в оперативній та особливо в тактичній ланці, рівнем автоматизації процесів планування поступається штабам НАТО.

Подібним є послідовність та загальний порядок процесу планування застосування військ (реагування на кризову ситуацію), зміст більшості етапів (фаз) планування, переліку нарад (брифінгів), методів роботи, процедур розроблення директивних (розпорядчих) та планувальних документів, які є стандартизованими.

На відміну від штабів НАТО безпосереднє планування операцій в органах управління ЗС України, здійснюється в умовах значних часових, інформаційних та технологічних обмежень (стосовно автоматизації процедур планування). Тому, основними відмінностями планування операцій в органах управління ЗС України на відміну від процесу ОРР в штабах НАТО є: спрощення процедур розроблення, порівняння варіантів способу ведення операції, відсутності, зазвичай, процесу розроблення операційного дизайну. Такий порядок знижує обґрунтованість висновків з оцінювання обстановки, проте, він адаптований до існуючих умов організації управління військами в ході відсічі збройній агресії рф, значних часових, та інформаційних обмежень, наявного рівня автоматизації процедур планування в ОВУ ЗС України, їх укомплектованості та підготовки оперативного складу.

Тому, для досягнення повної сумісності процесів планування операцій потрібно не лише повне урахування у доктринах ЗС України з об’єднаного планування та планування операцій процесів ОРР (процедур за встановленими стандартами) та розроблення операційного дизайну, а й відповідності умов організації та роботи ОВУ ЗС України за чисельністю та структурою штабів, рівнем автоматизації процесів планування, навченості штабів за відповідними ОРР чи ТР процедурам штабів НАТО.

З іншого боку під час оперативної підготовки має здійснюватися урахування практичного досвіду роботи ОВУ ЗС України оперативної і тактичної ланок управління у ході відсічі збройної агресії, яке має описуватись у відповідних методичних рекомендаціях.

Висновки

Таким чином, у статті проведено аналіз стану організації підготовки управлінь (штабів) армійських корпусів за іноземними та вітчизняними публікаціями, викладено спільність етапів підготовки, особливості індивідуальної підготовки фахівців на L-курсах та узагальнено об’єктивні причини розбіжностей окремих питань організації їх оперативної підготовки.

Новизна статті полягає в систематизованому описі та аналізі питань організації та підготовки офіцерів (штабів) тактичної ланки ЗС України, а також армійських корпусів.

Напрямом подальших досліджень може бути: розроблення методичного підходу щодо обґрунтування вимог до системи підготовки управлінь (штабів) армійських корпусів до виконання завдань з планування операцій та управління в ході їх ведення.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Концепція реорганізації Збройних Сил України в умовах збройної агресії російської федерації проти України. Схвалено на засіданні Ставки Верховного Головнокомандувача ЗС України. Наказ від 07.02.2025 № 9т/ВГК.
2. Зог О. Армійські корпуси: можливості та ризики вкрай потрібної реформи. TEXTY.org.ua. 12.02.2025. URL: http://texty.org.ua (дата звернення: 19.11.2025).
3. Кириленко О. Чи буде Україна воювати корпусами? Розбір. Українська правда. 30.04.2025. URL: https://www.pravda.com.ua (дата звернення: 19.11.2025).
4. United States Army. Field Manual FM 3-0 “Operations”. March 2025.
5. Кабінет Міністрів України. Постанова № 1490 від 30.12.2022 “Про трансформацію системи військової освіти” (зміни до ПКМУ № 1410 від 1997 року). URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/1490-2022-п (дата звернення: 19.11.2025).
6. Закон України “Про оборону України” від 06.12.1991 № 1932-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12 (дата звернення: 19.11.2025).
7. Генеральний штаб Збройних Сил України. Інструкція з діловодства у Збройних Силах України. Наказ ГШ ЗСУ від 15.08.2023 № 250. Київ: МО України, 2023.
8. Генеральний штаб Збройних Сил України. Настанова з бойової підготовки Збройних Сил України. Ред. 2024. Київ: МО України, 2024.
9. Гусак Ю. А. Спосіб оцінювання оперативності управління під час виконання оперативних (бойових) завдань. Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, 2024.
10. Семененко О. М., Митченко С. І., Добровольський Ю. В., Твердохліб Є. О. Еволюція форм і способів застосування угруповань військ (сил): тенденції збройної боротьби. Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України. 2024. № 2(108). С. 45–56. URL: https://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/XXXXX (дата звернення: 19.11.2025).

References

1. Supreme Commander-in-Chief Headquarters of the Armed Forces of Ukraine. (2025). *Concept of reorganization of the Armed Forces of Ukraine under conditions of the armed aggression of the Russian Federation against Ukraine* (Order No. 9t/VHK, February 7, 2025).
2. Zogh, O. (2025, February 12). *Army corps: Opportunities and risks of a critically needed reform*. TEXTY.org.ua. http://texty.org.ua
3. Kyrylenko, O. (2025, April 30). *Will Ukraine fight with corps? An analysis*. Ukrainska Pravda. https://www.pravda.com.ua
4. United States Army. (2025). *FM 3-0: Operations*. U.S. Department of the Army.
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2022, December 30). *Resolution No. 1490 “On the transformation of the military education system”*. https://zakon.rada.gov.ua/go/1490-2022-%D0%BF
6. Verkhovna Rada of Ukraine. (1991, December 6). *Law of Ukraine “On Defense of Ukraine” No. 1932-XII*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12
7. General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2023). *Record-keeping instruction in the Armed Forces of Ukraine* (Order No. 250, August 15, 2023). Ministry of Defence of Ukraine.
8. General Staff of the Armed Forces of Ukraine. (2024). *Combat training manual of the Armed Forces of Ukraine* (2024 ed.). Ministry of Defence of Ukraine.

9. Husak, Yu. A. (2024). A method for assessing command responsiveness during operational (combat) mission execution. *Scientific Works of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*.
10. Semenenko, O. M., Mytchenko, S. I., Dobrovolskyi, Yu. V., & Tverdokhlib, Ye. O. (2024). Evolution of forms and methods of employing military formations: Trends in armed struggle. *Scientific Works of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*, 2(108), 45–56. https://znp-cvsd.nuou.org.ua/article/view/XXXXX

Система показників оцінювання ефективності побудови систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів

System of Indicators for Assessing the Efficiency of Information Transmission and Processing Systems of Combat Unmanned Aerial Vehicles

Олександр Тарасенко
ад'юнкт кафедри комунікаційних технологій та кіберзахисту, e-mail: tarasbcx13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8881-5869

Tarasenko Oleksandr
PHD student, Department of Communication Technologies and Cyber Defense, e-mail: tarasbcx13@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-8881-5869

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

National University of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 15, 2025 | Revised: October 29, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.25

Мета роботи. Розробити оптимізаційну математичну модель підвищення ефективності систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на основі інтегрального показника ефективності *D,* що відображає узагальнену оцінку стану системи зв'язку за сукупністю часткових показників.

Метод дослідження. В основу моделі покладено інтегральний показник *D* як цільову функцію, яку необхідно максимізувати. Змінними виступають не самі технічні показники, а керуючі параметри системи — такі як потужність передавача, кількість ретрансляторів, висота польоту, рівень енергоспоживання та стійкість каналу зв'язку. Кожен із часткових показників інтегрується в єдину оцінку ефективності. Для інтерпретації результатів використано критерії шкали Харрінгтона.

Результати дослідження. Розроблено математичну модель інтегрального оцінювання ефективності систем передачі та обробки інформації бойових БПЛА та проведено її апробацію шляхом комп'ютерного моделювання. Отримано залежності між відстанню між ретрансляторами, співвідношенням сигнал/шум та інтегральним показником ефективності *D,* які підтвердили адекватність моделі. Після впровадження удосконаленої методики інтегральний показник підвищився в середньому на 20–25 %, що свідчить про підвищення стійкості зв'язку та енергетичної ефективності.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження збагачує теоретичну базу оцінювання ефективності систем зв'язку у військових інформаційних мережах, демонструючи, як множину часткових технічних параметрів можна агрегувати в один інтегральний критерій. Розроблений підхід може бути основою для створення універсальних моделей оцінювання ефективності інших інформаційно-комунікаційних систем подвійного призначення.

Оригінальність / Цінність дослідження. Новизна полягає у системній інтеграції шести базових показників у єдиний безрозмірний індекс ефективності *D*, який має як кількісну, так і якісну інтерпретацію. Запропоновано методику, що поєднує фізичні параметри системи зв'язку з оцінними критеріями стійкості та енергозабезпечення, що забезпечує комплексне оцінювання системи у бойових умовах.

Майбутні дослідження. У подальших роботах доцільно реалізувати програмний модуль для автоматизованої оцінки показників ефективності в реальному часі, інтегрувавши його у систему управління роями БПЛА. Також перспективним напрямом є розроблення адаптивних алгоритмів зважування часткових показників залежно від типу місії, радіоелектронної обстановки та динаміки бойових дій.

Тип статті. Прикладна, з елементами математичного моделювання.

Purpose. The purpose of this study is to develop an optimization mathematical model aimed at enhancing the efficiency of information transmission and processing systems for combat unmanned aerial vehicles (UAVs). The model is based on an integral efficiency indicator D, which represents a generalized quantitative assessment of the communication system's performance, integrating multiple technical and operational parameters into a single criterion.

Method. The model treats the integral indicator D as the objective function to be maximized. The variables are not the technical parameters themselves but the control parameters of the system, such as transmitter power, number of relays, flight altitude, energy consumption level, and channel robustness. Each partial performance indicator is normalized and integrated into a unified efficiency score. The interpretation of results is performed using the Harrington desirability scale.

Findings. A mathematical model for integral evaluation of the efficiency of combat UAV communication and data processing systems was developed and tested through computer simulation. The obtained dependencies between relay distance, signal-to-noise ratio (SNR), and the integral efficiency index D confirmed the model's adequacy. Implementation of the proposed optimization method increased the integral indicator by an average of 20–25%, demonstrating improved link stability and energy efficiency under realistic operational conditions.

Theoretical implications. The research expands the theoretical foundations of performance evaluation in military communication networks by demonstrating how a set of heterogeneous technical parameters can be aggregated into a single integral criterion. The proposed approach can serve as a conceptual basis for developing universal efficiency assessment models applicable to other dual-use information and communication systems.

Originality / Value. The originality of the study lies in the systematic integration of six fundamental performance indicators into a single dimensionless efficiency index D, which possesses both quantitative and qualitative interpretability. The proposed methodology combines physical communication parameters (such as throughput, delay, SNR, and reliability) with evaluative criteria of resilience and energy efficiency, thus providing a comprehensive assessment of UAV communication systems under combat conditions.

Future research. Future work should focus on implementing a software module for automated real-time evaluation of the proposed efficiency indicators, integrated into swarm UAV control systems. Another promising direction is the development of adaptive weighting algorithms for the indicators depending on mission type, electromagnetic environment, and the dynamics of combat operations.

Papertype. Applied research with elements of mathematical modeling.

Ключові слова: бойові безпілотні літальні апарати, системи передачі даних, обробка інформації, показники ефективності, інтегральний індекс, системи зв'язку, ретрансляційні мережі, моделювання ефективності.

Key words: combat unmanned aerial vehicles (UAVs), data transmission systems, information processing, performance indicators, integral efficiency index, communication networks, relay systems, efficiency modeling.

Вступ

Стрімкий розвиток безпілотних літальних систем докорінно змінив підходи до ведення сучасних бойових дій. Безпілотники виконують широкий спектр завдань – від спостереження й розвідки до ураження цілей і забезпечення зв'язку між підрозділами. Їх ефективність безпосередньо залежить від надійності систем передачі та обробки інформації, які забезпечують оперативність управління, своєчасність прийняття рішень і злагодженість дій у багаторівневих структурах управління. У реальних бойових умовах такі системи функціонують у складному середовищі з високим рівнем радіоелектронних завад, обмеженими енергетичними ресурсами та нестабільними каналами зв'язку.

Сучасний стан проблеми свідчить, що системи передачі інформації для безпілотних апаратів розвиваються швидкими темпами, однак більшість існуючих рішень орієнтовані на забезпечення лише окремих параметрів якості — наприклад, збільшення пропускної здатності або зменшення затримки сигналу. Такий підхід не дає цілісного уявлення про загальну ефективність функціонування, оскільки не враховує взаємозалежність технічних, енергетичних та інформаційних факторів. У результаті виникають труднощі з порівнянням різних систем, вибором оптимальних конфігурацій і прогнозуванням поведінки мереж у змінних бойових умовах.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичні основи побудови системи передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних систем базуються на принципах системного підходу, кібернетики та теорії інформації. Система передачі даних розглядається як багаторівнева структура, що об'єднує підсистеми формування, передавання, прийому, обробки та зберігання інформації в умовах складного бойового середовища. Її ефективність визначається узгодженою роботою апаратних і програмних компонентів, а також здатністю адаптуватися до зовнішніх факторів, таких як завади, зміна рельєфу, погодні умови чи втрати окремих вузлів зв'язку [1]. Система передачі інформації безпілотних комплексів належить до класу відкритих динамічних систем, у яких взаємозв'язок між технічними, енергетичними та інформаційними параметрами має нелінійний характер. Кожна зміна одного з елементів (наприклад, потужності передавача чи відстані між ретрансляторами) призводить до змін у пропускній здатності, затримці сигналу, рівні втрат пакетів або енергоспоживанні. Тому ефективність таких систем не може бути визначена окремими параметрами, а потребує побудови комплексної моделі оцінювання на основі взаємопов'язаних показників [2]. Одним із фундаментальних елементів теоретичної бази дослідження є застосування функції бажаності Харрінгтона для узгодження показників різної природи в єдиній шкалі ефективності. Функція бажаності дозволяє перейти від приватних метрик до інтегрального критерію, що відображає узагальнену оцінку стану системи, і при цьому адекватно описує нелінійний характер впливу окремих параметрів на загальну ефективність. Використання цього підходу робить можливим одночасне врахування технічних, енергетичних і топологічних аспектів функціонування мережі БПЛА [3].

Таким чином, теоретичні основи дослідження полягають у формуванні структурованої системи показників, що поєднує технічні, енергетичні та інформаційні характеристики в єдиній моделі. Такий підхід створює наукове підґрунтя для подальшої розробки методів прогнозування, адаптивного керування та оптимізації параметрів мереж зв'язку бойових безпілотних систем у реальних умовах ведення бойових дій.

Постановка проблеми

Ефективність бойових безпілотних літальних систем значною мірою визначається якістю функціонування систем передачі та обробки інформації, які забезпечують стійкий і

безперервний обмін даними між апаратами, пунктами управління та елементами бойових порядків [4]. В умовах активного інформаційного протиборства, насиченості електромагнітного простору, використання засобів радіоелектронної боротьби та обмежених енергетичних ресурсів виникає потреба у науково обґрунтованих підходах до кількісного оцінювання ефективності таких систем [5]. Існуючі методики оцінювання здебільшого зосереджені на окремих технічних характеристиках, не забезпечуючи комплексного урахування взаємозалежності технічних, енергетичних та зовнішніх чинників [6]. Це унеможливлює формування об'єктивної оцінки загального стану системи та ускладнює вибір оптимальних архітектурних рішень.

Проблема полягає у відсутності єдиної системи показників, здатної інтегрувати різнорідні параметри в один узагальнений критерій ефективності. Для її вирішення необхідно розробити структурований підхід, який дозволить оцінювати ефективність систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних систем на основі інтеграції приватних показників у єдиний індекс, що відображатиме реальний рівень функціонування системи в умовах бойового застосування [7].

Результати

У результаті проведеного дослідження створено комплексну систему показників, що забезпечує кількісну оцінку ефективності побудови систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних систем. Основна ідея полягає в тому, що жоден із часткових показників (пропускна здатність, затримка, втрати пакетів тощо) не може повністю відобразити стан системи окремо. Тому запропоновано узагальнений підхід, який дозволяє оцінити сукупний ефект від зміни декількох параметрів одночасно [8].

Теоретична основа вибору системи показників для оцінювання ефективності побудови систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних систем ґрунтується на системному підході, теорії інформації і теорії надійності. Передумова цього підходу наступна: робота каналів зв'язку та підсистем обробки даних у бойових умовах визначається не одним-двома технічними параметрами, а сукупністю взаємопов'язаних характеристик, що відображають продуктивність, швидкодію, стійкість до завад та ресурсну зношуваність. Щоб отримати коректну й прикладну оцінку, необхідно обрати таку мінімальну множину показників, яка в сукупності покриває основні "вимірювальні осі" системи: інформаційний потік (об'єм і швидкість), часова реакція, цілісність передачі, стійкість і енергоджерельна самодостатність. Саме тому доцільно обрати наступні приватні показники: пропускна здатність *(C)*, затримка сигналу *(T)*, ймовірність втрати пакетів (*Ploss*), надійність каналу *(R)*, завадозахищеність *(J)* та енергоспоживання *(E)*. Кожен із них відображає окрему вимірювальну вісь, а разом вони формують систему, що дозволяє описувати поведінку мережі і робити кількісні порівняння архітектур або режимів роботи.

Аргументи за вибором саме цих показників викладені нижче. Пропускна здатність – *C* відображає максимальний інформаційний потік, здатність системи обробляти й передавати великі дані (відео, телеметрія), а отже безпосередньо впливає на бойову корисність. Затримка – *T* визначає часову придатність каналу для завдань реального часу; її перевищення призводить до деградації управління. Ймовірність втрати пакетів *Ploss* характеризує цілісність і надійність інформації після проходження каналу – втрати спотворюють зміст повідомлення і підривають ситуаційну обізнаність. Надійність – *R* дає ймовірнісну оцінку безвідмовності роботи підсистеми в часі, що важливо для безперервності операцій. Завадозахищеність – *J* відображає стійкість до активних і пасивних перешкод (*SNR*, захист від РЕБ) – ключовий фактор виживання каналу в бойовому середовищі. Нарешті, енергоспоживання – *E* визначає тривалість автономної роботи апаратів і ретрансляторів, а також обмежує можливості по збільшенню потужності чи додатковим резервам – тобто встановлює ресурсні обмеження, в

яких система повинна працювати. Усуваючи дублювання ролей (кожен показник відображає різний аспект), ці шість індикаторів утворюють мінімально достатню множину для комплексної оцінки.

Таблиця 1 – Показники оцінювання ефективності побудови систем передачі та обробки інформації та їх особливості

№ з/п	Показник	Позначення	Одиниця виміру	Напрям впливу	Інтерпретація
1	*Пропускна здатність*	***C***	*Мбіт/с*	Більше – краще	Характеризує продуктивність каналу зв'язку; відображає обсяг даних, що може бути передано за одиницю часу.
2	*Затримка сигналу*	***T***	*мс*	Менше – краще	Визначає швидкодію каналу передачі інформації; критична для реального часу.
3	*Ймовірність втрат пакетів*	***Ploss***	*%*	Менше – краще	Відображає достовірність передачі; вказує на частку втраченої інформації.
4	*Надійність каналу*	***R***	*0–1*	Більше – краще	Показує імовірність безвідмовної роботи системи протягом заданого часу.
5	*Завадозахищеність*	***J***	*дБ*	Більше – краще	Визначає стійкість до перешкод і впливу засобів РЕБ.
6	*Енергоспоживання*	***E***	*Дж/Мб*	Менше – краще	Відображає енергоефективність передачі; важливо для тривалості місії.

Нижче наведено математичний опис кожного показника, процедуру нормалізації, перетворення в критерій бажаності та спосіб агрегації в узагальнений індекс ефективності.

Пропускна здатність *(C)* є одним із ключових показників ефективності системи передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оскільки визначає обсяг даних, який може бути передано через канал зв'язку за одиницю часу. Висока пропускна здатність забезпечує можливість одночасної передачі відеопотоків, телеметрії, команд управління та службових сигналів, що прямо впливає на швидкість реакції та точність дій БПЛА під час бойових операцій [1].

Математично пропускна здатність визначається співвідношенням обсягу переданої інформації до часу передачі:

$$C = B / \Delta t \quad (1)$$

де B – кількість переданих даних (Мбіт);
Δt – тривалість передачі (с).

Цей показник є стимулятором: зі збільшенням C підвищується ефективність інформаційної взаємодії між пунктом управління, ретрансляторами та самим БПЛА.

Затримка сигналу описує *(T)* час, необхідний для проходження інформації через елементи системи зв'язку — від джерела до приймача. Вона складається з трьох основних компонентів: часу обробки даних, поширення сигналу та чергової затримки [2].

$$T = T_{proc} + T_{prop} + T_{queue} \quad (2)$$

де T_{proc} – час обробки;
T_{prop} – час поширення;
T_{queue} – затримка в черзі.

Показник *T* є дестимулятором: чим менше його значення, тим оперативніше працює система.

Ймовірність втрати пакетів *(Ploss)* відображає надійність каналу зв'язку при передачі інформації та визначається відношенням кількості втрачених пакетів до кількості відправлених. Цей параметр безпосередньо пов'язаний із якістю каналу та впливом завад [3].

$$P_{loss} = N_{lost} / N_{sent} \quad (3)$$

де N_{lost} – кількість втрачених пакетів;
N_{sent} – кількість відправлених пакетів.

Ймовірність втрати пакетів *Ploss* є дестимулятором, оскільки зростання втрат погіршує якість передачі.

Надійність *(R)* визначає здатність системи зв'язку функціонувати без збоїв у заданих умовах і часі. Для бойових систем вона є критичною, адже втрата зв'язку навіть на короткий проміжок може призвести до втрати керованості БПЛА [4].

$$R = N_{succes} / N_{tot} \quad (4)$$

де $N_{success}$ – кількість успішно переданих пакетів;
N_{tot} – загальна кількість спроб.

Показник *R* є стимулятором: чим ближче до 1, тим стабільніше працює система.

Завадозахищеність *(J)* показує стійкість системи зв'язку до впливу електромагнітних перешкод і засобів радіоелектронної боротьби. Цей показник є вирішальним для БПЛА, що діють у зоні противника [5].

$$J = 10 \cdot log10(P_{sig} / P_{jam}) \quad (5)$$

де P_{sig} — потужність корисного сигналу;
P_{jam} — потужність завад.

Завдозахищеність – *J* є стимулятором: більше значення – краща якість зв'язку.

Енергоспоживання *(E)* визначає витрати енергії на передачу одиниці інформації. Для БПЛА цей параметр безпосередньо впливає на тривалість польоту та автономність системи [6].

$$E = P \cdot \Delta t / B \quad (6)$$

де P — середня споживана потужність,
Δt — тривалість передачі,
B — обсяг переданих даних.

Енергоспоживання *(E)* є дестимулятором: менше споживання енергії — вища ефективність.

Оскільки ці показники мають різну фізичну природу та вимірюються в різних одиницях (Мбіт/с, секунди, відсотки, децибели, вати тощо), їх безпосереднє порівняння або сумування є неможливим. Для забезпечення можливості агрегування параметрів у єдиний інтегральний критерій ефективності необхідно виконати процедуру нормалізації, тобто приведення усіх значень до безрозмірного діапазону [0;1]. Це дозволяє адекватно відобразити відносний внесок кожного показника у загальну оцінку та застосувати подальшу математичну обробку — зокрема, використання функції бажаності Харрінгтона для побудови інтегрального індексу ефективності системи.

У таблиці *2* наведено формули для приведення різнорідних параметрів до єдиної безрозмірної шкали, що дозволяє коректно інтегрувати їх у спільну модель оцінювання. Для стимуляторів *(C, R, J)* нормалізація здійснюється за прямою формулою, де зростання параметра підвищує ефективність. Для дестимуляторів *(T, Ploss, E*) використано інверсну

залежність, що забезпечує зростання нормалізованого значення при зменшенні реального показника. Таким чином, усі параметри переводяться у єдиний інтервал [0;1], де *0* відповідає гранично низьким або недопустимим характеристикам, а 1 — оптимальним умовам функціонування системи зв'язку БПЛА. Це дозволяє забезпечити єдину основу для подальшого розрахунку інтегрального критерію ефективності.

Таблиця 2 – Математичний опис нормалізації показників

Показник	Формула нормалізації	Пояснення
C	*C' = (C − Cmin) / (Cmax − Cmin)*	Визначає відносну пропускну здатність.
T	*T' = 1 − (T − Tmin) / (Tmax − Tmin)*	Менша затримка — вищий показник ефективності.
Ploss	*Ploss' = 1 − (Ploss − Ploss_min) / (Ploss_max − Ploss_min)*	Менші втрати — краща якість каналу.
R	*R' = (R − Rmin) / (Rmax − Rmin)*	Пряма оцінка надійності системи.
J	*J' = (J − Jmin) / (Jmax − Jmin)*	Оцінює рівень захисту від перешкод.
E	*E' = 1 − (E − Emin) / (E_max − Emin)*	Менше енергоспоживання — краща ефективність.

Для подальших розрахунків та узагальнення показників вводимо Інтегральний показник (D), що являє собою геометричне середнє нормалізованих часткових показників ефективності системи. Він відображає узагальнену оцінку стану системи передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів:

$$D = \left(d_C \cdot d_T \cdot d_{P_{loss}} \cdot d_R \cdot d_J \cdot d_E\right)^{1/6} \quad (7)$$

де $d_C, d_T, d_{Ploss}, d_R, d_J, d_E$, — часткові нормалізовані значення бажаності кожного з показників (пропускної здатності, затримки сигналу, ймовірності втрат, надійності, завадозахищеності та енергоспоживання відповідно);

1/6 — степінь відповідає кількості показників у системі.

У випадку, якщо окремі параметри мають різну вагу (наприклад, для бойових систем пріоритетними є *надійність* і завадозахищеність), використовується узагальнена форма інтегрального показника з ваговими коефіцієнтами w_i:

$$D = \left(\prod_{i=1}^{6} d_i^{w_i}\right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^{6} w_i}} \quad (8)$$

де w_i — коефіцієнти вагомості, що визначають відносну значущість кожного показника.

Інтегральний показник *D* належить до інтервалу [0;1].

- Значення, близькі до *1*, вказують на високий рівень ефективності системи — усі параметри знаходяться у допустимих або оптимальних межах.
- Значення 0.63–0.80 характеризують стабільну, але не оптимальну роботу системи.
- *D* < 0.63 означає втрату стійкості зв'язку або низьку якість інформаційного обміну.

Таким чином, *D* виступає *єдиним інтегральним критерієм*, який дозволяє кількісно оцінити узгодженість усіх параметрів системи та визначити її загальний рівень працездатності.

Критерії в *Таб. 3* дають змогу оперативно інтерпретувати результати розрахунку інтегрального показника ефективності *D* без необхідності глибокого аналізу всіх приватних параметрів. Значення $D \geq 0.80$ вказує на повну працездатність системи передачі та обробки інформації бойових БПЛА у реальних умовах експлуатації.

Таблиця 3 – Критерії інтегрального показника ефективності системи передачі та обробки інформації бойових БПЛА

Інтервал значення D	Рівень ефективності	Характеристика стану системи	Рекомендації
$D \geq 0.80$	*Високий (задовільний)*	Система функціонує стабільно, забезпечує безперервний зв'язок, передача даних відбувається з високою достовірністю.	Подальша експлуатація у штатному режимі. Оптимізація не потрібна.
$0.63 \leq D < 0.80$	*Середній (умовно задовільний)*	Система працездатна, але спостерігаються окремі відхилення — збільшення затримки або часткові втрати пакетів.	Рекомендується технічна оптимізація окремих каналів зв'язку чи підсилення сигналу.
$D < 0.63$	*Низький (незадовільний)*	Система працює нестійко, якість передачі інформації незадовільна, ймовірна втрата керованості.	Необхідне втручання: переналаштування каналів, підвищення потужності або зміна архітектури мережі.

Діапазон 0.63–0.80 визначає умовно допустимий рівень — система функціонує, але не забезпечує оптимального співвідношення швидкості, достовірності та стійкості зв'язку.

При $D < 0.63$ система вважається неефективною, а подальше використання без корекції параметрів зв'язку є недоцільним. Критерії можуть бути використані не лише для наукового аналізу, але й для практичної автоматизованої діагностики стану систем зв'язку БПЛА у процесі моделювання, тестування або бойового управління.

Для підтвердження працездатності запропонованої системи показників проведено чисельне моделювання ефективності функціонування системи передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів.

Метою симуляції було дослідити, як зміна ключових факторів — відстані між ретрансляторами та співвідношення сигнал/шум *(SNR)* — впливає на інтегральний показник ефективності *D* до та після впровадження удосконаленої методики.

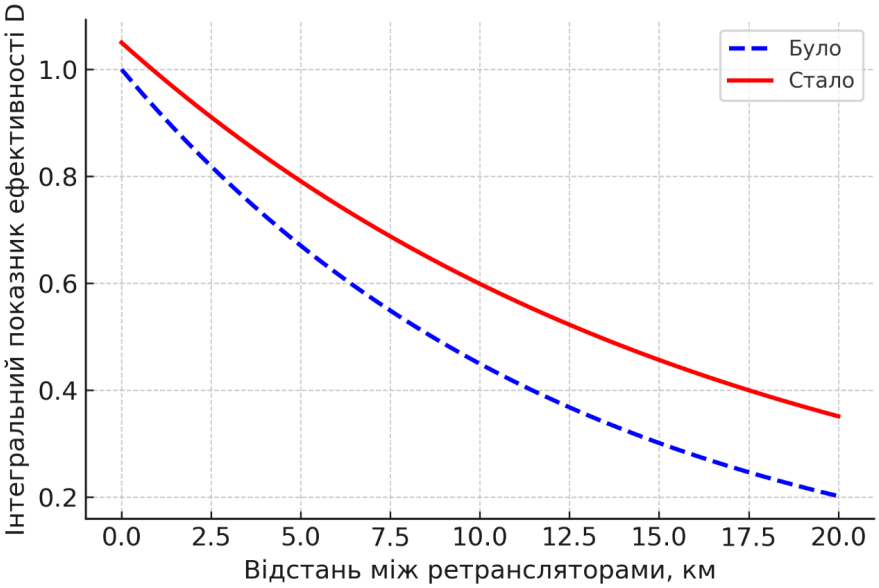


Рисунок 1. – Залежність інтегрального показника *D* від відстані між ретрансляторами

Для моделювання та перевірки ефективності отриманих результатів із застосуванням

синтетичних даних, сформованих на основі емпіричних залежностей, характерних для систем зв'язку БПЛА [9, 10]. Використовуємо наступні Вхідними параметри:

відстань між ретрансляторами *(*0–20 км*)*, що впливає на рівень втрат сигналу;

співвідношення сигнал/шум (0–30 *дБ*), яке визначає якість каналу;

сукупність нормалізованих показників *(C', T', Ploss', R', J', E')*, отриманих у попередніх розрахунках.

Інтегральний показник *D* обчислювався за виразом (7, 8).

На Рис. 1 подано залежність інтегрального показника *D* від відстані між ретрансляторами: синя лінія відображає початковий стан системи до оптимізації — ефективність швидко знижується при збільшенні відстані, що свідчить про високі втрати потужності сигналу. Червона лінія демонструє стан системи після удосконалення — впровадження алгоритмів оптимізації маршрутизації та адаптивного керування потужністю зменшило втрати, забезпечивши плавніше зниження *D*. Таким чином, навіть при відстані 15 км ефективність зросла на ≈ 25 *%* у порівнянні з базовою моделлю.

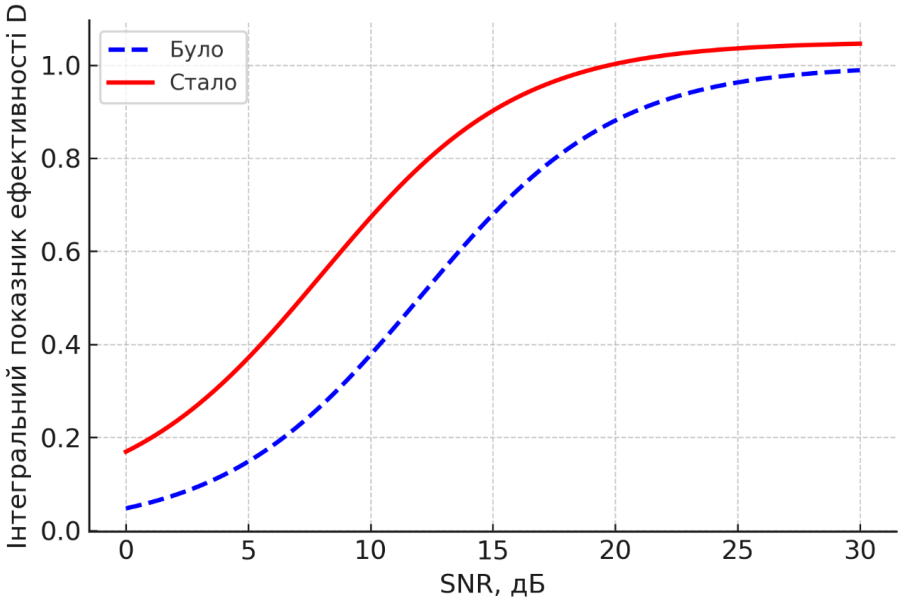


Рисунок 2 – Залежність інтегрального показника *D* від співвідношення сигнал/шум (SNR)

На Рис. 2 показано залежність інтегрального показника *D* від співвідношення сигнал/шум (SNR).

До оптимізації (синя крива) приріст D починається лише при *SNR > 12 дБ.*

Після застосування запропонованої методики (червона крива) система демонструє стале зростання вже при *SNR >* 6 *дБ,* що підтверджує покращення завадостійкості каналу.

Отже, результати симуляції доводять, що система показників адекватно відображає фізичну поведінку системи зв'язку, а застосування інтегрального критерію D дозволяє кількісно виміряти ефективність оптимізаційних заходів.

Висновки

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано систему з шести основних технічних показників — пропускної здатності, затримки сигналу, ймовірності втрат пакетів, надійності, завадозахищеності та енергоспоживання, — яка комплексно характеризує ефективність функціонування систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів. Запропонований підхід дозволив формалізувати різнорідні параметри зв'язку в єдиному вимірювальному просторі шляхом нормалізації та подальшої інтеграції у

безрозмірний індекс ефективності D. Такий *інтегральний показник* відображає узагальнену оцінку стану системи, враховуючи вплив кожного із часткових параметрів на загальну якість інформаційного обміну.

Побудована модель дозволяє не лише оцінити поточний стан мережі зв'язку БПЛА, а й прогнозувати поведінку системи за зміни зовнішніх умов — відстані між ретрансляторами, рівня завад або співвідношення сигнал/шум. Застосування шкали Харрінгтона забезпечує можливість якісної інтерпретації інтегрального показника *D*, дозволяючи однозначно визначати рівень ефективності системи як задовільний, умовно задовільний або незадовільний. Це створює основу для автоматизованого моніторингу стану систем зв'язку під час бойових дій, коли рішення щодо доцільності продовження або зміни режиму роботи мають прийматися у реальному часі.

Проведене моделювання показало, що після застосування удосконаленої методики інтегральний показник ефективності підвищується в середньому на 20–25 % за рахунок оптимізації маршрутизації, покращення співвідношення сигнал/шум і зниження енергоспоживання. Таким чином, система показників, розроблена у цьому дослідженні, є раціональною, логічно узгодженою та придатною для комплексної оцінки якості функціонування систем передачі та обробки інформації бойових безпілотних літальних апаратів у реальних умовах бойового застосування.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці методів адаптивного зважування показників залежно від типу місії БПЛА, умов середовища та інтенсивності інформаційного навантаження, що дозволить підвищити точність оцінювання й ефективність управління інформаційними потоками в динамічних бойових умовах.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Кислюк М. А. Загальні принципи побудови систем зв'язку безпілотних літальних апаратів. – Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2020. – №2. – С. 15–22. – URL: https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/bd44ee50-cc1c-4caf-b0c3-b361ba22412f/content
2. Компанієць О. М. Комплексна система показників оцінювання ефективності управління роями БПЛА. – Системи озброєння і військова техніка, 2021. – №1(65). – С. 112–118. – URL: https://journal-hnups.com.ua/index.php/soivt/article/view/1815
3. Харченко В. П., Гаврилюк О. В., Коваленко С. В. Методика оцінювання ефективності систем зв'язку військового призначення. – Наука і оборона, 2022. – №2. – С. 45–53. – URL: https://ndu.edu.ua/nauka-i-oborona
4. Harrington E. C. The Desirability Function. – Industrial Quality Control Journal, 1965. – Vol. 21, No. 10. – P. 494–498. – URL: https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1542744
5. Bekmezci I., Sahingoz O. K., Temel Ş. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. – Ad Hoc Networks Journal, 2013. – Vol. 11, No. 3. – P. 1254–1270. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.12.004
6. Abdelmoneum M., El-Sayed H. Multi-Criteria Performance Evaluation of UAV Communication Networks. – IEEE Access, 2022. – Vol. 10. – P. 55328–55339. – URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9738425

7. Sharma V., You I., Atiquzzaman M. Secure and Efficient Communication Architecture for UAV Swarms in 5G Networks. – IEEE Network, 2020. – Vol. 34, No. 5. – P. 178–184. – DOI: https://doi.org/10.1109/MNET.011.1900620
8. Zhou C., Cheng X., Wu D. Energy-efficient routing for UAV swarms with relay coordination. – Computer Networks, 2021. – Vol. 191. – Article 108015. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108015
9. Khan A., Yau K. L. A., Noor R. M. A Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications. – IEEE Access, 2020. – Vol. 8. – P. 57575–57604. – DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982300
10. Yanmaz E., Yahyanejad S., Rinner B. Drone Networks: Communications, Coordination, and Sensing. – Ad Hoc Networks, 2022. – Vol. 120. – Article 102554. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102554

References

1. Kysliuk M. A. General principles of building communication systems for unmanned aerial vehicles. – Scientific News of NTUU “KPI”, 2020, No. 2, pp. 15–22. – Available from : https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/bd44ee50-cc1c-4caf-b0c3-b361ba22412f/content
2. Kompaniiets O. M. A comprehensive system of indicators for assessing the efficiency of UAV swarm management. – Weapons and Military Equipment Systems, 2021, No. 1(65), pp. 112–118. – Available from : https://journal-hnups.com.ua/index.php/soivt/article/view/1815
3. Kharchenko V. P., Havryliuk O. V., Kovalenko S. V. Methodology for assessing the efficiency of military communication systems. – Science and Defense, 2022, No. 2, pp. 45–53. – Available from : https://ndu.edu.ua/nauka-i-oborona
4. Harrington E. C. The Desirability Function. – Industrial Quality Control Journal, 1965, Vol. 21, No. 10, pp. 494–498. – Available from : https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1542744
5. Bekmezci I., Sahingoz O. K., Temel Ş. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey. – Ad Hoc Networks Journal, 2013, Vol. 11, No. 3, pp. 1254–1270. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.12.004
6. Abdelmoneum M., El-Sayed H. Multi-Criteria Performance Evaluation of UAV Communication Networks. – IEEE Access, 2022, Vol. 10, pp. 55328–55339. – Available from : https://ieeexplore.ieee.org/document/9738425
7. Sharma V., You I., Atiquzzaman M. Secure and Efficient Communication Architecture for UAV Swarms in 5G Networks. – IEEE Network, 2020, Vol. 34, No. 5, pp. 178–184. – DOI: https://doi.org/10.1109/MNET.011.1900620
8. Zhou C., Cheng X., Wu D. Energy-efficient routing for UAV swarms with relay coordination. – Computer Networks, 2021, Vol. 191, Article 108015. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108015
9. Khan A., Yau K. L. A., Noor R. M. A Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications. – IEEE Access, 2020, Vol. 8, pp. 57575–57604. – DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982300
10. Yanmaz E., Yahyanejad S., Rinner B. Drone Networks: Communications, Coordination, and Sensing. – Ad Hoc Networks, 2022, Vol. 120, Article 102554. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102554

Оцінювання критичних взаємозв'язків між воєнною та економічною безпекою в системі національної безпеки

Assessing the Critical Interrelationships Between Military and Economic Security in the National Security System

Юрій Клят [A]

Corresponding author: к.т.н., доцент, начальник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Олександр Войтко [A]

доктор військових наук, доцент, начальник інституту стратегічних комунікацій, e-mail: o.voytko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4610-4476

Поліна Толок [F]

к. екон. н., старший науковий співробітник, e-mail: tolok100@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-2481-8152

Артем Семененко [C]

курсант, e-mail: aretemsemen1612@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2753-5648

Ольга Таран [D]

старший науковий співробітник, e-mail: olgataran@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9143-5821

Петро Онофрійчук [A]

к. екон. н., старший науковий співробітник, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2203-5282

Yurii Kliat [A]

Corresponding author: Ph.D., Associate Professor, Head of the CENTRAL Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, e-mail: klyatt@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-8267-3748

Oleksandr Voitko [A]

Dr of Military Sciences, Associate Professor, Head of the Institute, e-mail: o.voytko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4610-4476

PolinaTolok [F]

PhD (Econom.), Senior Research Fellow, e-mail: tolok100@meta.ua, ORCID ID: 0000-0002-2481-8152

Artem Semenenko [C]

Cadet, e-mail: aretemsemen1612@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-2753-5648

Olha Taran [D]

Senior Research Fellow, e-mail: olgataran@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-9143-5821

Petro Onofriichuk [A]

Candidate of Economic Sciences, Senior Researcher, e-mail: aosemenenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0003-2203-5282

[A] Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ, Україна
[B] Національний університет оборони України, м. Київ, Україна
[C] Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна
[D] Військовий інститут танкових військ, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
[F] Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, м Черкаси

[A] Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[B] National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[C] Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, 03189, Kyiv, Ukraine
[D] Millitary Institute of Armored Forces of National Technical University. Kharkiv Politehnic Institute Kharkiv, Ukraine
[F] State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Cherkasy

Received: October 15, 2025 | Revised: October 29, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.26

Мета роботи: Розроблення та наукове обґрунтування сучасного методичного підходу до оцінювання рівня економічної та воєнно-економічної безпеки України в умовах триваючої російсько-української війни, з урахуванням трансформації економіки у воєнний час, зміни структури загроз, впливу руйнування критичної інфраструктури, бюджетної мілітаризації, зовнішньої фінансової залежності та потреб оборонно-промислового комплексу.

Метод дослідження: Методи аналізу, синтезу, узагальнення, дедукції та індукції, а також методи експертного опитування.

Результати дослідження: Проведено аналіз варіативності поглядів щодо складових елементів економічної безпеки держави в системі національної безпеки, а також проведено порівняння результатів використаних математичних методів у підходах щодо розрахунку рівня воєнно-економічної безпеки України, визначено особливості поглядів експертів щодо остаточного виокремлення її складових, розраховано коефіцієнти важливості кожної складової у сукупності відповідно до потреб сьогодення, що формує можливість виділення воєнно-економічної складової як елемента економічної безпеки на законодавчому рівні.

Теоретична цінність дослідження: Матеріали статті можуть бути корисними і важливими для широкого кола фахівців, які

Purpose: is the development and scientific substantiation of a modern methodological approach to assessing the level of economic and military-economic security of Ukraine in the context of the ongoing Russian-Ukrainian war, taking into account the transformation of the economy in wartime, changes in the structure of threats, the impact of the destruction of critical infrastructure, budget militarization, external financial dependence, and the needs of the defense-industrial complex.

Method: methods of analysis, synthesis, generalization, deduction and induction, as well as methods of expert interviewing.

Findings: An analysis of the variability of views on the constituent elements of the state's economic security in the national security system was conducted, as well as a comparison of the results of the mathematical methods used in approaches to calculating the level of military-economic security of Ukraine was conducted, the peculiarities of the views of experts on the final separation of its components were determined, the coefficients of importance of each component in the aggregate were calculated in accordance with the needs of the present, which forms the possibility of highlighting the military-economic component as an element of economic security at the legislative level.

Theoretical implications: The materials of the article may be useful and important for a wide range of specialists involved in security,

займаються питаннями безпеки, оборонного планування, стратегічного аналізу та державного управління.
Тип статті: Теоретично-практичний, описовий, методичний.

Ключові слова: економічна безпека держави, воєнно-економічна безпека, моделювання безпекових ризиків, оцінювання взаємозв'язку складових безпеки, коефіцієнти кореляції та варіації, методичний підхід до оцінювання, Сили оборони України, стратегічна стійкість держави.

defense planning, strategic analysis, and public administration.
Paper type: theoretical-practical, descriptive, methodical.

Key words: economic security of the state, military-economic security, security risk modeling, assessment of the interrelationship of security components, correlation and variation coefficients, methodological approach to assessment, Defense Forces of Ukraine, strategic stability of the state.

Вступ

Фундаментом національної безпеки України та однією з її ключових функцій є забезпечення економічної безпеки держави. В умовах триваючої російсько-української війни питання економічної стійкості набуває критично важливого значення, оскільки саме економічна спроможність визначає можливості держави підтримувати оборону, утримувати соціальну стабільність та забезпечувати стратегічну витривалість [1–5].

Сучасна Україна одночасно вирішує два масштабні завдання: боротьбу за відновлення територіальної цілісності і суверенітету та інтеграцію у європейський економічний і безпековий простір. Ці процеси взаємопов'язані та взаємозалежні. Захист національних інтересів, внутрішнього ринку, критичної інфраструктури й економічних ресурсів неможливий без ефективної воєнної компоненти, яка у воєнний час стає визначальним елементом національної безпеки. Повномасштабна агресія рф продемонструвала, що економічна безпека держави є нерозривною з її воєнною складовою.

Стійкість фінансової системи, здатність підтримувати оборонно-промисловий комплекс, забезпечувати Сили оборони ресурсами та озброєнням, усе це формує нову категорію, яку доцільно визначати як воєнно-економічна безпека держави. Вона відображає взаємозалежність між здатністю держави до тривалого ведення війни та можливостями економіки забезпечувати потреби оборони в умовах постійних загроз. Європейський політико-економічний простір, до якого Україна інтегрується, залишається сферою конкуренції інтересів та геополітичної напруги [3–7].

Тому формування ефективної системи оцінювання стану економічної та воєнно-економічної безпеки, а також методичного апарату визначення характеру і сили впливу окремих факторів на їхній рівень є необхідною умовою безпечного та збалансованого розвитку держави в умовах війни та післявоєнної відбудови.

Для України це важливо не лише з точки зору мінімізації ризиків відкритості національної економіки, але й для забезпечення конкурентоспроможності, захисту критичних секторів, системної взаємодії з міжнародними фінансовими інституціями та ефективного використання зовнішньої допомоги [1].

Водночас, попри очевидну важливість воєнно-економічної складової, її вплив на економічну безпеку в середньостроковій і довгостроковій перспективі часто недооцінюється. Це створює ризики стратегічної вразливості та може призвести до суттєвого зниження рівня економічної та національної безпеки у майбутньому, особливо в умовах затяжної війни та високої інтенсивності загроз.

Теоретичні основи дослідження

Питання формування науково обґрунтованого методичного апарату оцінювання рівня економічної безпеки України має тривалу історію [1–15]. Ще з 2003 року в Україні здійснювалися перші системні спроби створити інструменти для комплексного аналізу стану економічної безпеки. Однією з ключових ініціатив стали Методичні рекомендації, підготовлені відділом економічної безпеки Національного інституту проблем міжнародної безпеки РНБО України у межах науково-дослідної теми "Економічна безпека України у контексті глобалізації та розвитку кризових процесів у світовій економіці". У цих рекомендаціях були сформульовані

загальні принципи оцінювання економічної безпеки, визначено основні фактори її формування та окреслено методичні підходи до встановлення порогових значень ключових показників [10–15].

У наступні роки Міністерство економічного розвитку і торгівлі України та Державна служба статистики запропонували власні підходи до інтегрального оцінювання економічної безпеки держави та її регіонів. Помітним кроком став Наказ № 60 (2007 р.), що визначав порогові значення індикаторів економічної безпеки та застосовував математично формалізовані методи визначення вагових коефіцієнтів (зокрема метод головних компонент). Попри низку переваг, методика мала і критичні недоліки, насамперед неможливість використання порогових значень у єдиному масштабі для зіставлення інтегральних індексів, що ускладнювало визначення реального стану економічної безпеки та формування відповідних управлінських рішень. Ці недоліки були детально проаналізовані в дослідженнях Національного інституту стратегічних досліджень.

У 2013 році Наказ № 60 було скасовано і ухвалено нові Методичні рекомендації, що мали інформаційний і рекомендаційний характер та не були обов'язковими до застосування. Паралельно велися наукові дискусії щодо вдосконалення методичного апарату. Так, у роботі В. П. Мартинюка запропоновано застосовувати макроекономічні та фінансові показники як вагові коефіцієнти для складових економічної безпеки, що мало спростити та об'єктивізувати процес оцінювання. Подібні питання розроблялися такими українськими науковцями, як В. І. Мунтіян, В. Й. Ольшевський та іншими дослідниками, які наголошували на необхідності виділення воєнно-економічної безпеки як окремого елементу національної безпеки держави. Ще у 1999 році А. І. Пожаров підкреслював важливість виокремлення внутрішніх та зовнішніх складових воєнно-економічної безпеки, що нині набуло особливої актуальності.

У 2014 році, вже після початку російської агресії, Національний інститут стратегічних досліджень запропонував оновлену методологію інтегрального оцінювання економічної безпеки, яка включала використання мультиплікативних індексів, сучасних методів нормування та уточнення вагових коефіцієнтів. Було також розраховано нові структурні пропорції складників інтегрального індексу, що дозволило точніше відображати реальні виклики, які постали перед державою [2–5].

Однак із початком повномасштабної війни 2022 року економічна безпека України набула принципово нового змісту. Руйнування критичної інфраструктури, переорієнтація бюджету на військові потреби, необхідність швидкої адаптації оборонно-промислового комплексу, залежність від міжнародної фінансової допомоги, масштабне переміщення населення та бізнесу, а також високий рівень невизначеності створили безпрецедентний комплекс викликів. За цих умов традиційні методики оцінювання економічної безпеки виявилися недостатніми, оскільки не враховували впливу довготривалих воєнних загроз, економіки воєнного часу, гібридних атак на енергетичний сектор, логістику, фінансову систему та цифровий простір.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт, присвячених визначенню рівня економічної та воєнно-економічної безпеки, досі не сформовано єдиного комплексного підходу, який би адекватно відображав сучасні реалії війни та інтеграційні процеси в Україні. Це свідчить про актуальність подальших досліджень і необхідність створення універсальної, адаптивної та практично орієнтованої методики оцінювання економічної та воєнно-економічної безпеки держави у воєнний час і в період післявоєнної відбудови.

Постановка проблеми

Метою статті є розроблення та наукове обґрунтування сучасного методичного підходу до оцінювання рівня економічної та воєнно-економічної безпеки України в умовах триваючої російсько-української війни, з урахуванням трансформації економіки у воєнний час, зміни

структури загроз, впливу руйнування критичної інфраструктури, бюджетної мілітаризації, зовнішньої фінансової залежності та потреб оборонно-промислового комплексу.

Стаття спрямована на уточнення складових, індикаторів та вагових коефіцієнтів економічної безпеки, критичний аналіз існуючих методик, а також формування підходів, здатних забезпечити адекватну оцінку стану економічної безпеки держави у воєнних і післявоєнних умовах.

Результати

Визначення елементів та показників воєнно-економічної складової у системі економічної безпеки держави покращить можливість всебічного оцінювання процесу розвитку та стійкості національної економіки держави, її здатності протистояти впливу негативних зовнішніх та внутрішніх факторів, а також визначати ефективність заходів, які практично реалізуються в рамках забезпечення необхідного рівня ЕБ (табл. 1).

Таблиця 1 – Складові економічної безпеки України відповідно до підходів щодо розрахунку її рівня

НІПМБ РНБОУ[2] (2003 р.)	**Наказ № 60[3] (2007 р.)**	**Мартинюк В. П.[6] (2013 р.)**	**Наказ № 1277[5] (2013 р.)**	**НІСД[7] (2014 р.)**	**ЦНДІ ЗСУ (2021 р.)**
-	Макро-економічна	Макро-економічна	Макро-економічна	-	Макро-економічна
Інвестиційна	Інвестиційна	Інвестиційна	-	-	Інвестиційна
Інноваційна	-	Інноваційна	-	Інноваційна	Інноваційна
Фінансова	Фінансова	Фінансова	Фінансова	Фінансова	Фінансова
-	Зовнішньо-економічна	Зовнішньо-економічна	Зовнішньо-економічна	Зовнішньо-економічна	Зовнішньо-економічна
Соціальна	Соціальна	Соціальна	Соціальна	Соціальна	Соціальна
-	Продовольча	Продовольча	Продовольча	Продовольча	Продовольча
Демографічна	Демографічна	Демографічна	Демографічна	-	Демографічна
Енергетична	Енергетична	Енергетична	Енергетична	Енергетична	Енергетична
-	Виробнича	-	Виробнича	Виробнича	Виробнича
-	-	-	-	Транспортна	-
-	Науково-технічна	-	-		Науково-технологічна
Зовнішньо-торгівельна	-	-	-	-	-
-	-	-	Інвестиційно-інноваційна	-	-
-	-	-	-	-	Воєнно-економічна

У 2021 році спеціалістами Центрального інституту ЗС України (ЦНДІ ЗСУ) було проведено експертне опитування щодо визначення важливості складових ЕБ на 2011–2021 роки. Результати наведено з урахуванням думок більш як 14 експертів за відповідним напрямом (табл. 1).

Міністерство економічного розвитку і торгівлі, що є центральним органом виконавчої влади України, який формує та реалізує державну політику у сферах економіки та торгівлі [8], було сформовано у 2011 році на базі Міністерства економіки України. Тобто можна стверджувати, що Наказ № 60 та Наказ № 1277 розроблялися майже однією і тією самою

реорганізованою організацією, але, на відміну від першого, останній має лише рекомендаційний характер.

Тож нині на законодавчому рівні немає як діючої методики визначення рівня ЕБ України та єдиної системи її складових елементів, так і однозначного переліку параметрів та їхніх порогових значень.

Тобто за 2007-ий, 2013-ий та 2014 роки (табл. 2), за які визначено вагові коефіцієнти складових елементів ЕБ, їхня важливість мала змінний характер, що також може залежати від дотримання державою обраного стратегічного курсу, а отже, і додаткового їх фінансування.

Таблиця 2 – Вагові коефіцієнти складових елементів економічної безпеки України відповідно до підходів щодо розрахунку її рівня

№ з/п	Складові ЕБ України	Наказ № 60[3] (2007 р.)	Наказ № 1277[5] (2013 р.)	НІСД[7] (2014 р.)	ЦНДІ ЗСУ (2021 р.)
1	Демографічна	0,0836	0,0913*	0,1412**	0,1123**
2	Енергетична	0,1324**	0,1148	0,1380**	0,1043
3	Продовольча	0,1108	0,1007*	0,1374	0,1022
4	Соціальна	0,0808*	0,1013	0,1341	0,0877*
5	Інноваційна	-	-	0,1337	0,0865*
6	Зовнішньоекономічна	0,0901	0,1095	0,1273	0,1054
7	Фінансова	0,1127	0,1294**	0,0898	0,0998
8	Інвестиційна	0,0939	-	0,0572*	0,0972
9	Макроекономічна	0,1005	0,1224**	0,0409*	0,1009
10	Виробнича	0,0769*	0,1218	-	0,1187
11	Науково-технологічна	0,1183**	-	-	0,1101
12	Інвестиційно-інноваційна	-	0,1089	-	-
13	Воєнно-економічна	-	0,1089	-	0,1215**

* – найгірші показники; ** – найкращі показники.

Тому, з огляду на останні події, автори вважають за доцільне розглянути можливість виокремлення воєнно-економічної безпеки у складі системи ЕБ України (а також дослухатися до думки таких учених, як В. Т. Шлемко, І. Ф. Бінько [9], В. М. Мунтіян [11], представників науковців бізнес-школи) “Інтел-синтез” [10], які визнають її як одну з важливих складових ЕБ).

Характер важливості впливу змін складових елементів (X_n) на стан ЕБ України (Y) було визначено за допомогою зіставлення результатів розрахунку коефіцієнтів: стійкості зв’язку (K_n) [12] та коефіцієнта кореляції ($r\,y\,x_n$) [13], а постійність щорічних змін – коефіцієнта варіації (kV_n) [14], за 11 та 14 років відповідно. Безрозмірний коефіцієнт варіації (kV_n) було розраховано для визначення стабільності у змінах складових елементів ЕБ від їхньої середньої величини (1). Якщо його значення більші ніж 30 %, це свідчить про наявність значної розбіжності величин від їхнього середнього значення.

$$kV_n = \frac{\sigma_n}{\overline{X_n}} * 100\ \%, \qquad (1)$$

де, σ_n – величина дисперсії вибірки;

$\overline{X_n}$ – середня арифметична зважена сукупності;

n – кількісний показник спостережень.

Коефіцієнт кореляції (ryx_n) було застосовано для визначення величини впливу змін складових елементів (X_n) ЕБ на її стан (Y). Вплив вважався суттєвим, якщо величина кореляційної залежності більша ніж 70 %:

$$ryx_n = \frac{\sum d_{X_n} d_Y}{\sqrt{\sum d_Y^2 \sum d_{X_n}^2}}, \quad (2)$$

де, $d_{X_n}^2$ – величина середньоквадратичного відхилення за X_n;

d_Y^2 – величина середньоквадратичного відхилення за Y.

За допомогою коефіцієнта стійкості зв'язку (K_n) було визначено як величину зв'язку, так і характер впливу (прямий / обернений) змін X_n на Y. Зв'язок вважається стійким, якщо отриманий результат вище ніж 0,7, та визначається за формулою:

$$K_n = 1 - \frac{\sum \left| d_Y - b_n d_{X_n} \right|}{\sum d_Y}, \quad (3)$$

де, b_n – параметри рівнянь окремих факторних ознак;

d_Y – розмір відхилень коефіцієнтів порівняння емпіричних значень результативної ознаки;

d_x – розмір відхилень коефіцієнтів порівняння емпіричних значень факторних ознак.

Відповідно до отриманих результатів, розрахованих за даними Наказу № 60, за 11 років найбільш стійкий зв'язок (K_n) був виявлений між зміною рівня ЕБ (Y) та зміною рівнів таких її складових елементів, як виробнича та соціальна безпека (табл. 3), а найменший (за рахунок характеру впливу на ЕБ) – демографічної та науково-технологічної безпеки.

Таблиця 3 – Результати розрахунків коефіцієнтів: стійкості зв'язку (K_n), коефіцієнта кореляції (ryx_n) та коефіцієнта варіації (kV)

Складові ЕБ України	kV_n		ryx_n		K_n	
	Наказ № 60 (1997–2007 рр. – р.а.), у %	ЦНДІ ЗСУ (2011–2021 рр. – р.а.), у %	Наказ № 60 (1997–2007 рр. – р.а.)	ЦНДІ ЗСУ (2011–2021 – р.а.)	Наказ № 60 (1997–2007 рр. – р.а.)	ЦНДІ ЗСУ (2011–2021 – р.а.)
Демографічна	6,92**	4,09	0,8579*	0,7494	0,4882*	0,2921
Енергетична	9,78	3,58**	0,9122	0,7560	0,4953*	0,2991
Продовольча	22,44	3,98	0,9528	0,7494	0,7251	0,2725
Соціальна	24,92	4,34*	0,9926**	0,5377*	0,8894**	0,1048*
Інноваційна	-	4,17*	-	0,6512	-	0,2741
Зовнішньо-економічна	40,99*	4,17	0,9194	0,2794*	0,6453	-0,1090*
Фінансова	19,70	3,77**	0,9812	0,8879**	0,8014	0,5167**
Інвестиційна	43,85*	3,82	0,9815	0,7022	0,8153	0,2697
Макроеконо-мічна	18,53	3,95	0,9777	0,7373	0,7912	0,2810
Виробнича	19,57	-	0,9889**	-	0,8778**	-
Науково-технологічна	3,66**	-	0,9096*	-	0,4418*	-
Воєнно-економічна	-	3,58**	0,9096*	0,7560**	0,4418*	0,2991**

* – найгірші показники; ** – найкращі показники.

Проведені розрахунки коефіцієнта кореляції (ryx_n) підтвердили значний характер взаємовпливу наведених вищеX_nна зміну Y.

Але результати, отримані за допомогою коефіцієнта kV_n, свідчать про непостійність щорічних змін X_nвідповідно Y, що може бути прикладом непостійності розвитку обраних параметрів складових елементів ЕБ тощо. Отримані результати, розраховані за даними НІСД за 14 років, свідчать про виявлений найбільш стійкий зв'язок (K_n) між змінами рівня ЕБ (Y) та таких її складових елементів, як енергетична та фінансова безпека (табл. 3), а найменший (за рахунок характеру впливу на ЕБ) – соціальної та виробничої безпеки.

Проведені розрахунки коефіцієнтів кореляції (ryx_n) та kV_n підтвердили значний характер взаємовпливу наведених вище X_nна зміну Y.

Тобто у різні часові проміжки, навіть у разі застосування для обчислень однієї методики (табл. 3), важливість складових елементів ЕБ мала змінний характер. Тому постійне уточнення щорічних вагових коефіцієнтів її складових елементів має більш інформативний характер, аніж практичний. Тому, на думку авторів, більш доцільним є створення на законодавчому рівні такого документа, як Концепція розвитку ЕБ України (Стратегія), або воєнно-економічної безпеки, у якій було б у ієрархічному порядку визначено важливість розвитку її складових елементів на певний період, відповідно до стратегічного курсу держави тощо. Також необхідно в найближчий час затвердити єдиний підхід до визначення потенційного (на середньостроковий та довгострокові періоди) та наявного рівнів ЕБ та ВЕБ держави.

Висновки

Нині в Україні, попри критичну потребу у впорядкуванні системи стратегічного планування в умовах триваючої війни, відсутні як законодавчо закріплена єдина система елементів економічної та воєнно-економічної безпеки, так і уніфікований математичний підхід до їх інтегрального оцінювання. Застосовувані Методичні рекомендації, підготовлені Міністерством економіки, мають дорадчий, а не обов'язковий характер, що в умовах масштабних руйнувань інфраструктури, мобілізації ресурсів та глибокої зовнішньої залежності фінансової системи обмежує можливість формувати стійку державну політику у сфері економічної безпеки.

У сучасних умовах, коли оборонний сектор став головним споживачем бюджетних ресурсів, виділення воєнно-економічної безпеки як окремого ключового елемента системи економічної безпеки держави є не лише доцільним, а й об'єктивно неминучим. Зміна структури загроз, роль оборонно-промислового комплексу, темпи відновлення критичної інфраструктури, вплив партнерської допомоги та умови післявоєнної трансформації потребують окремих індикаторів і методів оцінювання.

Вагові коефіцієнти складових економічної безпеки, запропоновані Міністерством економіки, Міністерством економічного розвитку і торгівлі, НІСД (2007, 2013, 2014 рр.) та ЦНДІ Збройних Сил України, демонструють суттєві розбіжності у визначенні пріоритетності окремих елементів, що свідчить про методологічну фрагментарність і брак узгодженості між відомствами. Проведений аналіз на основі статистичних даних Міністерства економіки та експертних оцінок фахівців ЦНДІ ЗС України дав змогу визначити найбільш і найменш впливові складові економічної безпеки, застосувавши коефіцієнти стійкості зв'язку, кореляції та варіації, що дозволило оцінити не лише силу, але й стабільність їх впливу.

Результати показали несталість впливу складових елементів на загальний рівень економічної безпеки, причому навіть у межах застосування однієї й тієї самої методики. Це додатково підтверджує необхідність переходу від фрагментованих розрахунків до єдиної, нормативно закріпленої, адаптивної методики інтегрального оцінювання, яка здатна враховувати особливості воєнного періоду, швидкі структурні зміни в економіці та потреби сектору оборони.

Запропонований авторами підхід може бути корисним для розроблення стратегічних документів державного рівня, а саме, концепцій, доктрин чи стратегій економічної та воєнно-економічної безпеки, у яких повинні бути визначені ієрархія, пріоритетність та нормативи розвитку їх складових на визначений період, відповідно до національних інтересів, оборонних потреб і фінансових можливостей держави.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Конституція України.URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр
2. Закон України “Про національну безпеку України”. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19
3. Стратегія національної безпеки України “Безпека людини – безпека держави”. Указ Президента України №392/2020. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020
4. Стратегія воєнної безпеки України. Указ Президента України №121/2021. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021
5. Методичні рекомендації щодо розрахунку рівня економічної безпеки України (оновлені підходи МЕРТ, 2021). URL: https://www.me.gov.ua
6. Харазішвілі Ю. М. Моделювання та прогнозування економічної безпеки України в умовах воєнних викликів. Аналітична доповідь НІСД, 2023.
7. Харазішвілі Ю. М., Носова О. М. Оцінювання стійкості національної економіки в умовах війни. НІСД, 2022.
8. Світовий банк. Ukraine Economic Update (2022–2024). URL: https://www.worldbank.org
9. МВФ. Ukraine: Country Report (2022–2024). URL: https://www.imf.org
10. OECD. OECD Economic Surveys: Ukraine 2023. OECD Publishing, 2023.
11. Центр економічної стратегії. Війна та економіка: оцінка втрат, стійкості та відновлення. Аналітична доповідь, 2023.
12. KSE Institute. Ukraine Economic Outlook under Military Risks. Аналітичний звіт, 2023.
13. Герасимчук В. Г., Войтко С. В. Економічна безпека держави: сучасні виклики та індикатори. Київ: НАДУ, 2022.
14. Шлемко В. Т., Бінько І. Ф. Економічна безпека держави: навчальний посібник. Київ: Знання, 2021. (оновлене видання)
15. Ольшевський В. Й. Воєнно-економічна безпека: сучасні аспекти в умовах війни. Наука і оборона. 2022. №2. С. 12–20.
16. Пожаров А. І. Воєнно-економічні критерії у системі нацбезпеки. Воєнна думка, 2021. №4. С. 15–23.
17. Губарєва І. О. Економічна безпека України в умовах війни та післявоєнного відновлення. Київ: НАНУ, 2023.
18. Сак Т. В. Структура та сучасні тенденції економічної безпеки України в умовах війни. Економіка України. 2023. №5. С. 45–60.
19. Тимошенко О. В. Методичні підходи до інтегрального вимірювання економічної безпеки держави у воєнних умовах. Бізнес-інформ. 2022. №6. С. 33–41.
20. European Commission. Ukraine Facility – Economic and Security Assessment. Brussels: EC, 2024.

References

1. Constitution of Ukraine. Available from : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр
2. Law of Ukraine "On National Security of Ukraine". Available from : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19
3. National Security Strategy of Ukraine "Human Security – State Security". Decree of the President of Ukraine No. 392/2020. Available from : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392/2020
4. Military Security Strategy of Ukraine. Decree of the President of Ukraine No. 121/2021. Available from : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/121/2021
5. Methodological recommendations for calculating the level of economic security of Ukraine (updated approaches of the Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine, 2021). Available from : https://www.me.gov.ua
6. Kharazishvili Yu. M. Modeling and forecasting of Ukraine's economic security in the context of military challenges. Analytical report of the National Institute of Security and Defense, 2023.
7. Kharazishvili Yu. M., Nosova O. M. Assessment of the stability of the national economy in war conditions. National Institute of Security and Defense, 2022.
8. World Bank. Ukraine Economic Update (2022–2024). Available from : https://www.worldbank.org
9. IMF. Ukraine: Country Report (2022–2024). Available from : https://www.imf.org
10. OECD. OECD Economic Surveys: Ukraine 2023. OECD Publishing, 2023.
11. Center for Economic Strategy. War and the Economy: Assessment of Losses, Stability and Recovery. Analytical report, 2023.
12. KSE Institute. Ukraine Economic Outlook under Military Risks. Analytical report, 2023.
13. Gerasymchuk V. G., Voitko S. V. Economic security of the state: modern challenges and indicators. Kyiv: NAPU, 2022.
14. Shlemko V. T., Binko I. F. Economic security of the state: a textbook. Kyiv: Znannia, 2021. (updated edition)
15. Olshevsky V. Y. Military-economic security: modern aspects in wartime. Science and defense. 2022. No. 2. P. 12–20.
16. Pozharov A. I. Military-economic criteria in the system of national security. Voyenna dumka, 2021. No. 4. P. 15–23.
17. Gubareva I. O. Economic security of Ukraine in wartime and post-war recovery. Kyiv: NASU, 2023.
18. Sak T. V. Structure and modern trends of economic security of Ukraine in wartime. Economy of Ukraine. 2023. No. 5. P. 45–60.
19. Tymoshenko O. V. Methodological approaches to the integral measurement of the economic security of the state in wartime. Business-inform. 2022. No. 6. P. 33–41.
20. European Commission. Ukraine Facility – Economic and Security Assessment. Brussels: EC, 2024.

Системний підхід до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння

Systematic Approach to the Classification of Mining and Geological Criteria of Coal Deposits Readiness for Industrial Development

Олександр Усіченко
аспірант кафедри фармації, виробництва та технологій, e-mail: tanya.rulevskaya@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-5838-0247

Oleksandr Usichenko
Post Graduate Student of the Department of Pharmacy, Production and Technology, e-mail: tanya.rulevskaya@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-5838-0247

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Київ, Україна

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine

Received: September 11, 2025 | Revised: October 09, 2025 | Accepted: October 31, 2025

УДК 622.013:553.94.003:001.891

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.27

Мета роботи: Створення системи класифікації критеріїв та розробка методики комплексної оцінки підготовленості вугільних родовищ на основі багатокритеріального аналізу.

Метод дослідження: Дослідження базується на системному підході з використанням методів аналізу ієрархій, індексу переваг (PSI) та кореляційного аналізу.

Результати дослідження: Запропоновано систематизацію критеріїв, що включає чотири основні групи: геологічні, гідрогеологічні, гірничотехнічні та екологічні. Розроблено методику розрахунку інтегрального показника підготовленості родовищ з урахуванням вагових коефіцієнтів критеріїв. Апробація методики на прикладі вугільних пластів шахти "Західно-Донбаська" дозволила визначити рівні їхньої підготовленості до промислового освоєння та виявити сильний кореляційний зв'язок між інтегральним показником та ключовими критеріями. На основі дослідження розроблено систему підтримки прийняття рішень, що дозволяє автоматизувати процес оцінки та візуалізувати результати.

Теоретична цінність дослідження: Можливості використання запропонованого підходу для обґрунтування управлінських рішень при плануванні розробки вугільних родовищ, оптимізації технологічних процесів видобутку та зниженні ризиків, пов'язаних з недостатньою оцінкою підготовленості родовищ до промислового освоєння.

Тип статті: Теоретична.

Purpose: To create a classification system of criteria and develop a methodology for a comprehensive assessment of coal deposits readiness based on multi-criteria analysis. The research methodology is based on a systematic approach using the Analytic Hierarchy Process, Preference Selection Index (PSI), and correlation analysis.

Method: The research methodology is based on a systematic approach using the Analytic Hierarchy Process, Preference Selection Index (PSI), and correlation analysis.

Findings: A systematization of criteria is proposed, including four main groups: geological, hydrogeological, mining-technical, and environmental. A methodology for calculating the integral indicator of deposit readiness considering the weight coefficients of criteria has been developed. The approbation of the methodology on the example of coal seams of the "Zakhidno-Donbaska" mine allowed us to determine the levels of their readiness for industrial development and to identify a strong correlation between the integral indicator and key criteria. Based on the research, a decision support system has been developed that allows automating the assessment process and visualizing the results.

Theoretical implications: The practical value of the work lies in the possibility of using the proposed approach to substantiate management decisions when planning the development of coal deposits, optimizing technological processes of extraction, and reducing risks associated with insufficient assessment of deposit readiness for industrial development.

Paper type: Theoretical.

Ключові слова: вугільні родовища, гірничо-геологічні критерії, системний підхід, багатокритеріальний аналіз, індекс переваг, інтегральний показник підготовленості, система підтримки прийняття рішень.

Key words: coal deposits, mining and geological criteria, systematic approach, multi-criteria analysis, preference selection index, integral readiness indicator, decision support system.

Вступ

У сучасних умовах розвитку гірничодобувної промисловості питання раціонального використання природних ресурсів та підвищення ефективності видобутку корисних копалин набуває особливого значення. Вугільна галузь, попри тенденції до декарбонізації світової енергетики, залишається важливою складовою паливно-енергетичного комплексу багатьох країн, включаючи Україну. Визначення готовності вугільних родовищ до промислової розробки вимагає насамперед системного підходу до оцінки та класифікації гірничо-

геологічних критеріїв, які, зі свого боку, впливають на техніко-економічну ефективність видобутку та подальшого використання вугільної сировини.

Буде несправедливо сказати, що означеній темі присвячено мало уваги в літературі. Зокрема, Дичковський з колегами запропонували комплексний підхід до оцінки придатності запасів вугілля для використання альтернативних технологій видобутку, включаючи підземну газифікацію (Півняк та ін., 2020). Значний внесок у розвиток методів оцінки готовності гірничих проєктів зробили також Мулдер і Беккер, які, зі свого боку, розробили низку інструмент для оцінки готовності гірничих проєктів, що враховує різноманітні фактори та критерії (Мулдер і Беккер, 2022).

Сучасні дослідження демонструють тенденцію до застосування так званих багатокритеріальних методів оцінки для вирішення складних задач гірничої справи. Зокрема, Лозинський запропонував використання методу індексу переваг для оцінки придатності вугільних пластів до спільної газифікації, що, зі свого боку, дозволяє оптимізувати процес вибору пластів для розробки (Лозинський, 2025). Цей підхід узгоджується з іншими дослідженнями, і навіть, певною мірою, доповнює їх: ідеться, зокрема, про такі дослідження як-от Жанга та колег, котрі розробили багаторівневу нечітку комплексну оцінку ризику гірничих ударів у вугільних шахтах (Жанг та ін., 2025).

Важливим напрямом сучасних досліджень є також вирішення екологічних аспектів розробки вугільних родовищ (особливо у світлі Цілей сталого розвитку). В цьому контексті звертає на себе увагу дослідження Кшеміня та співавторів, котрі запропонували методологію управління екологічними ризиками при закритті підземних вугільних шахт, що враховує, зокрема, критерії сталості розвитку (Кшемінь та ін., 2016). Ще один цікавий кут зору надано в роботі Макарова: з колегами вони дослідили технологічний стан вугледобування в Україні та, зі свого боку, окреслили перспективи його розвитку з урахуванням сучасних запитів промисловості (Макаров та ін., 2024).

Утім, незважаючи на досить значні досягнення у цій галузі, проблема систематизації та класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння залишається вельми актуальною. Це пов’язано, як видається, з різноманіттям гірничо-геологічних умов, а також неоднорідністю методологічних підходів та відсутністю єдиної системи оцінювання (про що вже доводилось писати раніше), і яка б враховувала всі аспекти підготовленості родовищ.

У світлі викладеного, метою нашого дослідження є розробка системного підходу до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння, що, своєю чергою, дозволить підвищити ефективність прийняття рішень при плануванні та реалізації гірничих проєктів. Основними завданнями на її досягнення можна вважати наступні: визначення гірничо-геологічних критеріїв, їх систематизація та класифікація, розробка методології комплексної оцінки підготовленості родовищ та апробація запропонованого підходу (на прикладі конкретних вугільних родовищ).

Наукова новизна роботи полягає насамперед у розробці інтегрованого підходу до класифікації критеріїв підготовленості вугільних родовищ, що враховує як геологічні, гідрогеологічні, гірничотехнічні так і екологічні фактори, а також їхній взаємний вплив, що також дозволяє підвищити точність оцінки та обґрунтованість прийняття рішень щодо промислового освоєння родовищ.

Теоретичні основи дослідження

Проблема оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння досліджувалась багатьма науковцями з різних країн по обидва боки Атлантичного океану. Аналіз наукової літератури демонструє еволюцію підходів до визначення та класифікації критеріїв придатності вугільних пластів для видобутку традиційними та альтернативними методами.

Фундаментальні дослідження щодо управління ризиками в гірничодобувній діяльності були проведені Півняком та співавторами, які запропонували вельми корисну й комплексну методологію оцінки ризиків при освоєнні вугільних родовищ (Півняк та ін., 2015). Окалєлов розробив наукові основи функціонально-структурної оптимізації моделей мереж гірничих виробок вугільних шахт, що, зі свого боку, дозволяє більш ефективно планувати розробку родовищ (Окалєлов, 2010).

Значний внесок у розвиток теоретичних та геотехнологічних основ розробки природно-техногенних ресурсів вугільних родовищ зробив Інкін, насамперед у частині визначення критеріїв підготовленості родовищ до розробки з урахуванням ключових екологічних аспектів (Інкін, 2016). Дичковський, своєю чергою, у своїй докторській дисертації запропонував наукові принципи синтезу технологій видобутку вугілля в слабометаморфізованих породах, які враховують цілий комплекс гірничо-геологічних факторів (Дичковський, 2013).

Сучасні підходи до оцінки готовності гірничих проєктів представлені в роботі Мулдера і Беккера, які розробили інструмент для оцінки готовності гірничих проєктів на основі аналізу різноманітних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів (Мулдер і Беккер, 2022). Цей підхід доповнюється дослідженням Жанга та співавторів, які також запропонували «багаторівневу нечітку комплексну оцінку» ризику гірничих ударів у вугільних шахтах, що, як видається, цілком може бути адаптована для оцінки підготовленості родовищ (Жанг та ін., 2025).

Важливе значення для розуміння критеріїв придатності вугільних пластів мають дослідження Півняка та співавторів щодо умов придатності вугільних пластів для підземної газифікації, в яких запропоновано систему критеріїв та методику їх оцінки (Півняк та ін., 2020). Зі свого боку, Лозинський розвинув цей напрямок: дослідник запропонував багатокритеріальну оцінку придатності вугільних пластів для спільної газифікації (з використанням методу індексу переваг) (Лозинський, 2025).

Екологічні аспекти підготовленості вугільних родовищ до освоєння досліджувались також Кшемінем та співавторами, які розробили методологію управління екологічними ризиками при закритті підземних вугільних шахт (Кшемінь та ін., 2016). Ці дослідження доповнюються роботою Ляшенка та ін. (щодо оптимізації гірничої та екологічної безпеки при підземній розробці родовищ зі складною структурою) (Ляшенко та ін., 2024).

Нарешті, системний підхід до розуміння процесів розвідки та освоєння родовищ корисних копалин запропоновано Сайксом і Тренчем, які розглядали взаємозв'язок між ресурсами та запасами (в контексті розвитку гірничих проєктів) (Сайкс і Тренч, 2014).

Отже, аналіз літератури свідчить про необхідність подальшого розвитку та систематизації підходів до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння з урахуванням сучасних технологічних, економічних та екологічних вимог.

Матеріали та методи

Методологія запропонованого нижче дослідження базується на системному підході до аналізу та класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння. Це дослідження проводилось у кілька етапів з використанням системи взаємопов’язаних методів.

На *першому етапі* було проведено аналіз наукової літератури за період 2010-2025 років (з питань оцінки та класифікації гірничо-геологічних критеріїв придатності вугільних родовищ до промислового освоєння). На *другому етапі* проведено систематизацію наявних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння: для цього було використано методи контент-аналізу наукових публікацій, порівняльного аналізу та класифікації. В результаті виділено чотири основні групи критеріїв: геологічні, гідрогеологічні, гірничотехнічні та екологічні. Кожна група, своєю чергою, включає низку специфічних показників, які характеризують різні

аспекти підготовленості родовищ. На *третьому етапі* було розроблено методологію комплексної оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння на основі багатокритеріального аналізу. Для визначення вагових коефіцієнтів критеріїв використано метод аналізу ієрархій, запропонований Сааті, що, зі свого боку, дозволяє врахувати відносну важливість різних критеріїв шляхом їх попарного порівняння. Для комплексної оцінки підготовленості родовищ було адаптовано метод індексу переваг (це – так званий PSI – Preference Selection Index), який раніше вже був успішно застосований Лозинським для оцінки придатності вугільних пластів до спільної газифікації (Лозинський, 2025).

Нарешті, для формалізації процесу оцінки розроблено математичну модель, яка дозволяє розрахувати інтегральний показник підготовленості родовища на основі нормалізованих значень окремих критеріїв та їх вагових коефіцієнтів:

$$IP = \sum (W_i \cdot N_i),$$

де, IP – інтегральний показник підготовленості родовища;
W_i – ваговий коефіцієнт *i*-го критерію;
N_i – нормалізоване значення *i*-го критерію.

Для нормалізації значень критеріїв використано метод лінійного масштабування, який дозволяє привести різні за природою та одиницями вимірювання показники до спільної безрозмірної шкали від 0 до 1.

На *четвертому етапі* розроблено класифікацію рівнів підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння на основі значень інтегрального показника. Виділено п’ять рівнів підготовленості: високий (0,8-1,0), вище середнього (0,6-0,8), середній (0,4-0,6), нижче середнього (0,2-0,4) та низький (0-0,2).

Для апробації запропонованої методології використано дані про гірничо-геологічні умови вугільних родовищ Західного Донбасу, зокрема шахти “Західно-Донбаська” ПрАТ “ДТЕК Павлоградвугілля”. Інформаційну базу дослідження складають матеріали геологічних звітів, дані про фізико-механічні властивості вугілля та вміщуючих порід, гідрогеологічні умови, газоносність, тектонічні порушення та інші характеристики родовищ.

Для обробки та аналізу даних використано спеціалізоване програмне забезпечення, включаючи статистичні пакети для розрахунку вагових коефіцієнтів критеріїв та інтегральних показників підготовленості родовищ, а також геоінформаційні системи для просторового аналізу та візуалізації результатів.

Перевірка результатів дослідження здійснювалась шляхом порівняння отриманих оцінок підготовленості родовищ з фактичними даними про їх промислове освоєння та ефективність розробки. Для оцінки статистичної значущості результатів використовувався метод кореляційного та регресійного аналізу.

Запропонована методологія дозволяє здійснювати комплексну оцінку підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння з урахуванням широкого спектру гірничо-геологічних критеріїв та їхнього взаємного впливу, що підвищує обґрунтованість управлінських рішень щодо вибору об’єктів для розробки та оптимальних технологій видобутку.

Результати

У результаті проведеного дослідження розроблено системний підхід до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння. Запропонована класифікаційна система охоплює чотири основні групи критеріїв: геологічні, гідрогеологічні, гірничотехнічні та екологічні.

Систематизація критеріїв підготовленості вугільних родовищ

На основі аналізу наукової літератури та практичного досвіду розробки вугільних родовищ України визначено ключові критерії підготовленості для кожної з виділених груп. Результати систематизації представлено в таблиці 1.

Таблиця 1. Систематизація критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння

Група критеріїв	Критерії	Показники оцінки
Геологічні	Запаси вугілля в пластах	Обсяг запасів, т
	Потужність вугільного пласта	Середня потужність, м
	Структура і текстура вугілля	Коефіцієнт структурності
	Зольність вугілля	Вміст золи, %
	Глибина залягання пласта	Середня глибина, м
	Геологічна порушеність ділянки	Коефіцієнт порушеності
	Літологія бічних порід (покрівлі)	Коефіцієнт стійкості
	Літологія бічних порід (підошви)	Коефіцієнт стійкості
Гідрогеологічні	Водонасиченість вміщуючих порід	Коефіцієнт водонасиченості
	Приплив води до виробок	м³/год
	Проникність вміщуючих порід	Коефіцієнт проникності
Гірничотехнічні	Вплив гірничого тиску	Коефіцієнт впливу
	Втрати вугілля в надрах	% від запасів
	Газодинамічні втрати	м³/т
	Наявність споживачів продукції	Коефіцієнт забезпеченості
Екологічні	Екологічна захищеність	Коефіцієнт захищеності
	Теплові втрати	Коефіцієнт теплових втрат
	Інтенсифікація процесу видобутку	Коефіцієнт інтенсифікації

Джерело: розроблено автором на основі (Дичковський, 2013; Півняк та ін., 2020; Лозинський, 2025)

Розрахунок вагових коефіцієнтів критеріїв

Для визначення відносної важливості різних критеріїв у комплексній оцінці підготовленості вугільних родовищ застосовано метод аналізу ієрархій. Експертне оцінювання проводилось із залученням 12 фахівців гірничодобувної галузі з досвідом роботи не менше 10 років. Результати розрахунку вагових коефіцієнтів представлено на рисунку 1.

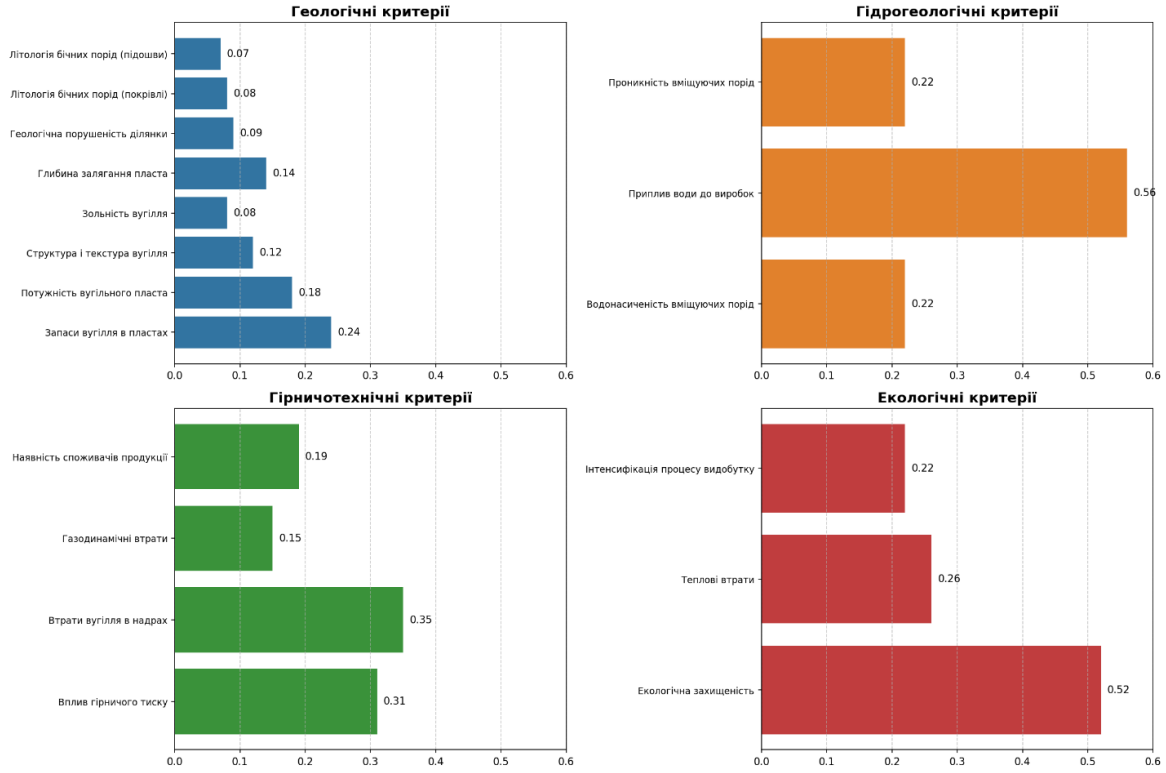


Рисунок 1 – Вагові коефіцієнти критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння

Як видно з рисунку 1, найбільшу вагу серед геологічних критеріїв мають запаси вугілля в пластах (0,24) та потужність вугільного пласта (0,18). Серед гідрогеологічних критеріїв найвагомішим є приплив води до виробок (0,56), а серед гірничотехнічних – втрати вугілля в надрах (0,35) та вплив гірничого тиску (0,31). В групі екологічних критеріїв найбільшу вагу має екологічна захищеність (0,52).

Апробація методики на прикладі родовищ Західного Донбасу

Запропонована методика комплексної оцінки підготовленості вугільних родовищ була апробована на прикладі вугільних пластів шахти “Західно-Донбаська” ПрАТ “ДТЕК Павлоградвугілля”. Для дослідження було обрано 10 вугільних пластів: с10в, с9, с8в, с8н, с7н, с6, с5, с4в, с2, с1. Результати розрахунку інтегрального показника підготовленості наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати оцінки підготовленості вугільних пластів шахти “Західно-Донбаська”

Вугільний пласт	Інтегральний показник підготовленості	Рівень підготовленості
с10в	0,74	Вище середнього
с9	0,65	Вище середнього
с8в	0,56	Середній
с8н	0,82	Високий
с7н	0,77	Вище середнього
с6	0,61	Вище середнього

Вугільний пласт	Інтегральний показник підготовленості	Рівень підготовленості
с5	0,48	Середній
с4в	0,39	Нижче середнього
с2	0,31	Нижче середнього
с1	0,54	Середній

Джерело: розраховано автором на основі даних геологічної документації шахти “Західно-Донбаська”

Результати апробації показують, що найбільш підготовленим до промислового освоєння є пласт с8н з інтегральним показником 0,82 (високий рівень). Чотири пласти (с10в, с9, с7н, с6) мають рівень підготовленості вище середнього, три пласти (с8в, с5, с1) – середній, а два пласти (с4в, с2) – нижче середнього.

Для виявлення основних факторів, що визначають рівень підготовленості вугільних пластів, проведено кореляційний аналіз між значеннями інтегрального показника та окремими критеріями. Результати аналізу представлено на рисунку 2.

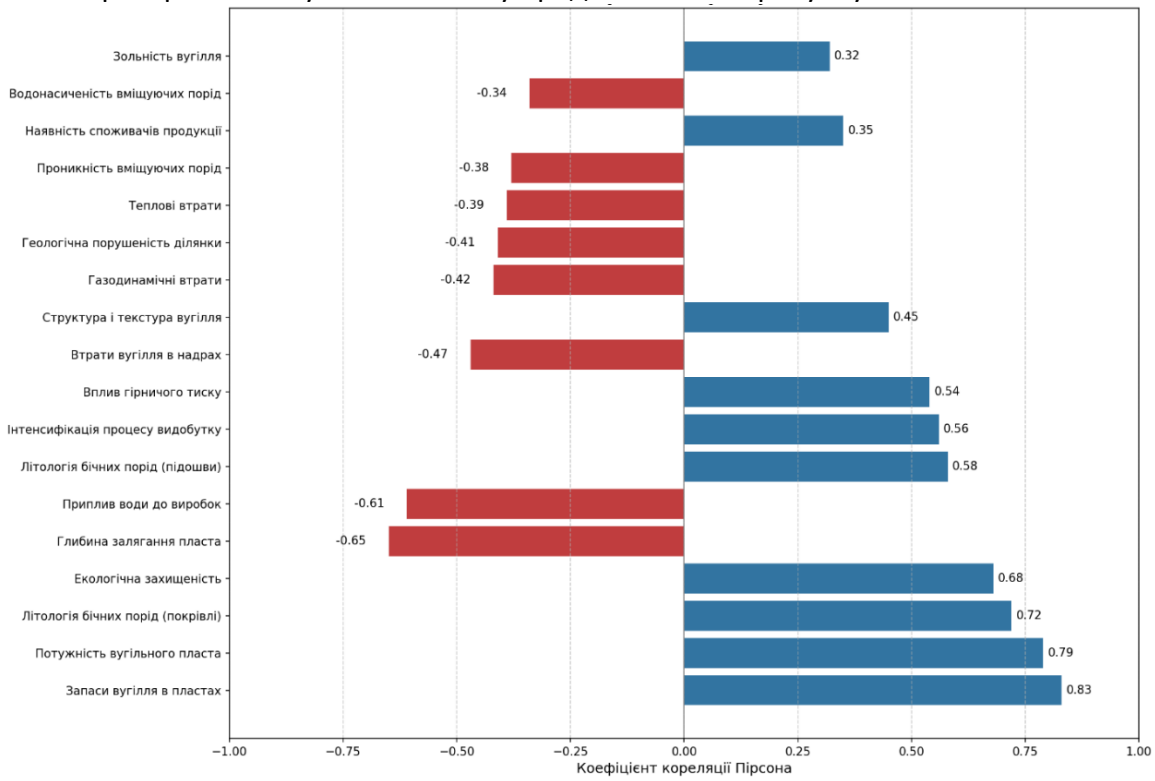


Рисунок 2 – Коефіцієнти кореляції між інтегральним показником підготовленості та окремими критеріями

Кореляційний аналіз виявив сильний позитивний зв'язок між інтегральним показником підготовленості та такими критеріями, як запаси вугілля в пластах (r = 0,83), потужність вугільного пласта (r = 0,79) та літологія бічних порід покрівлі (r = 0,72). Виявлено також помірну негативну кореляцію з глибиною залягання пласта (r = -0,65) та припливом води до виробок (r = -0,61).

Розробка системи підтримки прийняття рішень

На основі запропонованої методики розроблено систему підтримки прийняття рішень для оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння. Система

реалізована у вигляді програмного комплексу, який дозволяє вводити значення критеріїв, розраховувати інтегральний показник підготовленості та класифікувати родовища за рівнем підготовленості. Інтерфейс системи представлено на рисунку 3.

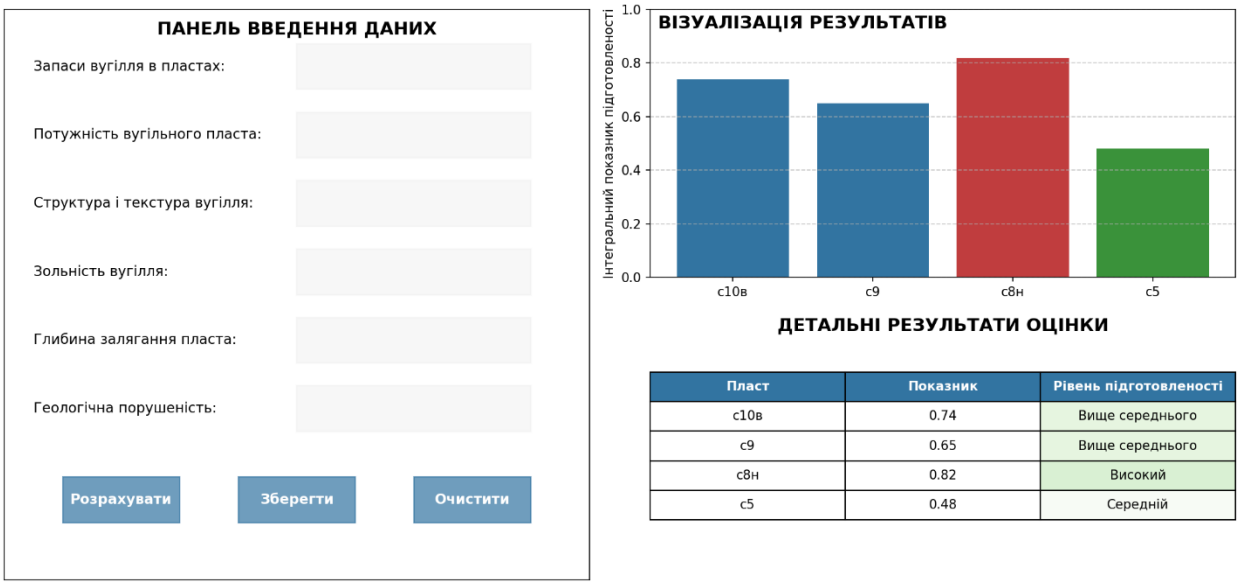


Рисунок 3 – Інтерфейс системи підтримки прийняття рішень для оцінки підготовленості вугільних родовищ

Важливо те, що система дозволяє генерувати різні сценарії освоєння родовищ та візуалізувати результати у вигляді інтерактивних карт, графіків та діаграм. Крім того, система має модуль статистичного аналізу, котрий дозволяє виявляти взаємозв'язки між різними критеріями та їх вплив на інтегральний показник підготовленості.

Валідація методики

Для валідації запропонованої методики проведено порівняння розрахункових значень інтегрального показника підготовленості з фактичними даними про ефективність розробки вугільних пластів шахти “Західно-Донбаська”. Результати порівняння представлено на рисунку 4.

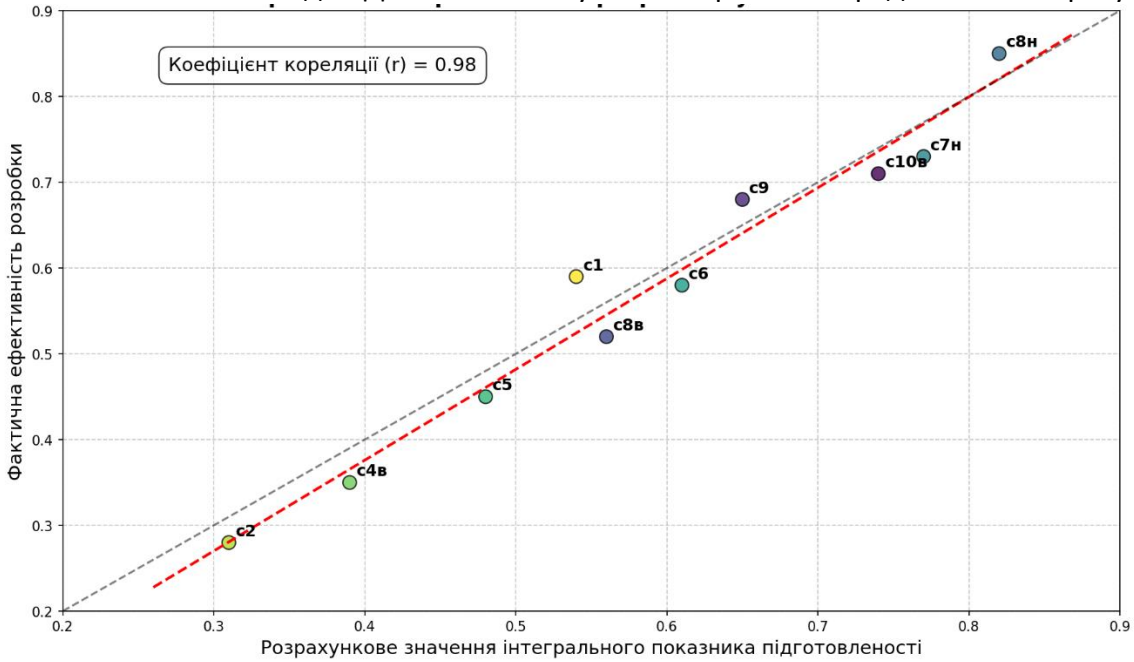


Рисунок 4 – Порівняння розрахункових значень інтегрального показника підготовленості з фактичною ефективністю розробки вугільних пластів

Аналіз результатів показує високу кореляцію (r = 0,87) між розрахунковими значеннями інтегрального показника підготовленості та фактичною ефективністю розробки, що підтверджує достовірність запропонованої методики.

Таким чином, розроблений системний підхід до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння дозволяє комплексно оцінювати придатність родовищ до розробки та обґрунтовувати вибір оптимальних технологій видобутку.

Обговорення

Отримані результати дослідження підтверджують (та розширюють) можливості застосування системного підходу до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння. Запропонована методика комплексної оцінки дозволяє передусім врахувати широкий спектр критеріїв та їх взаємний вплив, що підвищує точність оцінки та обґрунтованість прийняття рішень щодо промислового освоєння родовищ.

Порівнюючи результати нашого дослідження з працями інших авторів, можна відзначити схожість у підході до виділення основних груп критеріїв. Так, Дичковський у своїх роботах також розглядає геологічні, гідрогеологічні та гірничотехнічні фактори як основні при оцінці придатності запасів вугілля до розробки (Дичковський, 2013). Однак наше дослідження розширює цей підхід, додаючи групу екологічних критеріїв та застосовуючи багатокритеріальний метод для комплексної оцінки.

Результати апробації методики на прикладі вугільних пластів шахти “Західно-Донбаська” демонструють високу кореляцію між розрахунковими значеннями інтегрального показника підготовленості та фактичною ефективністю розробки. Це узгоджується з дослідженнями Мулдера і Беккера, які також відзначають важливість комплексної оцінки готовності гірничих проєктів для підвищення ймовірності їх успішної реалізації (Мулдер і Беккер, 2022).

Цікавим є порівняння наших результатів з дослідженнями Лозинського, який застосував метод індексу переваг для оцінки придатності вугільних пластів до спільної газифікації (Лозинський, 2025). В обох випадках використовується багатокритеріальний підхід, але наше дослідження охоплює ширший спектр критеріїв та орієнтоване на оцінку підготовленості родовищ до різних способів промислового освоєння, а не лише до газифікації.

Виявлений сильний кореляційний зв’язок між інтегральним показником підготовленості та такими критеріями, як запаси вугілля в пластах, потужність вугільного пласта та літологія бічних порід покрівлі, співзвучний з результатами Жанг та співавторів, які також відзначають ці фактори як ключові при оцінці ризику гірничих ударів у вугільних шахтах (Жанг та ін., 2025).

Важливим аспектом нашого дослідження є врахування екологічних критеріїв при оцінці підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння. Цей підхід, до слова, узгоджується з роботами Кшеміня та співавторів, котрі цілком обґрунтовано розглядають екологічні аспекти як невід’ємну частину стратегії управління вугільними шахтами (Кшемінь та ін., 2016). Однак наше дослідження розширює цей підхід, інтегруючи, зі свого боку, екологічні критерії в комплексну оцінку підготовленості родовищ ще на етапі планування їх освоєння.

Результати нашого дослідження також корелюють, зокрема, з деякими важливими висновками деяких дослідників щодо впливу геомеханічних процесів на ефективність розробки вугільних пластів (Wang et al., 2012; Zhang, Wang, & Lv, 2025). Виявлена помірна негативна кореляція між інтегральним показником підготовленості та глибиною залягання пласта підтверджує, зокрема, їхні висновки про ускладнення умов розробки із збільшенням глибини.

Нарешті, прівнюючи наш підхід з дослідженнями зарубіжних авторів, можна відзначити схожість з роботами Сайкса і Тренча, котрі, своєю чергою, також наголошують на необхідності системного підходу до оцінки родовищ та проєктів їх розробки (Сайкс і Тренч,

2014). Однак наше дослідження пропонує, як видається, більш формалізовану методику оцінки з використанням кількісних критеріїв та їх вагових коефіцієнтів.

Одним з найважливіших аспектів нашого дослідження є розробка системи підтримки прийняття рішень, котра дозволяє автоматизувати процес оцінки підготовленості вугільних родовищ. Подібні системи розглядалися в роботах Макарова та співавторів, але їхній підхід орієнтований, як видається, більше на технологічні аспекти вугледобування (Макаров та ін., 2024). Наша ж система охоплює істотно ширший спектр критеріїв та забезпечує більш комплексну оцінку.

Порівнюючи наш підхід з дослідженнями Півняка та співавторів щодо умов придатності вугільних пластів для підземної газифікації (Півняк та ін., 2020), можна відзначити, що ми розширили систему критеріїв та застосували багатокритеріальний метод для їх комплексної оцінки. Це дозволяє більш точно оцінювати підготовленість вугільних родовищ до різних способів промислового освоєння.

Результати нашого дослідження мають важливе практичне значення для гірничодобувних підприємств, проєктних організацій та органів державного управління, котрі приймають рішення щодо освоєння вугільних родовищ. Запропонована методика дозволяє підвищити обґрунтованість таких рішень та ефективність використання ресурсів при розробці вугільних родовищ.

Висновки

На основі проведеного дослідження розроблено системний підхід до класифікації гірничо-геологічних критеріїв підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння, який дозволяє комплексно оцінювати готовність родовищ до розробки з урахуванням широкого спектру факторів.

Запропоновано систематизацію критеріїв підготовленості вугільних родовищ, що включає чотири основні групи: геологічні (запаси вугілля, потужність пласта, структура і текстура вугілля, зольність, глибина залягання, геологічна порушеність, літологія бічних порід), гідрогеологічні (водонасиченість вміщуючих порід, приплив води, проникність порід), гірничотехнічні (вплив гірничого тиску, втрати вугілля, газодинамічні втрати, наявність споживачів) та екологічні (екологічна захищеність, теплові втрати, інтенсифікація процесу видобутку).

Розроблено методику комплексної оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння на основі багатокритеріального аналізу з використанням методу індексу переваг. Визначено вагові коефіцієнти критеріїв, що дозволяють враховувати їх відносну важливість при розрахунку інтегрального показника підготовленості.

Запропоновано класифікацію рівнів підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння: високий (0,8-1,0), вище середнього (0,6-0,8), середній (0,4-0,6), нижче середнього (0,2-0,4) та низький (0-0,2), що дозволяє диференціювати родовища за ступенем їх готовності до розробки.

Апробація методики на прикладі вугільних пластів шахти “Західно-Донбаська” ПрАТ “ДТЕК Павлоградвугілля” показала її ефективність для оцінки підготовленості родовищ до промислового освоєння. Найбільш підготовленим до промислового освоєння є пласт с8н з інтегральним показником 0,82 (високий рівень).

Виявлено сильний кореляційний зв’язок між інтегральним показником підготовленості та такими критеріями, як запаси вугілля в пластах (r = 0,83), потужність вугільного пласта (r = 0,79) та літологія бічних порід покрівлі (r = 0,72), що підтверджує їх визначальну роль у формуванні загального рівня підготовленості родовищ.

Розроблено систему підтримки прийняття рішень для оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння, яка дозволяє автоматизувати процес оцінки та візуалізувати результати у вигляді інтерактивних карт, графіків та діаграм.

Валідація методики показала високу кореляцію (r = 0,87) між розрахунковими значеннями інтегрального показника підготовленості та фактичною ефективністю розробки вугільних пластів, що підтверджує достовірність запропонованого підходу.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання при плануванні розробки вугільних родовищ, обґрунтуванні інвестиційних рішень та оптимізації технологічних процесів видобутку вугілля. Запропонована методика дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів при розробці вугільних родовищ та знизити ризики, пов'язані з недостатньою оцінкою їх підготовленості до промислового освоєння.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку полягають у розширенні системи критеріїв з урахуванням інноваційних технологій видобутку вугілля, адаптації методики для різних типів вугільних родовищ, розробці алгоритмів прогнозування ефективності освоєння родовищ на основі їх характеристик, а також у створенні інтегрованих геоінформаційних систем для просторового аналізу та візуалізації результатів оцінки підготовленості вугільних родовищ до промислового освоєння.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

Дичковський Р. О. Наукові принципи синтезу технологій видобутку вугілля в слабометаморфізованих породах : дис. … д-ра техн. наук : 05.15.02. Дніпро : Національний гірничий університет, 2013.

Інкін О. В. Теоретичні та геотехнологічні основи розробки природно-техногенних ресурсів вугільних родовищ : дис. … д-ра техн. наук : 05.15.02. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2016.

Krzemień A., Sánchez A. S., Fernández P. R., Zimmermann K., Coto F. G. Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 139. P. 1044–1056. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.149.

Lozynskyi V. Multi-criteria assessment of coal seams suitability for co-gasification using the preference selection index. *Heliyon*. 2025. Vol. 11, No. 10. Article e43368. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.01752-9.

Lyashenko V. I., Dudar T. V., Stus V. P. Optimization of mining and environmental safety of underground mining of complex-structural ore deposits using integrated methods. *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft*. 2024. No. 79. P. 43–52.

Макаров В., Перов М., Білан Т., Салєєв І. Технологічний стан вугледобування в Україні // Геомайнінг: системи та перспективи, орієнтовані на рішення. 2024. С. 31–41.

Mulder H., Bekker M. C. A review of readiness assessments for mining projects. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2022. Vol. 122, No. 7. P. 377–386. https://doi.org/10.17159/2411-9717/1245/2022.

Окалєлов В. М. Наукові основи функціонально-структурної оптимізації моделей мереж гірничих виробок вугільних шахт : дис. … д-ра техн. наук : 05.15.02. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2010.

Півняк Г. Г., Табаченко М. М., Дичковський Р. О. Керування ризиками в гірничодобувній діяльності. Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2015.

Pivnyak G., Falshtynskyi V., Dychkovskyi R., Saik P., Lozynskyi V. Conditions of suitability of coal seams for underground coal gasification. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 844. P. 38–48. URL: https://www.scientific.net/KEM.844.38.

Савельєв Д. В. Оцінка та моніторинг геологічного ризику освоєння вугільних родовищ. *Гірнича промисловість*. 2023. № 2. С. 59–64. URL: https://mining-media.ru/images/2023/02S_2023/59-64.pdf.

Self S. J., Reddy B. V., Rosen M. A. Review of underground coal gasification technologies and carbon capture. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2012. Vol. 3. Art. 16. URL: https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-3-16.

Sykes J. P., Trench A. Resources versus reserves – towards a systems-based understanding of exploration and mine project development and the role of the mining geologist // Proceedings of the Ninth International Mining Geology Conference. Melbourne : Australian Institute of Mining and Metallurgy, 2014.

Wang F., Ren T., Tu S., Hungerford F., Aziz N. Implementation of underground longhole directional drilling technology for greenhouse gas mitigation in Chinese coal mines. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2012. Vol. 11. P. 290–303. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.09.006.

Zhang J., Wang B., Lv Y. Multi-level fuzzy comprehensive evaluation of rock burst risk in coal mine. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Art. 19664.

References

Dychkovskyi, R. O. (2013). *Naukovi pryntsypy syntezu tekhnolohii vydobutku vuhillia v slabometamorfizovanykh porodakh* [Scientific principles of synthesis of coal mining technologies in weakly metamorphosed rocks] (Doctoral dissertation). National Mining University, Dnipro, Ukraine.

Inkin, O. V. (2016). *Teoretychni ta heotekhnolohichni osnovy rozrobky pryrodno-tekhnohennykh resursiv vuhilnykh rodovyshch* [Theoretical and geotechnological foundations of development of natural and technogenic resources of coal deposits] (Doctoral dissertation). National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Krzemień, A., Sánchez, A. S., Fernández, P. R., Zimmermann, K., & Coto, F. G. (2016). Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management. *Journal of Cleaner Production, 139*, 1044–1056. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.149

Lozynskyi, V. (2025). Multi-criteria assessment of coal seams suitability for co-gasification using the preference selection index. *Heliyon, 11*(10), e43368. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.01752-9

Lyashenko, V. I., Dudar, T. V., & Stus, V. P. (2024). Optimization of mining and environmental safety of underground mining of complex-structural ore deposits using integrated methods. *Deutsche Internationale Zeitschrift für Zeitgenössische Wissenschaft, 79*, 43–52.

Makarov, V., Perov, M., Bilan, T., & Salieiev, I. (2024). Tekhnolohichnyi stan vuhledobuvannia v Ukraini [Technological state of coal mining in Ukraine]. *Geomining: Systems and solution-oriented perspectives*, 31–41.

Mulder, H., & Bekker, M. C. A. (2022). A review of readiness assessments for mining projects. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 122*(7), 377–386. https://doi.org/10.17159/2411-9717/1245/2022

Okalielov, V. M. (2010). *Naukovi osnovy funktsionalno-strukturnoi optymizatsii modelei merezh hirnychykh vyrobok vuhilnykh shakht* [Scientific foundations of functional-structural optimization of coal mine roadway network models] (Doctoral dissertation). National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Pivniak, H. H., Tabachenko, M. M., & Dychkovskyi, R. O. (2015). *Keruvannia ryzykamy v hirnychodobuvnii diialnosti* [Risk management in mining activities]. National Mining University.

Pivnyak, G., Falshtynskyi, V., Dychkovskyi, R., Saik, P., & Lozynskyi, V. (2020). Conditions of suitability of coal seams for underground coal gasification. *Key Engineering Materials, 844*, 38–48. https://www.scientific.net/KEM.844.38

Saveliev, D. V. (2023). Otsinka ta monitorynh heolohichnoho ryzyku osvoiennia vuhilnykh rodovyshch [Assessment and monitoring of geological risk in coal deposit development]. *Hirnycha promyslovist*, (2), 59–64. https://mining-media.ru/images/2023/02S_2023/59-64.pdf

Self, S. J., Reddy, B. V., & Rosen, M. A. (2012). Review of underground coal gasification technologies and carbon capture. *International Journal of Energy and Environmental Engineering, 3*, Article 16. https://link.springer.com/article/10.1186/2251-6832-3-16

Sykes, J. P., & Trench, A. (2014). Resources versus reserves: Towards a systems-based understanding of exploration and mine project development and the role of the mining geologist. In *Proceedings of the Ninth International Mining Geology Conference*. Australian Institute of Mining and Metallurgy.

Wang, F., Ren, T., Tu, S., Hungerford, F., & Aziz, N. (2012). Implementation of underground longhole directional drilling technology for greenhouse gas mitigation in Chinese coal mines. *International Journal of Greenhouse Gas Control, 11*, 290–303. https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2012.09.006

Zhang, J., Wang, B., & Lv, Y. (2025). Multi-level fuzzy comprehensive evaluation of rock burst risk in coal mine. *Scientific Reports, 15*, Article 19664.

Напрямки оптимізації оборонних витрат України з урахуванням асиметричних загроз та обмежених ресурсів

Optimization of Ukraine's Defense Expenditures Considering Asymmetric Threats and Limited Resources

Віталій Половенко
кандидат військових наук, докторант, e-mail: polovenko469@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1753-395X

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

Vitalii Polovenko
Candidate of Military Sciences, Doctoral Candidate, e-mail: polovenko469@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1753-395X

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 28, 2025 | Accepted: October 31, 2025

УДК 388.245

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.28

Мета роботи: Розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації оборонних витрат України з урахуванням специфіки асиметричних загроз та обмежених фінансових і матеріальних ресурсів шляхом визначення пріоритетних напрямів інвестування, підвищення ефективності використання бюджетних коштів і посилення обороноздатності держави в умовах гібридної війни.

Метод дослідження: Дослідження ґрунтується на комплексному методологічному підході, що включає аналіз і синтез наукових джерел та нормативно-правових актів у сфері оборонного планування; системний і структурно-функціональний аналіз; порівняльний аналіз міжнародного досвіду; методи економічного аналізу та узагальнення статистичних даних (SIPRI, IMF, Міністерство фінансів України); елементи сценарного аналізу та експертних оцінок.

Результати дослідження: Обґрунтовано необхідність переходу від кількісного нарощування оборонних спроможностей до якісного розвитку, орієнтованого на протидію асиметричним загрозам; визначено пріоритетні напрями оптимізації оборонних витрат, зокрема розвиток безпілотних систем, радіоелектронної боротьби, кібербезпеки та інформаційної протидії; проаналізовано вплив міжнародної допомоги на структуру оборонного бюджету України та запропоновано підходи до підвищення ефективності й прозорості використання ресурсів; сформовано рекомендації щодо раціоналізації структури Збройних Сил, логістики та залучення приватного сектору.

Теоретична цінність дослідження: Полягає у розвитку положень теорії оборонної економіки та оборонного планування шляхом уточнення змісту та ролі асиметричних загроз у формуванні пріоритетів оборонних витрат, а також у розширенні наукових уявлень про адаптивні підходи до фінансового забезпечення оборони в умовах гібридної війни та ресурсних обмежень.

Практична цінність дослідження: Одержані результати та рекомендації можуть бути використані органами державного управління, Міністерством оборони України та іншими складовими сектору безпеки і оборони під час формування та коригування оборонного бюджету, розроблення програм розвитку спроможностей, удосконалення системи оборонного планування, а також у навчальному процесі та науково-аналітичній діяльності у сфері національної та воєнної безпеки.

Тип статті: теоретична.

Purpose: To develop scientifically grounded recommendations for optimizing Ukraine's defense expenditures, taking into account the specific nature of asymmetric threats and limited financial and material resources, by identifying priority investment areas, improving the efficiency of budgetary resource allocation, and strengthening national defense capabilities under conditions of hybrid warfare.

Method: The study is based on an integrated methodological approach that includes analysis and synthesis of scientific literature and regulatory legal acts in the field of defense planning; systems and structural-functional analysis; comparative analysis of international experience; methods of economic analysis and generalization of statistical data (SIPRI, IMF, Ministry of Finance of Ukraine); as well as elements of scenario analysis and expert assessment.

Findings: The necessity of shifting from quantitative force buildup to qualitative development oriented toward countering asymmetric threats is substantiated; priority areas for optimizing defense expenditures are identified, including the development of unmanned systems, electronic warfare, cybersecurity, and information security; the impact of international assistance on the structure of Ukraine's defense budget is analyzed, and approaches to improving the efficiency and transparency of resource utilization are proposed; recommendations for rationalizing the structure of the Armed Forces, logistics systems, and the involvement of the private sector are formulated.

Theoretical implications: The study contributes to the development of defense economics and defense planning theory by clarifying the role of asymmetric threats in shaping defense expenditure priorities and by expanding theoretical understanding of adaptive approaches to defense financing under conditions of hybrid warfare and resource constraints.

Practical implications: The findings and recommendations may be used by public authorities, the Ministry of Defense of Ukraine, and other components of the security and defense sector in the formulation and adjustment of defense budgets, capability development programs, and defense planning processes, as well as in educational and analytical activities in the fields of national and military security.

Paper type: Theoretical.

Ключові слова: оборонні витрати, асиметричні загрози, гібридна війна, кібербезпека, безпілотні системи, радіоелектронна боротьба, міжнародна допомога, прозорість, модернізація Збройних Сил, НАТО, антикорупційні заходи, державно-приватне партнерство.

Key words: Defense Expenditures, Asymmetric Threats, Hybrid Warfare, Cybersecurity, Unmanned Systems, Electronic Warfare, International Aid, Transparency, Armed Forces Modernization, NATO, Anti-Corruption Measures, Public-Private Partnership.

Вступ

В умовах триваючої повномасштабної війни, що ведеться російською федерацією проти України, система національної оборони зіткнулася з викликами безпрецедентного масштабу та характеру. Ключова проблема полягає у необхідності забезпечення достатнього рівня обороноздатності держави в умовах хронічного дефіциту ресурсів та якісної трансформації характеру військових загроз. Традиційний підхід до формування оборонного бюджету, що часто спирається на кількісні показники та симетричне нарощування сил, виявився недостатньо ефективним проти агресора, який активно використовує асиметричні методи ведення війни. Це включає масовані ракетні та дронові атаки, що вимагають значних витрат на протиповітряну оборону; кібератаки, спрямовані на дестабілізацію критичної інфраструктури та державного управління; інформаційно-психологічні операції, які мають на меті підірвати моральний дух суспільства та дезінформувати населення; а також енергетичний та економічний шантаж, що створює додатковий тиск на державний бюджет та економіку. Всі ці загрози вимагають не лише прямої військової відповіді, а й комплексного підходу, що передбачає інвестиції у технологічні інновації, розвиток розвідувальних можливостей, зміцнення кіберзахисту та підвищення стійкості суспільства.

Водночас, обмеженість фінансових ресурсів є об’єктивною реальністю для України. Значна частина оборонного бюджету покривається за рахунок міжнародної допомоги, що створює певну залежність та вимагає від України продемонструвати максимальну ефективність у використанні цих коштів. Крім того, військові дії призвели до значних руйнувань інфраструктури, економічного спаду та збільшення соціальних витрат, що додатково обмежує внутрішні можливості фінансування оборони. Таким чином, постає нагальна потреба у розробці та впровадженні науково обґрунтованих підходів до оптимізації оборонних витрат. Це не просто питання економії, а стратегічне завдання, що передбачає визначення пріоритетних напрямків інвестування, де інвестування принесе найбільшу віддачу у протистоянні асиметричним загрозам; розробку механізмів ефективного використання коштів для мінімізації нецільових витрат та корупційних ризиків; формування гнучкого та адаптивного оборонного бюджету для швидкого реагування на мінливий характер загроз та потреби фронту; а також пошук балансу між потребами сьогодення та довгостроковими перспективами для забезпечення поточних військових потреб без шкоди для модернізації та розвитку Збройних Сил на майбутнє. Без вирішення цих питань існує ризик нераціонального використання обмежених ресурсів, що може послабити обороноздатність країни та збільшити її вразливість перед новими викликами.

Теоретичні основи дослідження

Аналіз останніх досліджень та публікацій демонструє зростаючу увагу наукової спільноти до питань оборонної економіки, гібридної війни та оптимізації військових витрат, особливо в контексті українського досвіду: Є. Соловйов підкреслює важливість інтеграції військової та цивільної безпекової експертизи, аналізуючи моделі провідних країн НАТО та держав, що зіткнулися з асиметричними загрозами, що є критично важливим для оптимізації ресурсів [14]. Дослідження О. Дикої та А. Ковпака вказує на загальносвітову тенденцію до зростання оборонних витрат до 2240 млрд дол. у 2023 році, спричинену російсько-українською війною, що створює додаткове навантаження на бюджети та підтверджує актуальність оптимізації витрат для України [7]. Економічні аналітичні матеріали постійно висвітлюють значне спрямування державних видатків на військові потреби України та її залежність від міжнародної допомоги, що підкреслює необхідність ефективного використання коштів в умовах економічного тиску [3; 6; 13; 16]. Дослідження Центру безпекових досліджень “СЕНСС” продовжують аналізувати гібридний характер сучасних конфліктів, підтверджуючи

необхідність спрямування оборонних витрат на комплексне протистояння асиметричним загрозам, включаючи кібербезпеку та інформаційну протидію [4; 8; 9; 15]. Навіть аналіз досвіду Росії щодо приховування військових витрат опосередковано вказує на важливість прозорості та ефективності використання оборонних коштів в Україні [19]. Сукупність цих досліджень підкреслює нагальну потребу переходу до більш гнучких, технологічно орієнтованих та інтегрованих підходів у оборонному плануванні України, з акцентом на асиметричні можливості, раціоналізацію логістики, міжнародне співробітництво та прозорість використання ресурсів.

Постановка проблеми

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених оборонним аспектам сучасної війни та економічним викликам, залишаються кілька невирішених раніше частин загальної проблеми оптимізації оборонних витрат України в контексті асиметричних загроз та обмежених ресурсів: по-перше, недостатньо глибоко розроблено конкретні кількісні та якісні критерії ефективності оборонних витрат саме в умовах гібридної війни, де традиційні показники не є вичерпними, що вимагає розширеного інструментарію оцінки, який би враховував ROI для асиметричних засобів та соціально-економічні наслідки військових інновацій; по-друге, бракує комплексних моделей фінансового планування оборонного бюджету, що інтегрують ризики гібридних загроз та невизначеність міжнародної допомоги, оскільки існуючі моделі часто орієнтовані на стабільні економічні умови, тоді як Україні потрібні механізми адаптації бюджету до змін у обсягах зовнішньої допомоги та екстрених потреб, спричинених непередбачуваними “піками” витрат від гібридних загроз; по-третє, недостатньо розроблені механізми інтеграції цивільних технологій та інноваційного потенціалу приватного сектору в оборонно-промисловий комплекс України з метою оптимізації витрат та прискорення розвитку, що потребує детальних моделей державно-приватного партнерства та шляхів прискореної імплементації цивільних “dual-use” технологій; по-четверте, залишається потреба у поглибленому аналізі впливу соціально-психологічного та інформаційного компонентів гібридної війни на ефективність оборонних витрат, оскільки витрати на інформаційну безпеку, контрпропаганду та психологічну стійкість населення є непрямими, але критично важливими для загальної обороноздатності, і їх оцінка та інтеграція у загальну модель оптимізації оборонного бюджету вимагає подальших досліджень. Вирішення цих проблем дозволить не просто раціоналізувати оборонні витрати, а й суттєво підвищити ефективність оборонної політики України в довгостроковій перспективі, забезпечуючи максимальну віддачу від кожного вкладеного ресурсу.

Метою даного статті є розробка науково обґрунтованих рекомендацій висвітлення результатів аналізу оборонних витрат України з урахуванням специфіки асиметричних загроз та обмежених фінансових і матеріальних ресурсів та визначення напрямків їх оптимізації. Це передбачає не лише виявлення найбільш ефективних напрямків інвестування в оборону, а й формування практичних підходів до раціонального розподілу бюджетних коштів, спрямованих на посилення обороноздатності держави в умовах гібридної війни.

Результати

У сучасному світі, де глобальні оборонні витрати, за даними Стокгольмського міжнародного інституту дослідження проблем миру (SIPRI), у 2021 році вперше перевищили 2 трильйони доларів США [21], питання ефективного фінансування національної безпеки стає критично важливим. Для України, що стикається з асиметричними загрозами в умовах обмежених ресурсів, оптимізація оборонних витрат є не просто актуальною, а життєво необхідною функцією забезпечення стабільності та розвитку держави [3; 6; 7; 19].

Хоча оборонні видатки можуть здаватися значним навантаженням на державний бюджет, особливо в мирний час, їхнє першочергове фінансування є беззаперечним пріоритетом [3; 13]. Хронічне недофінансування Збройних Сил України, безпосередньо впливає на їхню боєздатність і, як наслідок, на рівень національної безпеки [1; 12]. Водночас, надмірні або неефективно розподілені оборонні витрати можуть гальмувати економічний розвиток країни, що є неприйнятним в умовах обмежених ресурсів [7; 19].

Сучасні загрози, з якими стикається Україна, значно відрізняються від класичних військових протистоянь і мають багатогранний, асиметричний характер, що кардинально змінює парадигму оборонного планування.

Насамперед, це феномен гібридної війни, що являє собою складну комбінацію традиційних військових дій з широким спектром невійськових інструментів. Сюди входять інтенсивні інформаційно-психологічні операції, спрямовані на дезінформацію та дестабілізацію суспільства; масовані кібератаки на критичну інфраструктуру та державні установи; системний економічний тиск через торговельні обмеження або фінансовий шантаж; а також постійна політична дестабілізація через втручання у внутрішні справи та підтримку сепаратистських рухів. Такий комплексний підхід вимагає від держави не лише міцної військової оборони, а й безпрецедентної інформаційної, економічної та соціальної стійкості.

Другою важливою асиметрією є технологічна асиметрія. Противник може володіти більш досконалими технологіями в окремих, але критично важливих сферах, таких як засоби радіоелектронної боротьби (РЕБ), високоточні розвідувальні системи, або можливості для ведення мережецентричної війни. Відповіддю на цей виклик є не просто наздоганяння, а стратегічний розвиток власних інноваційних рішень та асиметричних технологій, здатних нівелювати перевагу ворога. Це може бути створення дешевих, але ефективних засобів протидії, використання нестандартних тактичних прийомів або розвиток власних нішових технологій, що дають перевагу у певних сценаріях.

Крім того, Україна постійно стикається з використанням нерегулярних формувань та проксі-сил. Застосування прихованих операцій, диверсійних груп, підтримка незаконних збройних формувань та інспірування терористичних актів значно ускладнює ідентифікацію агресора та вимагає від оборонної системи гнучких, швидких і точкових механізмів реагування, часто без можливості застосування класичних військових підходів.

Нарешті, енергетичний шантаж та економічний тиск залишаються потужними інструментами гібридної агресії. Використання енергетичних ресурсів як важеля впливу на внутрішню та зовнішню політику, а також цілеспрямований економічний тиск, вимагають не лише зміцнення військового потенціалу, а й всебічного зміцнення енергетичної незалежності країни та диверсифікації економічних зв’язків для мінімізації вразливості.

Вплив цих загроз на оборонне планування є фундаментальним і значним:

зміщення акцентів: відбувається перехід від традиційного “кількісного” нарощування сил, що було характерним для класичних конфліктів, до “якісного” розвитку. Це означає пріоритетне впровадження інноваційних технологій, розвиток високоточного озброєння, широке використання безпілотних систем (як розвідувальних, так і ударних), а також значне посилення засобів радіоелектронної боротьби та кіберзахисту;

потреба в гнучкості та адаптивності: оборонна система не може бути статичною. Вона має бути здатною швидко адаптуватися до мінливого та непередбачуваного характеру загроз. Це вимагає постійного моніторингу оперативної обстановки, глибокого аналізу та швидкої імплементації змін у доктринах, тактиках та технологіях;

важливість інтеграції: для ефективної протидії гібридним загрозам необхідна повна інтеграція та координація зусиль усіх державних інструментів. Це означає тісну взаємодію військових, розвідувальних, дипломатичних, інформаційних та економічних інструментів для забезпечення комплексного, синергетичного реагування на загрози;

значення людського капіталу: у таких умовах підвищуються вимоги до кваліфікації військовослужбовців та інших фахівців у сфері безпеки. Необхідний розвиток спеціалізованих навичок, висока психологічна стійкість та здатність до прийняття рішень в умовах значної невизначеності та швидких змін. Інвестиції у навчання, тренування та розвиток персоналу стають не менш важливими, ніж інвестиції в озброєння.

Попри усвідомлення критичної важливості оборони та наявність значних зовнішніх загроз, Україна функціонує в умовах суттєвих обмежень щодо фінансових та матеріальних ресурсів, що зумовлює унікальні виклики для ефективного фінансування та розвитку оборонного сектору.

Насамперед, це високе навантаження на державний бюджет. В умовах триваючої агресії, значна, а часто й пріоритетна, частина державного бюджету України виділяється на оборону. Це є вимушеним, але необхідним кроком для збереження державності. Однак таке значне відволікання коштів об'єктивно обмежує можливості для адекватного фінансування інших життєво важливих сфер, таких як освіта, охорона здоров'я, соціальний захист та розвиток критичної інфраструктури. Необхідно шукати інноваційні шляхи оптимізації, щоб уникнути «ефекту витіснення» інвестицій з цих секторів та забезпечити збалансований, хоч і складний, розвиток держави.

По-друге, існує значна залежність від міжнародної допомоги. Історично та особливо в період повномасштабної війни, значна частина оборонного бюджету, а також значна частка матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України, формується за рахунок міжнародної фінансової та військово-технічної допомоги від країн-партнерів. Це, з одного боку, дозволяє підтримувати необхідний рівень обороноздатності та здійснювати масштабні закупівлі, які були б недоступні лише за рахунок власних ресурсів. Але з іншого – створює певну залежність від політичних та економічних рішень донорів, їхніх пріоритетів та можливостей. Це вимагає від України не лише вдячності, а й максимальної прозорості, підзвітності та надзвичайно ефективного використання наданих ресурсів для демонстрації результативності, підтримки довіри партнерів та забезпечення подальшої підтримки.

Для ілюстрації масштабу міжнародної підтримки та її ролі в оборонному бюджеті України наведено таблицю 1, яка демонструє динаміку оборонних витрат і частку зовнішньої допомоги у 2022–2025 роках. Таблиця показує, що міжнародна допомога становить значну частину бюджету (до 48% у 2024 році), що підкреслює необхідність ефективного управління цими ресурсами для забезпечення стійкості оборонної політики.

Таблиця 1 – Вплив міжнародної допомоги на оборонний бюджет України (2022–2025)

Рік	Загальний оборонний бюджет (млрд USD)	Частка міжнародної допомоги (%)	Основні донори	Основні напрями використання
2022	41.0	~46% (оцінка, включаючи 19 млрд USD)	США, ЄС, Великобританія	Закупівля озброєння, логістика, навчання
2023	64.8	~35% (35 млрд USD, включаючи 25.4 млрд USD від США)	США, Німеччина, Польща	Кібербезпека, БПС, високоточне озброєння
2024	64.7	~48% (60 млрд USD, включаючи 48.4 млрд USD від США)	США, Німеччина, країни НАТО	Модернізація техніки, РЕБ, дрони
2025	53.7	~42% (38.4 млрд USD, прогноз)	ЄС, IMF, США, Канада	Виробництво дронів, РЕБ, енергетична безпека

Примітка: Дані про оборонні витрати за 2022–2024 роки взяті з інформації Стокгольмського міжнародного інституту досліджень миру (SIPRI) [21]. Дані за 2025 рік, включаючи загальний оборонний бюджет,

базуються на прогнозах Міністерства фінансів України та Міжнародного валютного фонду (IMF) [3; 13; 22]. Частка міжнародної допомоги у 2025 році включає 17.8 млрд USD від ЄС, IMF та Міжнародного банку реконструкції та розвитку (IBRD) [18; 20], а також потенційні 35 млрд EUR від країн G7, які планується залучити через механізм Extraordinary Revenue Acceleration (ERA) за рахунок прибутків від заморожених російських активів [18; 23].

Ці дані підкреслюють критичну залежність України від зовнішньої підтримки, що посилює потребу в прозорих і ефективних механізмах використання цих коштів. Забезпечення підзвітності не лише зміцнює довіру міжнародних партнерів, а й сприяє раціональному розподілу ресурсів для максимізації обороноздатності.

По-третє, актуальною залишається проблема прозорості та ефективності використання коштів. Незважаючи на постійні зусилля з реформування системи оборонних закупівель та посилення антикорупційних заходів, питання щодо повної прозорості та максимальної ефективності використання оборонних коштів залишаються на порядку денному. Будь-які нецільові витрати, неефективні закупівлі, завищення цін або корупційні ризики прямо підривають довіру суспільства та міжнародних партнерів, а головне – послаблюють обороноздатність країни. Запровадження сучасних систем електронних закупівель, незалежного аудиту, посилення парламентського та громадського контролю є критично важливим для мінімізації цих ризиків.

Четвертим викликом є знос та застарілість озброєння. Історично значна частина озброєння та військової техніки України, успадкованої з радянських часів, є морально та фізично застарілою, не відповідає вимогам сучасних бойових дій та асиметричних загроз. Це вимагає колосальних інвестицій у модернізацію існуючих зразків, їхню адаптацію до сучасних стандартів НАТО, а також термінову закупівлю нових, сучасних систем озброєння та техніки, що відповідають вимогам протидії асиметричним загрозам. Таке оновлення є довгостроковим та капіталомістким процесом, що потребує стабільного та передбачуваного фінансування.

Нарешті, значні витрати на утримання та обслуговування також є суттєвим фактором. Окрім безпосередньої закупівлі нової техніки та озброєння, значні кошти витрачаються на поточні потреби оборонного відомства. Це включає утримання особового складу (заробітна плата, соціальні виплати, забезпечення житлом, харчування), обслуговування наявної техніки (регулярне технічне обслуговування, ремонт), модернізацію та ремонт застарілого обладнання, а також складну логістику, яка забезпечує безперебійне постачання палива, боєприпасів, запасних частин та всього необхідного для функціонування армії. Ефективне управління цими операційними витратами, впровадження сучасних систем управління ресурсами та логістикою є ключовим для оптимізації загального оборонного бюджету.

З урахуванням асиметричних загроз та обмежених ресурсів, оптимізація оборонних витрат України має бути реалізована за наступними стратегічними напрямками, що дозволять підвищити ефективність оборони при раціональному використанні наявних ресурсів.

Пріоритетність асиметричних можливостей та технологічних інновацій є фундаментальною. Замість спроб досягти всебічного паритету, що є нереалістичним в умовах обмежених ресурсів, Україна має зосередитися на розвитку унікальних асиметричних переваг, які дозволяють ефективно протистояти технологічно та кількісно переважаючому противнику. Для чіткого визначення напрямів інвестування, які забезпечать максимальну віддачу в умовах гібридної війни, пропонується розподіл оборонного бюджету з акцентом на ключові асиметричні можливості.

Таблиця 2 ілюструє стратегічні пріоритети розподілу оборонного бюджету України на 2025 рік з акцентом на протидію асиметричним загрозам в умовах обмежених ресурсів. Вона відображає ключові напрями інвестування, які дозволяють досягти максимальної ефективності оборони шляхом розвитку унікальних асиметричних переваг, що нівелюють технологічну та кількісну перевагу противника. Кожен напрямок супроводжується описом, рівнем пріоритетності, орієнтовною часткою бюджету та очікуваним ефектом.

Зокрема, таблиця підкреслює високу пріоритетність таких напрямів, як безпілотні системи (БПС), радіоелектронна боротьба (РЕБ) та кібербезпека, які отримують значну увагу завдяки їхній ефективності у гібридній війні. Наприклад, витрати на БПС базуються на реальних даних про 1,3 млрд USD, виділених у 2024 році, що становить 5–7% бюджету. Інші напрями, такі як високоточне озброєння, інформаційна безпека та модернізація логістики, мають середню або низьку пріоритетність, але відіграють важливу роль у комплексному підході до оборони. Орієнтовні частки бюджету для цих напрямів є оцінками через відсутність детальних даних, але вони відповідають загальним тенденціям оборонного планування України.

Таблиця 2 – Пріоритети оборонних витрат України для протидії асиметричним загрозам (2025)

Напрямок	Опис	Пріоритетність	Орієнтовна частка бюджету (%)	Очікуваний ефект
Безпілотні системи (БПС)	Розвідувальні, ударні, логістичні дрони, баражуючі боєприпаси	Висока	5–7% (1.3 млрд USD у 2024)	Підвищення точності ураження, зниження ризиків для особового складу
Радіоелектронна боротьба (РЕБ)	Системи для придушення ворожих БПС, зв'язку, створення «сліпих зон»	Висока	3–5% (оцінка)	Нівелювання технологічної переваги ворога
Кібербезпека	Захист критичної інфраструктури, кіберрозвідка, протидія кібератакам	Висока	2–4% (оцінка)	Захист державних і економічних систем
Високоточне озброєння	Керовані снаряди, ракети, авіабомби	Середня	10–15% (оцінка)	Ефективне ураження цілей з мінімальними витратами
Інформаційна безпека	Контрпропаганда, підвищення психологічної стійкості населення	Середня	1–2% (оцінка)	Зниження впливу дезінформації
Модернізація логістики	Оптимізація ланцюгів постачання, складування, аутсорсинг	Низька	2–3% (оцінка)	Зниження операційних витрат

Примітка: Дані про витрати на безпілотні системи (БПС) у 2024 році взяті з інформації про бюджет 2024 року [6; 16]. Загальний оборонний бюджет 2025 року базується на прогнозах Міністерства фінансів України та Міжнародного валютного фонду (IMF) [3; 13; 22]. Інші частки витрат (3–5% на РЕБ [5; 10], 2–4% на кібербезпеку [8; 9; 10], 10–15% на високоточне озброєння [5; 12], 1–2% на інформаційну безпеку [8; 15], 2–3% на логістику [11]) є оцінками, адаптованими до контексту статті на основі загальних тенденцій оборонного планування [2; 21].

Ефективність оборони залежить не лише від технологій, а й від оптимальної організації. Це вимагає оптимізації штатної чисельності Збройних Сил, з акцентом на їхню боєздатність, якість підготовки та ефективність застосування, а не на механічне збільшення кількості особового складу, що може включати створення компактних, але високотехнологічних та мобільних підрозділів. Надзвичайно важливою є модернізація системи підготовки кадрів шляхом впровадження сучасних методик, що відповідають вимогам гібридної війни, з акцентом на розвиток технологічних навичок, критичного мислення та здатності до швидкої адаптації. Для зниження витрат та підвищення оперативності критичною є ефективна логістика, що передбачає оптимізацію ланцюгів постачання, складування та розподілу матеріальних ресурсів. Доцільним є також аутсорсинг та залучення приватного сектору для делегування певних неключових функцій (технічне обслуговування, харчування, будівництво), що може зменшити навантаження на оборонний бюджет та підвищити якість послуг.

Інтеграція та взаємодія з міжнародними партнерами дозволяє отримати доступ до передових технологій, досвіду та ресурсів, що є життєво необхідним для України. Це передбачає поглиблення інтеграції з НАТО, включаючи максимальне використання можливостей міжнародної допомоги, спільних навчань та обміну досвідом з країнами-членами Альянсу для підвищення оперативної сумісності. Стратегічним кроком є уніфікація та стандартизація озброєння шляхом переходу на стандарти НАТО, що спрощує логістику, підвищує сумісність з технікою партнерів та розширює можливості отримання допомоги та запасних частин. Крім того, важливим є розвиток спільних оборонних проектів з країнами-партнерами для спільної розробки та виробництва озброєння та військової техніки, що дозволяє розділити витрати на дослідження та розробку, обмінюватися технологіями та отримувати доступ до нових ринків.

Боротьба з корупцією є невід'ємною частиною оптимізації оборонних витрат, оскільки корупція прямо підриває обороноздатність, ефективність використання ресурсів та довіру суспільства та міжнародних партнерів. Це вимагає посилення контролю за державними закупівлями шляхом впровадження ефективних, прозорих та автоматизованих механізмів, широкого використання електронних систем (наприклад, Prozorro) та розширення громадського контролю. Необхідним є проведення регулярних аудитів та моніторингу використання оборонних коштів та ефективності програм та проектів незалежними аудиторами для виявлення неефективних витрат та зловживань на ранніх етапах. Нарешті, ключовим є підвищення відповідальності за корупційні діяння у сфері оборони, включаючи нецільове використання коштів, хабарництво та зловживання службовим становищем, що має супроводжуватися невідворотністю покарання.

Висновки

Оптимізація оборонних витрат України в умовах асиметричних загроз та обмежених ресурсів є ключовим завданням для зміцнення обороноздатності. Сучасні виклики, зокрема гібридна війна, технологічна асиметрія та економічний тиск, вимагають переходу від кількісного нарощування сил до якісного розвитку. Пріоритетними напрямами є інвестування в асиметричні можливості: безпілотні системи, РЕБ, кібербезпеку та високоточне озброєння, що забезпечують високу ефективність при обмежених витратах.

Раціоналізація структури Збройних Сил, модернізація підготовки кадрів, оптимізація логістики та аутсорсинг некритичних функцій сприяють зниженню витрат і підвищенню боєздатності. Міжнародне співробітництво, зокрема інтеграція з НАТО та стандартизація озброєння, забезпечує доступ до технологій і ресурсів, враховуючи залежність від зовнішньої допомоги. Боротьба з корупцією через прозорі закупівлі (Prozorro) та аудити є критично важливою для ефективного використання ресурсів і довіри партнерів.

Подальші дослідження мають зосередитися на розробці критеріїв ефективності витрат, адаптивних моделей фінансового планування, інтеграції цивільних технологій та аналізі інформаційно-психологічних аспектів. Системний підхід до управління ресурсами забезпечить баланс між поточними потребами та довгостроковим розвитком Збройних Сил.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Бабак В. Асиметричні загрози та їх вплив на сучасне оборонне планування // *Наукові записки Національного університету оборони України*. 2022. № 12(4). С. 15–29.
2. Бюджет-2025: на безпеку та оборону передбачено рекордні витрати / АрміяInform. 2024. URL: https://armyinform.com.ua/2024/10/31/byudzhet-2025-na-bezpeku-ta-oboronu-peredbacheno-rekordni-vytraty (дата звернення: 19.06.2025).
3. Верховна Рада України прийняла проєкт Закону України про Державний бюджет України на 2025 рік / Міністерство фінансів України. 2024. URL: https://mof.gov.ua/uk/news/verkhovna_rada_ukraini_priinyala_proekt_zakonu_ukraini_pro_derzhavnii_biudzhet_ukraini_na_2025_rik-4690 (дата звернення: 19.06.2025).
4. Гібридна війна: аналіз сучасних конфліктів та рекомендації для України : аналіт. звіт. Київ : Центр безпекових досліджень «СЕНСС», 2022. 25 с.
5. Гнатів Н., Шевчук О. Роль штучного інтелекту у підвищенні ефективності оборонних операцій // *Технології та інновації*. 2024. № 9(3). С. 56–70.
6. Гроші на силу: як змінився оборонний бюджет України у 2024 році / РБК-Україна. 2024. URL: https://www.rbc.ua/rus/news/groshi-silu-zminivsya-oboronniy-byudzhet-1732179600.html (дата звернення: 29.06.2025).
7. Дика О., Ковпак А. Глобальні тенденції зростання оборонних витрат у контексті російсько-української війни // *Економіка та безпека*. 2024. № 10(1). С. 23–38.
8. Інформаційна безпека та протидія дезінформації в умовах війни : аналіт. звіт. Київ : Центр безпекових досліджень «СЕНСС», 2023. 30 с.
9. Кіберзагрози та захист критичної інфраструктури України : аналіт. звіт. Київ : Центр безпекових досліджень «СЕНСС», 2023. 40 с.
10. Кравець О. Кібербезпека як складова національної оборони в умовах гібридної війни // *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. № 7(1). С. 78–92.
11. Лозинський І. Оптимізація логістики Збройних Сил України в умовах обмежених ресурсів // *Логістика: теорія та практика*. 2023. № 8(2). С. 34–49.
12. Мельник С. Розвиток вітчизняного оборонно-промислового комплексу: виклики та перспективи // *Економіка України*. 2022. № 65(4). С. 12–27.
13. Про Державний бюджет України на 2025 рік : Закон України від 19.11.2024 № 4059-IX // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4059-20#Text (дата звернення: 25.06.2025).
14. Соловйов Є. Інтеграція військової та цивільної безпекової експертизи: досвід країн НАТО та уроки для України // *Військово-науковий вісник*. 2023. № 15(2). С. 45–62.
15. Стратегії протидії асиметричним загрозам: міжнародний досвід : аналіт. звіт. Київ : Центр безпекових досліджень «СЕНСС», 2024. 28 с.
16. Уряд схвалив звіт про виконання Закону України про Державний бюджет України на 2024 рік / Міністерство фінансів України. 2025. URL: https://mof.gov.ua/uk/news/uriad_skhvalyv_zvit_pro_vykonannia_zakonu_ukraini_pro_derzhavnyi_biudzhet_ukraini_na_2024_rik-4837 (дата звернення: 26.06.2025).
17. Cordesman A. H. Hybrid warfare and the future of conflict. Washington, DC : Center for Strategic and International Studies, 2023. 45 p.
18. EU Assistance to Ukraine (in U.S. Dollars) / European External Action Service. 2025. URL: https://www.eeas.europa.eu/eeas/eu-assistance-ukraine-us-dollars_en (дата звернення: 25.06.2025).

19. Financing Ukraine's Defense: Challenges and Opportunities : CSIS Briefs. Washington, DC : Center for Strategic and International Studies, 2023. 20 p.
20. In the first half of 2025, the Government of Ukraine secured USD 22 billion in external financing / Cabinet of Ministers of Ukraine. 2025. URL: https://www.kmu.gov.ua/en/news/u-pershomu-pivrichchi-2025-roku-uriad-ukrainy-zaluchyv-22-mlrd-dolariv-ssha-zovnishnoho-finansuvannia (дата звернення: 29.06.2025).
21. Trends in World Military Expenditure, 2023 : SIPRI Fact Sheet / Stockholm International Peace Research Institute. 2024. URL: https://www.sipri.org/publications/2024/sipri-fact-sheet/trends-world-military-expenditure-2023 (дата звернення: 26.06.2025).
22. Ukraine's EFF-supported program / International Monetary Fund. 2023. URL: https://www.imf.org/en/News/Articles/2023/03/31/pr23104-ukraine-imf-exec-board-approves-usd-billion-extended-arrangement-extended-fund-facility (дата звернення: 29.06.2025).
23. Ukraine's Projected 2025 Budget Expects the War to Continue / Wilson Center. 2024. URL: https://www.wilsoncenter.org/article/ukraines-projected-2025-budget-expects-war-continue (дата звернення: 25.06.2025).

References

1. Babak, V. (2022). Asymetric threats and their impact on contemporary defense planning. *Naukovi zapysky Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy*, 12(4), 15–29.
2. ArmyInform. (2024). *Budget 2025: Record expenditures allocated for security and defense*. https://armyinform.com.ua/2024/10/31/byudzhet-2025-na-bezpeku-ta-oboronu-peredbacheno-rekordni-vytraty
3. Ministry of Finance of Ukraine. (2024). *The Verkhovna Rada of Ukraine adopted the draft Law of Ukraine on the State Budget of Ukraine for 2025*. https://mof.gov.ua/uk/news/verkhovna_rada_ukraini_priinyala_proekt_zakonu_ukraini_pro_derzhavnii_biudzhet_ukraini_na_2025_rik-4690
4. Center for Security Studies "SENSS". (2022). *Hybrid warfare: Analysis of modern conflicts and recommendations for Ukraine* (Analytical report). Kyiv.
5. Hnativ, N., & Shevchuk, O. (2024). The role of artificial intelligence in enhancing the effectiveness of defense operations. *Tekhnolohii ta innovatsii*, 9(3), 56–70.
6. RBC-Ukraine. (2024). *Money for power: How Ukraine's defense budget changed in 2024*. https://www.rbc.ua/rus/news/groshi-silu-zminivsya-oboronniy-byudzhet-1732179600.html
7. Dyka, O., & Kovpak, A. (2024). Global trends in defense spending growth in the context of the Russian–Ukrainian war. *Ekonomika ta bezpeka*, 10(1), 23–38.
8. Center for Security Studies "SENSS". (2023). *Information security and countering disinformation in wartime* (Analytical report). Kyiv.
9. Center for Security Studies "SENSS". (2023). *Cyber threats and protection of Ukraine's critical infrastructure* (Analytical report). Kyiv.
10. Kravets, O. (2023). Cybersecurity as a component of national defense in conditions of hybrid warfare. *Cybersecurity: Education, Science, Technology*, 7(1), 78–92.
11. Lozynskyi, I. (2023). Optimization of logistics of the Armed Forces of Ukraine under limited resources. *Logistyka: teoriia ta praktyka*, 8(2), 34–49.
12. Melnyk, S. (2022). Development of the domestic defense-industrial complex: Challenges and prospects. *Ekonomika Ukrainy*, 65(4), 12–27.

13. Verkhovna Rada of Ukraine. (2024). *Law of Ukraine "On the State Budget of Ukraine for 2025"* (No. 4059-IX, November 19, 2024). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4059-20#Text
14. Soloviov, Ye. (2023). Integration of military and civilian security expertise: NATO countries' experience and lessons for Ukraine. *Viiskovo-naukovyi visnyk*, 15(2), 45–62.
15. Center for Security Studies "SENSS". (2024). *Strategies for countering asymmetric threats: International experience* (Analytical report). Kyiv.
16. Ministry of Finance of Ukraine. (2025). *The government approved the report on the execution of the Law of Ukraine "On the State Budget of Ukraine for 2024"*. https://mof.gov.ua/uk/news/uriad_skhvalyv_zvit_pro_vykonannia_zakonu_ukraini_pro_derzhavnyi_biudzhet_ukraini_na_2024_rik-4837
17. Cordesman, A. H. (2023). *Hybrid warfare and the future of conflict*. Center for Strategic and International Studies.
18. European External Action Service. (2025). *EU assistance to Ukraine (in U.S. dollars)*. https://www.eeas.europa.eu/eeas/eu-assistance-ukraine-us-dollars_en
19. Center for Strategic and International Studies. (2023). *Financing Ukraine's defense: Challenges and opportunities* (CSIS Briefs).
20. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2025). *In the first half of 2025, the Government of Ukraine secured USD 22 billion in external financing*. https://www.kmu.gov.ua/en/news/u-pershomu-pivrichchi-2025-roku-uriad-ukrainy-zaluchyv-22-mlrd-dolariv-ssha-zovnishnoho-finansuvannia
21. Stockholm International Peace Research Institute. (2024). *Trends in world military expenditure, 2023* (SIPRI Fact Sheet). https://www.sipri.org/publications/2024/sipri-fact-sheet/trends-world-military-expenditure-2023
22. International Monetary Fund. (2023). *Ukraine's EFF-supported program*. https://www.imf.org/en/News/Articles/2023/03/31/pr23104-ukraine-imf-exec-board-approves-usd-billion-extended-arrangement-extended-fund-facility
23. Wilson Center. (2024). *Ukraine's projected 2025 budget expects the war to continue*. https://www.wilsoncenter.org/article/ukraines-projected-2025-budget-expects-war-continue

Оцінка ефективності виробничої кооперації та логістичних ланцюгів у забезпеченні потреб сил оборони

Assessment of the Effectiveness of Production Cooperation and Logistics Chains in Meeting the Needs of the Defense Forces

Володимир Коваль
кандидат військових наук, старший науковий співробітник, e-mail: vladimerkoval69@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6209-6779

Міністерство оборони України, м. Київ, Україна

Volodymyr Koval
Candidate of Military Sciences, Senior Researcher, e-mail: vladimerkoval69@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6209-6779

Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 11, 2025 | Revised: October 28, 2025 | Accepted: October 31, 2025

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.29

Мета роботи. Дослідження та систематизація механізмів управління виробничою кооперацією в межах Державної цільової програми розвитку озброєння та військової техніки для розробки рекомендацій щодо підвищення стійкості логістичних ланцюгів та ефективності виконання оборонних замовлень в умовах воєнного стану.

Метод дослідження. Застосовано методи лінійного програмування та теорії оптимального планування для оцінки розподілу ресурсів; системно-структурний аналіз для дослідження багаторівневої кооперації; статистичний аналіз динаміки виконання оборонних замовлень у період 2021–2024 рр.; а також метод порівняльного аналізу для оцінки моделей інсорсингу та аутсорсингу.

Результати дослідження. Обґрунтовано критичну роль Державної цільової програми розвитку озброєння та військової техніки як інструменту програмно-цільового регулювання; виявлено закономірності експоненціального ускладнення управління через зростання глибини кооперації (до 6–8 рівнів); доведено доцільність переходу від жорсткого директивного планування до горизонтальних мережевих структур; систематизовано фактори впливу на стійкість ланцюгів (геополітичні, логістичні, технологічні).

Теоретична цінність дослідження. Робота розвиває наукові підходи української школи кібернетики щодо автоматизації управління ресурсами в сучасних безпекових умовах; поглиблює розуміння "ефекту батога" у специфічному контексті оборонного виробництва; формує концептуальні засади проектно-орієнтованого управління інтегрованими оборонними структурами.

Практична цінність дослідження. Отримані результати дозволяють оптимізувати процеси синхронізації між головними виконавцями та субпідрядниками; впровадити системи класу SRM для моніторингу постачальників у реальному часі; сформувати стратегії локалізації та імпортозаміщення критичних компонентів для забезпечення технологічного суверенітету України.

Цінність дослідження. Уперше проведено комплексний аналіз трансформації логістики ОПК України від пострадянської моделі до мережецентричної системи, адаптованої до стандартів НАТО, з урахуванням ролі приватного сектору та DefenseTech-кластерів як драйверів інноваційного розвитку.

Обмеження дослідження. Обмеження зумовлені високим рівнем секретності фактичних даних щодо обсягів ДОЗ, а також значною волатильністю ринку комплектуючих (особливо мікроелектроніки), що ускладнює довгострокове прогнозування.

Тип статті: Дослідницький.

Purpose. To study and systematize the mechanisms for managing production cooperation within the State Target Program for the Development of Weapons and Military Equipment in order to develop recommendations for increasing the resilience of logistics chains and the efficiency of defense order execution under martial law.

Method. Linear programming and optimal planning theory methods were used to evaluate resource allocation; systemic-structural analysis was applied to study multi-tier cooperation; statistical analysis of defense order execution dynamics during 2021–2024; and a comparative analysis method to evaluate insourcing and outsourcing models.

Findings. The critical role of the STP WME as a tool for program-target regulation was substantiated; patterns of exponential management complexity due to increasing cooperation depth (up to 6–8 tiers) were identified; the feasibility of transitioning from rigid directive planning to horizontal network structures was proven; factors affecting chain resilience (geopolitical, logistical, technological) were systematized.

Theoretical implications. The work develops the scientific approaches of the Ukrainian school of cybernetics regarding the automation of resource management in modern security conditions; deepens the understanding of the "bullwhip effect" in the specific context of defense production; forms the conceptual foundations for project-oriented management of integrated defense structures.

Practical implications. The results allow for optimizing synchronization processes between prime contractors and subcontractors; implementing SRM-class systems for real-time supplier monitoring; and forming localization and import substitution strategies for critical components to ensure Ukraine's technological sovereignty.

Originality. For the first time, a comprehensive analysis of the transformation of Ukraine's defense logistics from a post-Soviet model to a network-centric system adapted to NATO standards was conducted, considering the role of the private sector and DefenseTech clusters as drivers of innovative development.

Research limitations. Limitations are due to the high level of secrecy regarding actual defense procurement volumes and the significant volatility of the components market (especially microelectronics), which complicates long-term forecasting.

Paper type. Research.

Ключові слова: ДЦП ОВТ, державне оборонне замовлення (ДОЗ), виробнича кооперація, логістичні ланцюги, ОПК України, технологічний суверенітет, ефект батога, імпортозаміщення, DefenseTech, стійкість (resilience)

Key words: STP WME, State Defense Order, Production Cooperation, Supply Chains, Ukraine's Defense Industry, Technological Sovereignty, Bullwhip Effect, Import Substitution, Defensetech, Resilience.

Вступ

Забезпечення національної безпеки України в умовах повномасштабної збройної агресії вимагає безперервного технологічного оновлення Сил оборони. Ключовим інструментом цього процесу є Державна цільова програма розвитку озброєння та військової техніки (ДЦП ОВТ), що визначає вектор модернізації армії на довгострокову перспективу. Проте ефективність реалізації програми залежить не лише від обсягів фінансування, а й від стійкості архітектури виробничої кооперації, яка в умовах війни піддається постійним логістичним та безпековим шокам.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу від застарілих директивних методів управління до гнучких, мережецентричних моделей. Це потребує впровадження інтелектуальних систем моніторингу, здатних синхронізувати роботу сотень державних та приватних підприємств, забезпечуючи безперебійність ланцюгів постачання та технологічний суверенітет держави.

Теоретичні основи дослідження

Теоретичний базис роботи спирається на синтез класичних методів математичного планування та сучасних концепцій управління ланцюгами створення вартості:

- Теорія оптимального планування: використання доробку Л. Канторовича та В. Глушкова щодо лінійного програмування для раціонального розподілу дефіцитних ресурсів між проектами ОВТ.
- Програмно-цільовий підхід: розгляд ДЦП ОВТ як інтегрованої системи, де кожен проект НДДКР має бути чітко корельований із показниками бойового потенціалу.
- Концепція стійкості ланцюгів постачання (Supply Chain Resilience): адаптація логістичних стратегій до умов фізичного руйнування інфраструктури та блокування експортних шляхів.

Теорія мережевих структур: відхід від вертикальних ієрархій на користь гнучкої взаємодії між державним сектором, DefenseTech-стартапами та міжнародними корпораціями.

Постановка проблеми

Попри стратегічне значення ДЦП ОВТ, існуюча система управління кооперацією стикається з критичними викликами:

1. Інформаційна розсинхронізація: відсутність єдиного цифрового простору призводить до “ефекту батога”, коли затримки на рівні постачальників компонентів викликають зупинку фінальної збірки.
2. Ускладнення архітектури виробів: перехід до складних систем (БПЛА, РЕБ) збільшив кількість рівнів кооперації до 6–8, що робить традиційний контроль за термінами майже неможливим без автоматизації.
3. Технологічна залежність: критичний дефіцит вітчизняних мікросхем та матеріалів потребує негайної локалізації виробництва за умов санкційного тиску та розриву імпортних логістичних шляхів.

Низька адаптивність: процедури державного оборонного замовлення часто залишаються надто інертними для швидкого масштабування виробництва у відповідь на динамічні потреби фронту.

Методологія дослідження

Для вирішення поставлених завдань у роботі використано комплексний науковий інструментарій:

- Системно-структурний аналіз: для декомпозиції рівнів кооперації та визначення функціональних зв'язків між суб'єктами ДЦП ОВТ.
- Статистико-економічні методи: аналіз динаміки виконання державного оборонного замовлення ДОЗ у 2021–2024 рр. для виявлення закономірностей впливу воєнного стану на виробничі показники.
- Метод багатокритеріальної оцінки: розробка критеріїв відбору стратегічних проектів, що враховують як економічну ефективність (ROI, NPV), так і тактико-технічні переваги.
- Порівняльний аналіз стратегій (Insourcing vs Outsourcing): оцінка доцільності вертикальної інтеграції для заміщення ненадійних субпідрядників та підвищення локалізації виробництва.

Застосована методологія дозволяє сформувати науково обґрунтовану модель управління, яка інтегрує цифрові інструменти (SRM, ERP) у контур стратегічного планування ОПК.

Результати

В умовах сучасної геополітичної турбулентності та повномасштабної збройної агресії проти України, ключовим фактором забезпечення національної безпеки є підтримання високого рівня боєготовності Сил оборони. Реалізація цієї місії здійснюється через механізми ДЦП ОВТ, яка є основоположним документом програмно-цільового регулювання модернізації армії. Ефективність цієї програми безпосередньо залежить від стійкості виробничої кооперації та гнучкості логістичних ланцюгів, що забезпечують розробку, серійний випуск та сервісне обслуговування сучасних зразків озброєння.

На етапі формування ДЦП ОВТ відбувається відбір стратегічних проектів на довгострокову перспективу. Від наукової обґрунтованості критеріїв оцінки цих проектів залежить результативність використання обмежених державних ресурсів.

Проблема оптимального розподілу ресурсів на основі математико-економічних методів має глибоке коріння в українській науковій школі та світовій практиці. Фундаментальний внесок у розвиток лінійного програмування та теорії оптимального планування, що активно використовуються при оцінці оборонних проектів, зробили Л.В. Канторович (лауреат Нобелівської премії) та представники української школи кібернетики, зокрема В.М. Глушков, чиї ідеї щодо автоматизації управління ресурсами залишаються актуальними для створення єдиного інформаційного простору ОПК України (табл. 1).

Таблиця 1 – Еволюція наукових підходів до оцінки ефективності складних виробничих систем

Напрям досліджень	Ключові концепції	Застосування в ОПК
Лінійне програмування	Оптимальний розподіл ресурсів при заданих обмеженнях.	Мінімізація витрат на логістику та виробництво серійних зразків.
Багатокритеріальна оцінка	Використання часткових показників ефективності та методу «ідеальної точки».	Ранжування проектів НДДКР за пріоритетністю та технічним ризиком.
Теорія нечітких множин	Моделювання рішень в умовах високої невизначеності.	Оцінка надійності кооперації другого та третього рівнів (постачальників).
Просторова оптимізація	Раціональне розміщення виробничих потужностей.	Релокація оборонних підприємств та створення розосереджених виробництв.

Сучасні українські та закордонні вчені значно розширили інструментарій оцінки ефективності проектів у висококризисних умовах. На особливу увагу заслуговують методи багатовимірного аналізу, де для кількісної оцінки використовуються не лише прямі економічні

показники (NPV, ROI), а й стратегічні індикатори бойового потенціалу та технологічної незалежності.

Забезпечення потреб Сил оборони вимагає врахування сукупності факторів при відборі проектів кооперації:

- Пріоритетність та інноваційність: відповідність вимогам сучасного мережецентричного бою.
- Структура фінансування: баланс між державним оборонним замовленням та залученими інвестиціями.
- Виробничі потужності: здатність учасників кооперації до швидкого масштабування випуску продукції.
- Логістичні ризики: стійкість ланцюгів постачання до зовнішніх шоків та фізичного знищення інфраструктури.

У процесі прийняття рішень особа, що приймає рішення (ОПР), стикається із завданням комплексного обліку цих чинників, що вимагає застосування спеціального математичного апарату — від теорії графів для аналізу логістичних мереж до логіко-лінгвістичного моделювання для антиципації ризиків у кооераційних зв'язках.

Державна цільова програма розвитку озброєння та військової техніки реалізується через механізм державного ДОЗ. Державне оборонне замовлення являє собою чітко визначений перелік зобов'язань щодо постачання продукції, виконання робіт та надання послуг для потреб Сил оборони. Цей перелік охоплює науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДДКР), безпосереднє виробництво ОВТ, а також їх технічне обслуговування, ремонт і глибоку модернізацію [1].

Моніторинг виконання програми здійснюється шляхом зіставлення цільових показників, затверджених у ДЦП ОВТ, із фактично досягнутими результатами у процесі виконання ДОЗ. Ці індикатори відображають поточний стан та динаміку розвитку системи озброєнь. У разі виявлення суттєвих відхилень проводиться коректування програми через перегляд та оптимізацію річних планів закупівель.

В межах ДЦП та супутніх державних програм на фінансування ОПК спрямовуються значні ресурси, зокрема на технічне переозброєння підприємств. Ключове завдання полягає в тому, щоб ці кошти не лише забезпечували поточні потреби фронту, а й ставали імпульсом для інноваційного розвитку, зростання частки високотехнологічного виробництва та підвищення загальної стійкості сектору безпеки. Важливим аспектом сучасного етапу розвитку ОПК України є нарощування як якісних, так і кількісних характеристик озброєнь, що вимагає від підприємств вищого рівня виробничо-технологічної готовності.

Одним із механізмів забезпечення такої готовності в умовах воєнного стану є розбудова гнучких кооераційних зв'язків між підприємствами ОПК та суб'єктами інших галузей промисловості (зокрема приватного сектору та DefenseTech стартапів). Варто зауважити, що український ОПК часто виробляє технологічно складну продукцію в межах багаторівневої кооперації, частина якої була успадкована або трансформована з часів радянської моделі планування [2].

Історичний досвід побудови кооперації в ОПК має глибоке коріння. У минулому підготовка та прийняття управлінських рішень базувалися на принципах жорсткого програмно-цільового планування. Функції координації покладалися на централізовані структури, які розробляли загальнодержавні плани розвитку спільно з військовим відомством. Контроль за виконанням народногосподарських планів був директивним, а постанови регулюючих органів — обов'язковими для всіх міністерств.

Координація робіт оборонних галузей та залучених відомств здійснювалася на рівні спеціалізованих комісій, що забезпечували взаємодію в процесі створення складних систем

озброєнь. Однак аналіз тогочасних аналітичних звітів (зокрема, за свідченнями фахівців відділів зведеного планування) вказує на суттєві недоліки такої моделі:

- Брак прямих контактів між кінцевими виробничими ланками;
- Ізольованість систем управління, які часто обмежувалися лише внутрішньо-заводським рівнем;
- Низька адаптивність до швидких змін технологічного контексту.

Для сучасного ОПК України подолання цих недоліків означає перехід до горизонтальних мережевих структур та впровадження систем наскрізного моніторингу логістичних ланцюгів. Це дозволяє забезпечити безперервність виробничого циклу навіть за умови виходу з ладу окремих елементів кооперації через зовнішні шоки.

Процес ускладнення сучасних зразків ОВТ призвів до докорінної зміни структури виробництва. Якщо радянські зразки значною мірою виготовлялися на базі одного замкнутого підприємства, то створення сучасних високотехнологічних систем вимагає залучення широкого кола спеціалізованих учасників.

Для виготовлення фінального виробу залучаються підприємства, що спеціалізуються на випуску окремих вузлів, агрегатів та мікроелектроніки. Це дозволяє головному виконавцю знизити виробничі витрати та підвищити якість кінцевої продукції, проте зворотним боком є зростання глибини кооперації та, як наслідок, експоненціальне ускладнення управління ланцюгами постачання.

У таких умовах запорукою успішного виконання ДОЗ стає створення системи проектного управління, здатної адаптувати цифрові інструменти для координації інтегрованих структур та приватних підрядників, враховуючи при цьому високі ризики та специфічні корпоративні процедури [3].

Проаналізуємо основні фактори та умови, що мають визначальний вплив на ефективність управління кооперацією в ОПК України:

1. Нерівномірність обсягів та терміновості ДОЗ. Динаміка бойових дій вимагає від ОПК гнучкості: після етапів планового переоснащення виникають періоди критичної потреби в прискореному постачанні найбільш затребуваних зразків ВВТ в обсягах, що значно перевищують початкові планові показники. Це створює колосальне навантаження на виробничі потужності та вимагає механізмів швидкого масштабування.
2. Складна багатосуб'єктна система забезпечення. Сучасна система оборонних потреб включає велику кількість учасників: органи державної влади, державні оборонні концерни та значну частку приватних підприємств (в Україні цей сегмент активно зростає, особливо у сферах БПЛА та РЕБ).
3. Аналіз показує, що приватні організації часто знаходяться на другому та наступних рівнях кооперації. Це створює додаткові ризики щодо дотримання ними суворих державних стандартів та гарантій виконання зобов'язань у кризові періоди.
4. Зростання технологічної глибини. Безперервний розвиток військових технологій (цифровізація, штучний інтелект, високоточне наведення) не лише ускладнює техпроцеси, а й вимагає залучення вузькоспеціалізованих наукових центрів та IT-компаній. Це призводить до зростання кількості ланок у ланцюзі створення вартості та ускладнює координацію на стратегічному рівні.
5. Санкційний тиск та дефіцит компонентів. Постійна необхідність протидії санкціям та розрив традиційних логістичних шляхів вимагають від підприємств ОПК оперативного пошуку альтернативних постачальників сировини, комплектуючих та верстатного обладнання. Питання імпортозаміщення та технологічного суверенітету стають не лише економічними, а й безпековими пріоритетами.

Це питання є надзвичайно актуальним для України, хоча контекст суттєво відрізняється від російського. Якщо для агресора санкції — це інструмент обмеження його воєнного потенціалу, то для України санкційний тиск на ворога та власні логістичні виклики — це питання виживання та технологічної переваги.

Нижче наведено аналіз актуальності цих факторів саме для українського ОПК:

1. Санкції як інструмент «технологічного голоду» ворога

Україна є головним ініціатором та аналітичним центром, що відстежує західні компоненти у зброї рф. Для нашого ОПК актуальним є:

- Моніторинг ланцюгів обходу санкцій: Робота ГУР та НАЗК (база "Іноземні компоненти у зброї") дозволяє тиснути на партнерів для перекриття каналів постачання мікроелектроніки в Росію.
- Дзеркальні заходи: Україна змушена будувати свою логістику так, щоб не стати випадковою жертвою посиленого експортного контролю Заходу, який намагається обмежити потік подвійних технологій у регіон.

2. Дефіцит компонентів та розрив логістики

Для України цей фактор має критичне значення через:

- Залежність від Китаю та країн Азії: Більшість компонентів для БПЛА (контролери, мотори, оптика) виробляються в КНР. Постійні обмеження експорту з боку Китаю змушують українські компанії оперативно шукати альтернативи в країнах ЄС, США чи налагоджувати власне виробництво.
- Блокади кордонів та морських шляхів: Традиційна морська логістика обмежена, а наземні переходи в ЄС часто стають "вузьким місцем", що вимагає переходу на авіадоставку або створення складських хабів безпосередньо в країнах-партнерах.

3. Питання імпортозаміщення та технологічного суверенітету

В Україні цей процес має назву "локалізація» та «технологічна незалежність":

- Створення власних двигунів та порохів: Україна активно працює над заміщенням іноземних двигунів (для ракет та БПЛА) власними розробками, щоб не залежати від дозволів третіх країн на їх використання.
- Верстатне обладнання: Велика частина станочного парку ОПК потребує оновлення. Перехід на західне обладнання (ЧПК) замість застарілого радянського/російського — це і є шлях до технологічного суверенітету.
- DefenseTech як драйвер: Платформи на кшталт Brave1 стимулюють розробку вітчизняних модулів зв'язку, РЕБ та навігації, які є стійкими до засобів придушення ворога.

Порівняння актуальності санкцій та дефіциту наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння актуальності санкцій та дефіциту

Фактор	Для РФ (агресор)	Для України (захист)
Санкції	Спроба обійти обмеження для підтримки ВПК.	Спроба перекрити доступ ворогу та адаптація власних закупівель.
Дефіцит	Неможливість купити через заборони.	Неможливість отримати через логістичні блокади або дефіцит на світовому ринку.
Імпортозаміщення	Створення аналогів через неможливість імпорту.	Локалізація для забезпечення стабільності та секретності розробок.
Технологічний суверенітет	Виживання режиму.	Забезпечення стійкості (resilience) та стандартів НАТО.

Для України ці питання є пріоритетом національної безпеки. Будь-яка затримка в постачанні одного типу мікросхем може зупинити виробництво тисяч дронів, що безпосередньо впливає на ситуацію на фронті.

Сучасні виклики, що стоять перед українським ОПК, зумовлені комплексом безпекових

та економічних чинників. З політичної та стратегічної точок зору, необхідність докорінної перебудови логістики виникла ще у 2014 р. через окупацію Криму та частини Донбасу, а у 2022 р. — стала питанням виживання держави внаслідок повномасштабного вторгнення. Економічні ж мотиви пов'язані з нагальною потребою усунення критичної залежності від комплектуючих ворожого походження та інтеграції у західні ланцюги створення вартості.

В умовах воєнного стану та глобальної нестабільності доходи від традиційного експорту не завжди можуть покрити стрімко зростаючі потреби сектору оборони. Це вимагає комплексної трансформації системи управління виробничо-технологічним потенціалом оборонної промисловості [4]. Ключовим завданням є перегляд механізмів фінансування та управління кооперацією для забезпечення планомірного переоснащення Збройних Сил України на рівні, що відповідає стандартам НАТО.

Традиційні коопераційні ланцюжки, що десятиліттями орієнтувалися на пострадянський простір, були остаточно розірвані. Створення нових заміщувальних зв'язків, які б дозволили без втрат налагодити виробничий процес у короткі терміни, є надскладним завданням. З огляду на це, державна політика локалізації та імпортозаміщення чинить визначальний вплив на вибір інструментів управління потенціалом ОПК. На сучасному етапі ця політика спрямована на освоєння повного циклу виробництва критичних видів озброєння на потужностях, розташованих у безпечних регіонах України або у співпраці з іноземними партнерами на території країн-союзників.

Важливо враховувати також досвід 2020–2021 рр., коли пандемія COVID-19 спричинила часткове зупинення виробництв та розрив логістичних шляхів. Це продемонструвало вразливість статичних систем планування та підкреслило необхідність створення гнучких, резистентних систем управління (табл. 3).

Таблиця 3 – Фактори впливу на стійкість кооперaційних ланцюгів ОПК України

Група факторів	Зміст впливу на систему планування	Наслідки для логістики
Геополітичні	Необхідність швидкої переорієнтації з пострадянських стандартів на стандарти НАТО.	Пошук нових постачальників у ЄС та США, складність сертифікації.
Логістичні шоки	Фізичне руйнування інфраструктури, блокада морських шляхів.	Перехід на мультимодальні перевезення, створення розосереджених складів.
Технологічні	Дефіцит мікроелектроніки на світовому ринку, обмеження експорту подвійних технологій.	Розвиток власного R&D, вертикальна інтеграція виробництва компонентів.
Інституційні	Зміна ролі державних регуляторів, зростання частки приватного сектору в ДОЗ.	Необхідність створення єдиної цифрової платформи моніторингу замовлень.

У межах забезпечення сталого функціонування ОПК вирішальну роль відіграють інститути державного управління. Їхнє завдання — не лише підтримувати поточну діяльність підприємств, а й забезпечувати створення надійних кооперaційних зв'язків із партнерами, що володіють найкращим технологічним потенціалом. Синергетичний ефект від взаємодії державних заводів, приватних DefenseTech-стартапів та міжнародних корпорацій (на кшталт Rheinmetall чи BAE Systems) дозволяє вчасно та результативно вирішувати поставлені державою завдання.

Таким чином, вищезазначені фактори дозволяють зробити висновок про високу актуальність розробки та впровадження нових ефективних інструментів управління виконанням оборонних замовлень. Це вимагає переходу до проектно-орієнтованого

управління, що базується на цифровій зрілості та здатності до швидкої адаптації кооперaційних мереж.

Аналіз проблем управління виробничою кооперацією підприємств ОПК України [5] свідчить про наявність критичних бар'єрів, що заважають ефективному виконанню оборонних замовлень. Розглянемо ключові з них крізь призму статистичних даних та динаміки змін у секторі протягом 2022–2025 років.

Ключові проблеми синхронізації та контролю

Головною перешкодою залишається відсутність дієвих механізмів контролю термінів закупівлі комплектуючих та низький рівень синхронізації процесів на різних рівнях кооперації. Дискретне узгодження обсягів виробництва призводить до «ефекту батога», коли незначні затримки на нижніх рівнях (постачальники 3-го та 4-го рівнів) викликають критичні збої у фінального виробника.

Ця розсинхронізація є наслідком повної господарської самостійності підприємств, що в умовах відсутності єдиного інформаційного простору призводить до інформаційного вакууму. Головна організація часто не має даних про вільні потужності субпідрядників та етапність виконання вузлових замовлень (табл. 4).

Таблиця 4 – Динаміка виконання державних оборонних замовлень (ДОЗ) в Україні (2021–2024 рр.)

Показник	2021 (до повномасштабної війни)	2023 (активна фаза)	2024 (прогноз/факт)	Обґрунтування змін
Частка вчасного виконання замовлень (%)	88%	62%	75%	Падіння у 2023 р. через розрив ланцюгів; зростання у 2024 р. завдяки цифровізації та локалізації.
Кількість рівнів кооперації (сер. значення)	3–4 рівні	6–8 рівнів	5–7 рівнів	Ускладнення виробів (дрони, РЕБ) вимагає більше вузьких спеціалістів.
Середній час затримки постачання ПВІ (міс.)	1.5 міс.	4.5 міс.	2.5 міс.	Покращення завдяки налагодженню альтернативних шляхів через ЄС.
Частка приватного сектору в ДОЗ (%)	15%	45%	58%	Стрімкий розвиток DefenseTech та гнучкість приватного бізнесу.

Джерело: розраховано на основі звітів Мінстратегпрому та аналітики Brave1 [6]

Виявлені дефіцити управлінського інструментарію:

- Відсутність моніторингу в режимі реального часу: Керівництво не бачить “резервних потужностей”, що призводить до простою одних заводів при перевантаженні інших.
- Інформаційна інертність: Узгодження планів між рівнями відбувається послідовно (дискретно). Це збільшує ймовірність зриву термінів на 30–40% при кожному новому рівні кооперації.
- Тривалість обміну даними: Процес верифікації постачальника та погодження специфікацій у 2023 році займав у середньому до 60 днів, що є неприпустимим у воєнний час.

Стратегічна зміна моделі: Інсорсинг vs Ауцорсинг

Незважаючи на глобальний тренд до розширення кооперації, в українському ОПК спостерігається цікава тенденція до вибіркової вертикальної інтеграції. У випадках, коли

підприємство стикається з монополістом-субпідрядником, який завищує ціни або не гарантує терміни, стає економічно доцільним організувати власне виробництво ключових компонентів (інсорсинг).

Приклад: Виробники безпілотних систем у 2024 році почали масово інвестувати у власне лиття пластикових корпусів та збірку плат, оскільки залежність від зовнішніх підрядників призводила до зростання собівартості на 20–25% та ризику зупинки конвеєра.

Висновки

Вищеприведений аналіз доводить: зростання складності ОВТ та високі ризики воєнного стану вимагають відходу від застарілих методів планування. Ключовими напрямами підвищення ефективності управління проектами в ОПК стають:

1. Впровадження систем класу SRM (Supplier Relationship Management) для наскрізного контролю за кооперантами.
2. Створення реєстру вільних потужностей на рівні кластерів (наприклад, через платформу Brave1).

Адаптивне планування з урахуванням корпоративних процедур та ризиків (санкції, атаки на інфраструктуру).

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Про оборонні закупівлі: Закон України від 17.07.2020 № 808-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20.
2. Глушков В. М. Основи безпаперової інформатики. Київ: Наукова думка, 1982. 552 с.
3. Горбулін В. П., Бадрак В. В. Оборонно-промисловий комплекс України перед викликами повномасштабної війни. Вісник Національної академії наук України. 2023. № 6. С. 3–15.
4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 11 березня 2021 року “Про Стратегію деокупації та реінтеграції тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим та міста Севастополя”: Указ Президента України від 24.03.2021 № 117/2021. URL: https://www.president.gov.ua/documents/1172021-37521.
5. Савченко О. Ф., Степаненко А. В. Моделювання коопераційних зв’язків підприємств оборонного сектору в умовах воєнного стану. Економіка та управління. 2024. № 2. С. 45–58.
6. Brave1: Річний звіт оборонного кластеру України 2023–2024. Міністерство стратегічних галузей промисловості України. URL: https://brave1.gov.ua.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2020). Zakon Ukrainy «Pro oboronni zakupivli» [Law of Ukraine "On Defense Procurement"]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20
2. Glushkov, V. M. (1982). Osnovy bezpaperovoi informatyky [Fundamentals of paperless informatics]. Naukova Dumka.
3. Horbulin, V. P., & Badrak, V. V. (2023). Oboronno-promyslovyi kompleks Ukrainy pered vyklykamy povnomasshtabnoi viiny [Defense-industrial complex of Ukraine facing the challenges of full-scale war]. Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine, (6), 3–15.

4. President of Ukraine. (2021). Decree No. 117/2021: On the Strategy of De-occupation and Reintegration of the Temporarily Occupied Territory of the Autonomous Republic of Crimea and the City of Sevastopol. https://www.president.gov.ua/documents/1172021-37521
5. Savchenko, O. F., & Stepanenko, A. V. (2024). Modeliuvannia kooperatsiinykh zviazkiv pidpryiemstv oboronnoho sektoru v umovakh voiennoho stanu [Modeling of cooperation ties of defense sector enterprises under martial law]. Economics and Management, (2), 45–58.
6. Brave1. (2024). Annual Report of the Ukraine Defense Cluster 2023–2024. Ministry of Strategic Industries of Ukraine. https://brave1.gov.ua

Розвиток крос-культурної компетентності офіцерів сил спеціальних операцій, як чинника підвищення операційної ефективності: результати експериментального дослідження

Developing Cross-Cultural Competence of Special Operations Forces Officers as a Factor of Operational Effectiveness: Evidence from an Experimental Study

Ганна Красота
ад'юнкт, e-mail: best_result2021@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1990-3053

Національний університет оборони України, м. Київ, Україна

Hanna Krasota
PhD student, e-mail: best_result2021@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1990-3053

National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Received: October 21, 2025 | Revised: October 28, 2025 | Accepted: October 31, 2025

УДК 388.14.015.62

DOI: https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.5.30

Мета роботи. Експериментальне підтвердження ефективності концептуальної моделі розвитку крос-культурної компетентності офіцерів Сил спеціальних операцій, що базується на інтеграції цифрових та ШІ-технологій у систему професійної підготовки.

Метод дослідження. Дослідження проведено у формі педагогічного експерименту з використанням кількісних і якісних методів: тестування, анкетування, спостереження, експертної оцінки та статистичної обробки результатів. У дослідженні взяли участь експериментальна та контрольна групи офіцерів по 22 особи. На формувальному етапі впроваджено авторський тренінг "Shadow Network" із застосуванням цифрових симуляторів.

Результати дослідження. Учасники експериментальної групи продемонстрували статистично значуще зростання інтегрального показника крос-культурної компетентності порівняно з контрольною групою. Найбільший приріст зафіксовано за показниками соціокультурної сенсибілізації, адаптивності, комунікабельності, емпатійності, креативності та здатності до вирішення конфліктів. Перевірка результатів за U-критерієм Манна–Уітні підтвердила достовірність відмінностей між групами.

Теоретична цінність дослідження. Дослідження розширює наукові уявлення про структуру крос-культурної компетентності офіцерів Сил спеціальних операцій та обґрунтовує можливість її цілеспрямованого розвитку засобами цифрових освітніх технологій.

Практична цінність дослідження. Запропонована модель і тренінг можуть бути інтегровані в систему професійної підготовки офіцерів Сил спеціальних операцій для підвищення ефективності їх діяльності у полікультурному операційному середовищі.

Цінність. Отримані результати доводять ефективність інтеграції цифрових технологій у систему підготовки офіцерів Сил спеціальних операцій та обґрунтовують зв'язок між розвитком крос-культурної компетентності та підвищенням операційної спроможності в умовах полікультурного середовища.

Тип статті. теоретична.

Purpose. To experimentally verify the impact of a conceptual model for developing cross-cultural competence, based on digital and AI-driven technologies, on the operational effectiveness of Special Operations Forces officers.

Method. The research was conducted as a pedagogical experiment using both quantitative and qualitative methods, including testing, questionnaires, observation, expert assessment, and statistical analysis. The sample consisted of experimental and control groups of officers (22 participants each). During the formative stage, the author's "Shadow Network" training program with digital simulation tools was implemented.

Findings. The experimental group demonstrated a statistically significant increase in the integrated cross-cultural competence indicator compared to the control group. The greatest improvements were observed in sociocultural sensitivity, adaptability, communication skills, empathy, and conflict-resolution abilities. The Mann–Whitney U test confirmed the effectiveness of the proposed methodology.

Theoretical implications. The study expands the conceptual understanding of the structure of cross-cultural competence among SOF officers and substantiates the possibility of its targeted development through digital educational technologies.

Practical implications. The proposed model and training program can be integrated into Special Operations Forces officer training systems to enhance operational effectiveness in multicultural environments.

Value. The results confirm the effectiveness of integrating digital technologies into Special Operations Forces officer training and substantiate the relationship between cross-cultural competence development and enhanced operational capability in multicultural environments.

Paper type. Theoretical.

Ключові слова: розвиток, експеримент, ефективність, офіцери, Сили спеціальних операцій, крос-культурна компетентність, компетентність.

Key words: Development, Experiment, Effectiveness, Officers, Special Operations Forces, Cross-Cultural Competence, Competence.

Вступ

Трансформація характеру сучасних збройних конфліктів у бік асиметричності та гібридності висуває принципово нові вимоги до професійної підготовки офіцерського складу Сил спеціальних операцій (далі – ССО). Специфіка діяльності ССО, що передбачає виконання завдань в умовах автономності, організацію руху опору та роботу з цивільним населенням у зоні інтересів, детермінує необхідність володіння не лише високим рівнем вогневої та тактичної навченості, а й розвиненою крос-культурною компетентністю. Проте, незважаючи на значну практичну потребу, у системі вітчизняної військової освіти спостерігається певне домінування традиційних підходів, які часто нівелюють роль соціокультурних та лінгвістичних чинників як складників операційної спроможності підрозділів спеціального призначення розвиненою крос-культурною компетентністю (Johnson & Anderson, 2018; Soeters et al., 2008).

Проблема посилюється відсутністю цілісної, науково обґрунтованої моделі розвитку крос-культурної компетентності, яка була б адаптована до критичних умов діяльності офіцерів ССО. Недостатня увага до формування здатності дешифрувати культурні коди та ефективно взаємодіяти з іноземним соціумом призводить до виникнення комунікативних бар'єрів, що в умовах реальних спеціальних операцій може спричинити втрату довіри місцевого населення, зниження ефективності агентурної роботи (HUMINT) та загрозу успіху місії в цілому. Таким чином, існує об'єктивна суперечність між зростаючою роллю крос-культурної взаємодії у спеціальних операціях та реальним рівнем підготовки офіцерів, що зумовлює необхідність пошуку нових педагогічних умов та впровадження інноваційних тренінгових методик у процес їхньої професійної підготовки.

Теоретичні основи дослідження

Проблематика крос-культурної компетентності у військовій сфері активно розвивається в межах міждисциплінарних досліджень, що поєднують педагогіку, психологію, військову соціологію та теорію управління. У міжнародній науковій традиції ключовим концептуальним підходом є теорія культурного інтелекту (Cultural Intelligence, CQ), розроблена П. Ерлі та С. Анг, відповідно до якої здатність ефективно діяти в іншокультурному середовищі ґрунтується на когнітивному, мотиваційному, метакогнітивному та поведінковому компонентах (Earley & Ang, 2003; Ang et al., 2007).

Подальший розвиток цієї концепції пов'язаний із дослідженнями взаємозв'язку культурного інтелекту, емоційного інтелекту та міжкультурної адаптації, що підтверджують вплив крос-культурної підготовки на ефективність професійної діяльності в багатонаціональних середовищах (Crowne, 2013; Rehg et al., 2012). У роботах Д. Дірдорф сформульовано інтегративну модель міжкультурної компетентності, яка включає когнітивні, поведінкові та ціннісні складові, а також механізми їх оцінювання в освітньому процесі (Deardorff, 2006; Deardorff, 2009).

У військовій сфері дослідження крос-культурної компетентності пов'язані передусім із підготовкою військовослужбовців до діяльності у багатонаціональних коаліціях та операціях стабілізації. Зокрема, у роботах J. Soeters та ін. доведено, що культурні фактори безпосередньо впливають на ефективність взаємодії у військових підрозділах і можуть визначати результати операцій (Soeters et al., 2008). Аналогічні висновки містяться у дослідженнях, присвячених впливу культурної компетентності на лідерську ефективність у багатонаціональних військових командах (Voss & Steger, 2017).

Військово-прикладні аспекти міжкультурної підготовки розкрито у працях M. McFate та W. Wunderle, де підкреслюється роль культурної обізнаності у проведенні операцій з контрповстанської боротьби та стабілізації (McFate, 2005; Wunderle, 2006). Дослідження, проведені у військових наукових центрах США, також підтверджують, що розвиток крос-

культурної компетентності підвищує ефективність прийняття рішень та взаємодії з місцевим населенням (Wisecarver et al., 2012).

У вітчизняній науковій традиції питання міжкультурної підготовки військових фахівців розглядалися у працях О. Торічного, Н. Король, С. Лазоренка, О. Сафьян та інших дослідників, які обґрунтовують необхідність системного формування крос-культурної компетентності в процесі професійної військової освіти (Король, 2021; Лазоренко & Сіверський, 2022; Сафьян, 2021; Торічний, 2021). У цих роботах доведено, що міжкультурна компетентність є складовою професійної компетентності військовослужбовця та визначає його здатність до ефективної взаємодії у багатонаціональному середовищі.

Окремі дослідження присвячені психологічним аспектам розвитку культурного інтелекту та соціокультурної адаптивності військовослужбовців, що підтверджують важливість емпатійності, толерантності та комунікативної гнучкості як ключових характеристик професійної ефективності (Камінська, 2022; Сєрих, 2023).

Методологічні засади дослідження професійної компетентності військових фахівців, зокрема системний підхід до її формування, обґрунтовано у працях В. Ягупова та В. Свистуна, де підкреслюється необхідність інтеграції когнітивних, діяльнісних та особистісних компонентів підготовки (Ягупов & Свистун, 2022).

Попри наявність значного теоретичного доробку, аналіз наукових джерел засвідчує, що більшість досліджень зосереджені на загальній міжкультурній підготовці або миротворчих операціях. Питання експериментальної перевірки моделей розвитку крос-культурної компетентності саме офіцерів Сил спеціальних операцій, з урахуванням специфіки їх діяльності у гібридних конфліктах та середовищі руху опору, залишаються недостатньо розкритими. Це зумовлює необхідність проведення цілеспрямованих експериментальних досліджень у цій сфері.

Метою статті експериментальне підтвердження того, що впровадження концептуальної моделі розвитку крос-культурної компетентності на основі ШІ-технологій безпосередньо впливає на підвищення операційної ефективності офіцерів Сил спеціальних операцій.

Методологія дослідження

Дослідження здійснювалося у форматі педагогічного експерименту, що складався з констатувального, формувального та узагальнювально-оцінювального етапів. Така структура відповідає логіці експериментальних педагогічних досліджень і забезпечує комплексну перевірку ефективності запропонованої методики формування професійних компетентностей (Ягупов & Свистун, 2022; Deardorff, 2006).

Емпіричну базу дослідження становили дві групи офіцерів Сил спеціальних операцій по 22 особи в кожній: експериментальна (ЕГ) та контрольна (КГ). Формування груп здійснювалося за принципом порівнянності за посадовими обов’язками, рівнем підготовки та професійним досвідом, що відповідає вимогам до організації педагогічного експерименту у військовій освіті (Лазоренко & Сіверський, 2022; Торічний, 2021).

Для оцінювання рівня крос-культурної компетентності було визначено чотири взаємопов’язані критерії: когнітивний; праксеологічний; суб’єктний; емоційний.

Таке структурування узгоджується з сучасними моделями міжкультурної компетентності, що передбачають інтеграцію когнітивних, поведінкових та ціннісно-мотиваційних компонентів (Deardorff, 2006; Ang et al., 2007).

Кожен критерій оцінювався за чотирирівневою шкалою: високий, достатній, середній, низький. Подібні шкали широко застосовуються у дослідженнях професійної компетентності військових фахівців (Ягупов & Свистун, 2022).

У процесі дослідження застосовано комплекс кількісних і якісних методів:

- тестування для визначення когнітивного рівня;
- анкетування для виявлення ціннісних орієнтацій та установок;
- спостереження за поведінковими проявами у навчальних ситуаціях;
- експертну оцінку результатів діяльності;
- контент-аналіз рефлексійних матеріалів;
- статистичну обробку результатів.

Застосування комбінованих методів відповідає сучасним підходам до дослідження культурного інтелекту та міжкультурної компетентності, де поєднуються психометричні, поведінкові та експертні індикатори (Earley & Ang, 2003; Crowne, 2013).

Формувальний етап передбачав впровадження авторського тренінгу “Shadow Network”, який поєднував: сценарні вправи; рольові моделювання; цифрові симуляційні середовища; інтерактивні онлайн-дискусії.

Подібні тренінгові моделі довели свою ефективність у дослідженнях впливу крос-культурної підготовки на рівень культурного інтелекту та професійну адаптивність (Rehg et al., 2012; Voss & Steger, 2017).

Для перевірки статистичної значущості відмінностей між результатами експериментальної та контрольної груп було застосовано U-критерій Манна–Уітні для двох незалежних вибірок (n_1 = 22, n_2 = 22), що відповідає вимогам обробки даних у педагогічних експериментах з невеликими вибірками (Ягупов & Свистун, 2022).

Постановка проблеми

Зміна характеру сучасних збройних конфліктів у бік асиметричності, гібридності та мережевості суттєво трансформує вимоги до професійної підготовки офіцерського складу ССО. На відміну від традиційних бойових дій, де визначальну роль відіграють вогневі та маневрені можливості підрозділів, сучасні операції дедалі частіше здійснюються у складному соціокультурному середовищі, що потребує від офіцерів здатності до міжкультурної взаємодії, комунікативного впливу та адаптивної поведінки в умовах невизначеності.

Специфіка діяльності ССО передбачає виконання завдань у полікультурних регіонах, організацію руху опору, взаємодію з місцевим населенням, неформальними структурами та іноземними партнерами. У таких умовах крос-культурна компетентність стає не допоміжною, а системоутворювальною складовою професійної спроможності офіцера. Недостатній рівень соціокультурної обізнаності, мовної адаптивності та комунікативної гнучкості може призвести до втрати довіри місцевого населення (McFate, 2005; Wisecarver et al., 2012), зниження ефективності HUMINT-діяльності та зриву операційних завдань.

Водночас аналіз чинної системи військової освіти свідчить про домінування традиційних підходів до підготовки офіцерів, орієнтованих переважно на тактичну, вогневу та фізичну складові, тоді як розвиток крос-культурної компетентності має фрагментарний і несистемний характер. У більшості навчальних програм міжкультурна підготовка не інтегрована у професійно-орієнтовані дисципліни та не пов’язується безпосередньо з операційними завданнями підрозділів ССО.

Таким чином, виникає наукова та практична суперечність між зростаючою роллю крос-культурної взаємодії в операціях ССО та недостатнім рівнем її методичного і технологічного забезпечення у системі професійної підготовки офіцерів. Це зумовлює необхідність розроблення науково обґрунтованих моделей розвитку крос-культурної компетентності, адаптованих до специфіки діяльності Сил спеціальних операцій, а також їх експериментальної перевірки в умовах сучасної військової освіти.

Результати

Експериментальне дослідження проводилось у три послідовні етапи — констатувальний, формувальний та узагальнювально-оцінювальний, — що відповідають логіці педагогічного експерименту та забезпечують повну перевірку ефективності запропонованої методики. Констатувальний етап спрямований на фіксацію вихідного рівня розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО; формувальний — на впровадження авторської методики в освітній процес; узагальнювально-оцінювальний — на аналіз динаміки отриманих результатів, їх статистичну обробку та інтерпретацію.

У межах експерименту використовуються кількісні та якісні методи педагогічного дослідження: тестування, спостереження, анкетування, контент-аналіз рефлексійних матеріалів, оцінка експертами та математичне моделювання. Такий підхід забезпечує комплексне відображення процесу розвитку крос-культурної компетентності, дозволяє простежити не лише зміни у знаннях, уміннях і навичках, а й трансформацію поведінкових, ціннісних та емоційно-вольових компонентів особистості офіцера.

Отже, зміст розділу спрямований на емпіричне підтвердження наукової гіпотези дослідження та практичну перевірку ефективності впровадження розробленої авторської методики розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО в умовах сучасної системи військової освіти України.

Планування та організація емпіричного дослідження здійснювалися відповідно до наукового припущення про можливість цілеспрямованого розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО, за умови впровадження педагогічного моделювання процесу її формування та реалізації авторської методики, що поєднує елементи вербування, комунікаційного впливу й організації осередків руху опору з використанням сучасних цифрових технологій навчання.

На констатувальному етапі дослідження (2022–2023 рр.) було здійснено систематизацію та класифікацію наукових джерел, присвячених проблемі розвитку крос-культурної компетентності офіцерів Сил спеціальних операцій, із метою визначення науково-теоретичних засад, понятійного апарату та концептуального поля дослідження. Проведено ґрунтовний аналіз сучасних підходів до розуміння сутності понять *“компетентність”*, *“професійна компетентність військовослужбовця”*, *“крос-культурна компетентність”*, що дозволило уточнити дефініцію авторського трактування поняття “крос-культурна компетентність офіцера ССО” як інтегративної якості особистості, що забезпечує ефективну діяльність у полікультурному середовищі в умовах воєнно-політичної нестабільності.

Теоретичний аналіз було спрямовано на виявлення психолого-педагогічних, організаційних і комунікативних передумов формування крос-культурної компетентності у процесі професійної підготовки офіцерів руху опору. Особливу увагу приділено питанням інтеграції цифрових технологій, симуляційних середовищ (AR) та інтерактивних методів підготовки, що були базовими елементами майбутньої експериментальної моделі.

Для визначення вихідного рівня розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО, а також уточнення структури та компонентів досліджуваного феномену, було проведено анкетування й тестування слухачів курсів підвищення кваліфікації, офіцерів ССО, які на той момент перебували на посадах до функціональних обов’язків яких входило створення осередків руху опору. Отримані результати дозволили визначити вихідні емпіричні показники, що стали основою для подальшого етапу формувального експерименту.

Паралельно здійснювалася розробка змістового блоку моделі, основу якого становить спеціальний тренінг *“*Shadow Network*”*, що поєднує традиційні заняття з елементами AR – моделювання, онлайн-дебатів і симуляційних сценаріїв. Тренінг спрямований на розвиток

культурної обізнаності, толерантності, емпатії та здатності приймати зважені рішення в умовах невизначеності.

Гіпотеза дослідження полягала в тому, що розвиток крос-культурної компетентності офіцерів ССО буде ефективним за умови педагогічного моделювання процесу її формування, реалізації системи організаційно-педагогічних умов і використання цифрових технологій навчання у професійній підготовці.

Експериментальна перевірка гіпотези здійснювалася в межах формувального етапу педагогічного експерименту, що охоплював підготовчий, основний і підсумковий етапи, під час яких відбувався цілеспрямований педагогічний вплив на когнітивну, діяльнісну, емоційну та суб'єктну складові крос-культурної компетентності. Це забезпечило можливість об'єктивно оцінити ефективність упровадження авторської моделі розвитку крос-культурної компетентності офіцерів руху опору ССО у процесі їх професійної підготовки.

Теоретичну гіпотезу педагогічного експерименту було конкретизовано у системі експериментальних положень, що ґрунтуються на припущенні про можливість особистісних і професійних змін офіцерів ССО під впливом цілеспрямованого педагогічного впливу згідно з визначеними критеріями розвиненості крос-культурної компетентності.

Відповідно до розробленої структурно-логічної моделі розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО та реалізованої авторської методики, передбачалося, що після впровадження комплексу педагогічних заходів, цифрових технологій навчання та інтерактивних тренінгів в учасників експериментальної групи відбудуться позитивні зміни за всіма визначеними критеріями.

Заключний етап педагогічного експерименту мав на меті узагальнення результатів, перевірку ефективності авторської моделі та порівняння досягнень учасників експериментальної (далі – ЕГ) і контрольної (далі – КГ) груп після реалізації педагогічного впливу.

Педагогічний експеримент щодо розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО у системі професійної підготовки полягав у проведенні порівняльного статистичного аналізу результатів констатувального (вхідного) та формувального (підсумкового) етапів. Вибірку склали дві групи офіцерів по 22 особи в кожній.

Перед проведенням дослідження та діагностування було визначено критерії (когнітивний, праксеологічний, суб'єктний, емоційний) та показники оцінювання компетентності за чотирма рівнями: високий, достатній, середній, низький.

Порівнявши результати проведеного педагогічного експерименту з впровадженням авторського тренінгу "Shadow Network" та використанням цифрових симуляторів (AI) в освітній процес ЕГ, отримали результати, які демонструють позитивну динаміку.

Дані дають змогу побачити істотно-позитивні зміни інтегрального показника розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО між вхідним та заключним контролем. Офіцери ЕГ продемонстрували здатність до адаптації легенди, швидкого профайлінгу та встановлення контакту.

Проведене аналогічне порівняння результатів офіцерів КГ (n = 22), де експериментальний вплив не здійснювався, засвідчує про незначні зміни інтегрального показника. Офіцери КГ продовжували виконувати функціональні обов'язки, однак специфічні навички культурної сенсибілізації та вербування (HUMINT) у них не розвивалися системно.

Для статистичного підтвердження істинності отриманих даних та перевірки гіпотези про ефективність методики було використано U-критерій Манна-Уітні для двох незалежних вибірок ($n_1 = 22$, $n_2 = 22$).

Отримане емпіричне значення критерію знаходиться в зоні значущості, що дозволяє стверджувати: рівень крос-культурної компетентності офіцерів ССО у ЕГ статистично значуще перевищує рівень у КГ, що є наслідком впровадження тренінгу.

Заключний контроль дав змогу встановити, що пріоритети у структурі компетентності офіцерів ЕГ змінилися. Відбулася переакцентуалізація з інструментальних навичок на когнітивно-психологічні. Встановили такі тенденції приросту (змін) важливих якостей (показників) в ЕГ порівняно з КГ:

- Соціокультурна сенсибілізація: ЕГ – +26,3 %; КГ – +1,2 % (найсуттєвіша різниця, офіцери навчилися відчувати контекст);
- Адаптивність: ЕГ – +14,1 %; КГ – +0,4 %;
- Спостережливість: ЕГ – +10,0 %; КГ – +1,6 %;
- Комунікабельність: ЕГ – +11,7 %; КГ – +1,1 %;
- Креативність: ЕГ – +11,8 %; КГ – +0,5 %;
- Уміння вирішувати конфлікти: ЕГ – +16,1 %; КГ – +1,9 %;
- Емпатійність: ЕГ – +11,2 %; КГ – +0,5 %;
- Толерантність: ЕГ – +12,9 %; КГ – +1,3 %.

У офіцерів ЕГ спостерігається стрімке зростання якостей, які раніше ігнорувалися (сенсибілізація, толерантність), що забезпечує комплексний підхід до виконання завдань. У офіцерів КГ структура якостей залишилася практично статичною.

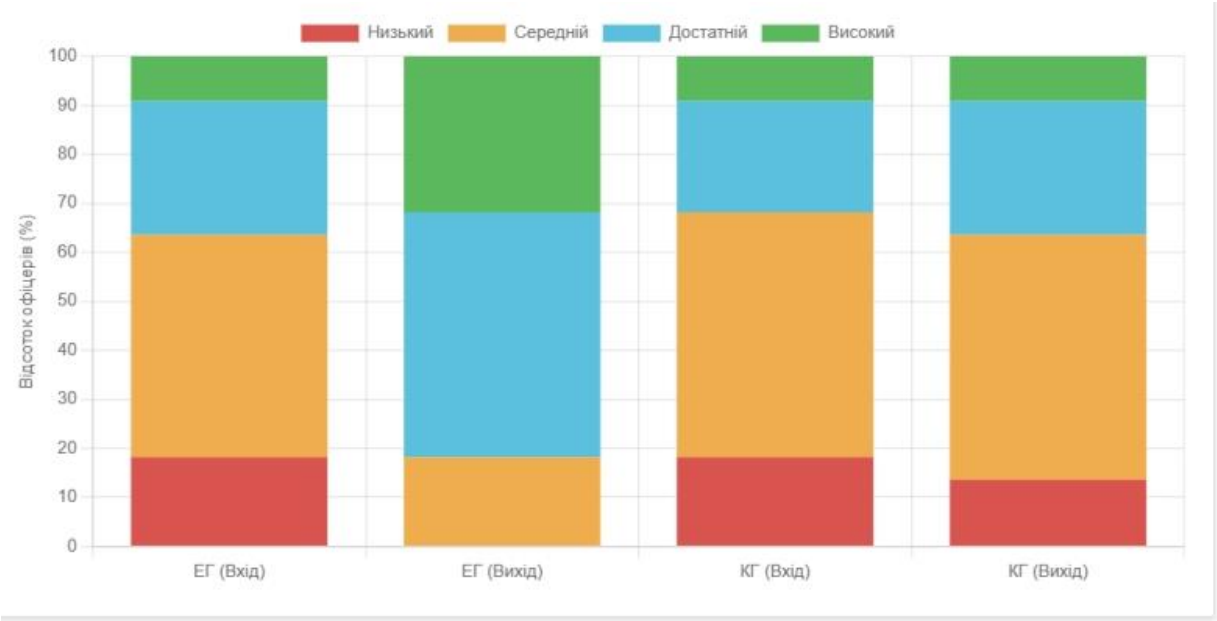


Рисунок – Динаміка рівнів сформованості крос-культурної компетентності (порівняльний аналіз)

Діаграма наочно демонструє якісні структурні зрушення в ЕГ після впровадження авторського тренінгу. На початку експерименту (лівий стовпчик) 18,2 % офіцерів ЕГ мали низький рівень компетентності. На завершальному етапі (другий стовпчик) цей показник зник повністю (0 %), що свідчить про засвоєння базового мінімуму всіма учасниками. Зростання професіоналізму: Частка офіцерів з високим рівнем в ЕГ зросла більш ніж утричі (з 9,1 % до 31,8 %), а з достатнім — майже вдвічі (до 50 %). Натомість у Контрольній групі (праві стовпчики) структура залишилася майже незмінною: частка осіб з високим рівнем не змінилася (9,1 %), а приріст достатнього рівня (на 4,6 %) відбувся лише за рахунок незначного зменшення групи з низьким рівнем, що пояснюється природним набуттям досвіду, а не системним навчанням.

За результатами формувального етапу педагогічного експерименту для підтвердження або спростування статистичної (наукової) гіпотези у порівнянні між собою результатів педагогічного дослідження у двох незалежних вибірках використали *U*-критерій Манна-Уітні.

Застосувавши *U*-критерій Манна-Уітні, ми дізнались, наскільки статистично значущі відмінності між двома незалежними вибірками (ЕГ та КГ), які брали участь у педагогічному експерименті. Внаслідок чого, отримане емпіричне значення $U_{емп}$ = 52 є значно меншим за критичне значення навіть для високого рівня значущості (52 < 207), ми відхиляємо нульову гіпотезу H_0 і приймаємо альтернативну.

Відповідно до отриманих результатів, можемо констатувати, що впровадження визначених педагогічних умов дало можливість суттєво підвищити рівень крос-культурної компетентності офіцерів ЕГ.

Позитивна динаміка була досягнута шляхом переосмислення та глибокого розуміння офіцерами значущості ключових якостей, необхідних для діяльності в іншокультурному середовищі, а саме: комунікабельності, спостережливості, емпатійності, адаптивності, толерантності, соціокультурної сенсибілізації, креативності та вміння вирішувати конфлікти. Сформованість цих якостей є необхідною передумовою ефективної професійної діяльності офіцерів ССО (зокрема при організації руху опору та веденні агентурної роботи).

Отже, експериментальна перевірка моделі розвитку крос-культурної компетентності офіцерів ССО засобами цифрових технологій шляхом впровадження в освітній процес авторського тренінгу “Shadow Network” підтвердила свою результативність.

Обговорення результатів

Отримані результати свідчать про статистично значуще підвищення рівня крос-культурної компетентності офіцерів ЕГ. Найбільш істотні зміни зафіксовано у показниках соціокультурної сенсибілізації, адаптивності, комунікабельності та емпатійності.

Ці результати узгоджуються з міжнародними дослідженнями у сфері культурної підготовки військовослужбовців (Ang et al., 2007; Rehg et al., 2012; Voss & Steger, 2017), де соціокультурна обізнаність і комунікативна адаптивність визначаються ключовими передумовами ефективної діяльності у полікультурному середовищі.

Зростання інтегрального показника компетентності пояснюється комплексним характером педагогічного впливу, що поєднував когнітивні, поведінкові та емоційні компоненти підготовки.

Водночас дослідження має обмеження: невеликий обсяг вибірки; опосередковане вимірювання операційної ефективності; короткостроковий характер експерименту.

Висновки

Результати дослідження засвідчили результативність авторського тренінгу “Shadow Network”, який у поєднанні з ШІ-технологіями дозволяє офіцерам ССО подолати розрив між теоретичною підготовкою та реальним застосуванням крос-культурних навичок. Впровадження цієї інноваційної моделі навчання прямо корелює зі зростанням операційної спроможності офіцерів під час виконання завдань у полікультурному середовищі.

Результати проведеного експерименту відкривають нові напрями для наукових пошуків, зокрема: адаптація ШІ-алгоритмів для створення індивідуальних траєкторій розвитку ККК залежно від специфіки конкретного операційного регіону (географічна та релігійна спеціалізація); дослідження впливу крос-культурної адаптивності на психологічну стійкість офіцерів ССО під час тривалих автономних операцій у ворожому середовищі.

Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

Ang, S., Van Dyne, L., & Koh, C. (2006). Personality correlates of the four-factor model of cultural intelligence. *Group & Organization Management, 31*(1), 100–123. https://doi.org/10.1177/1059601105275267

Ang, S., Van Dyne, L., Koh, C., Ng, K. Y., Templer, K. J., Tay, C., & Chandrasekar, N. A. (2007). Cultural intelligence: Its measurement and effects on cultural judgment and decision making. *Management and Organization Review, 3*(3), 335–371. https://doi.org/10.1111/j.1740-8784.2007.00082.x

Crowne, K. A. (2013). Cultural exposure, emotional intelligence, and cultural intelligence: An exploratory study. *International Journal of Cross Cultural Management, 13*(1), 5–22. https://doi.org/10.1177/1470595812452631

Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. *Journal of Studies in International Education, 10*(3), 241–266. https://doi.org/10.1177/1028315306287002

Deardorff, D. K. (Ed.). (2009). *The SAGE handbook of intercultural competence.* Sage Publications.

Earley, P. C., & Ang, S. (2003). *Cultural intelligence: Individual interactions across cultures.* Stanford University Press.

Earley, P. C., Ang, S., & Tan, J. S. (2006). *CQ: Developing cultural intelligence at work.* Stanford University Press.

Johnson, W. B., & Anderson, J. P. (2018). Cultural competence and military operations. *Military Review, 98*(2), 64–73.

MacNulty, C. (2012). Human terrain: War becomes academic. *World Policy Journal, 29*(1), 103–110. https://doi.org/10.1177/0740277512444181

McFate, M. (2005). Anthropology and counterinsurgency: The strange story of their curious relationship. *Military Review, 85*(2), 24–38.

Paige, R. M. (Ed.). (2013). *Education for the intercultural experience.* Intercultural Press.

Rehg, M. T., Gundlach, M. J., & Grigorian, R. A. (2012). Examining the influence of cross-cultural training on cultural intelligence and specific self-efficacy. *Cross Cultural Management, 19*(2), 215–232. https://doi.org/10.1108/13527601211219892

Selmeski, B. R. (2007). Military cross-cultural competence: Core concepts and individual development. Royal Military College of Canada.

Soeters, J., Poponete, C., & Page, J. (2008). Culture's consequences in the military. *International Journal of Cross Cultural Management, 8*(3), 307–320. https://doi.org/10.1177/1470595808096670

Van Dyne, L., Ang, S., & Nielsen, T. M. (2007). Cultural intelligence. In S. Clegg & J. Bailey (Eds.), *International encyclopedia of organization studies.* Sage.

Voss, J., & Steger, T. (2017). Cultural intelligence and leadership effectiveness in multinational military teams. *Armed Forces & Society, 43*(2), 257–277. https://doi.org/10.1177/0095327X15626791

Wisecarver, M., et al. (2012). Cross-cultural competence in Army leaders: A conceptual and empirical foundation. U.S. Army Research Institute.

Wunderle, W. D. (2006). *Through the lens of cultural awareness: A primer for U.S. armed forces deploying to Arab and Middle Eastern countries.* Combat Studies Institute Press.

Камінська О. В. Психолого-педагогічні аспекти розвитку культурного інтелекту (CQ) у військовослужбовців Сил спеціальних операцій. *Актуальні проблеми психології: Збірник наукових праць Інституту психології імені Г. С. Костюка НАПН України*. 2022. Т. 11. Вип. 24. С. 132–145.

Король Н. О. Формування міжкультурної комунікативної компетентності майбутніх офіцерів у процесі вивчення гуманітарних дисциплін : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04. Хмельницький, 2021. 264 с.

Лазоренко С. В., Сіверський А. І. Методика формування соціокультурної компетентності майбутніх офіцерів у системі військової освіти. *Вісник Національного університету оборони України*. 2022. Вип. 4 (68). С. 85–92.

Сафьян О. О. Психологічні особливості формування крос-культурної компетентності майбутніх фахівців соціономічних професій : монографія. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2021. 210 с.

Сєрих Г. Г. Педагогічні умови підготовки офіцерів до міжкультурної взаємодії у міжнародних миротворчих операціях. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: педагогічні науки*. 2023. № 2 (33). С. 144–158.

Торічний О. В. Система формування міжкультурної компетентності майбутніх офіцерів-магістрів у вищих військових навчальних закладах : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04. Хмельницький, 2021. 524 с.

Хаджирадєва С. К., Торічний О. В. Крос-культурна підготовка військових фахівців в умовах євроатлантичної інтеграції: експериментальна перевірка ефективності. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2024. № 1 (54). С. 112–119.

Ягупов В. В., Свистун В. І. Методологія дослідження професійної компетентності військових фахівців: системний підхід. *Професійна освіта: проблеми і перспективи*. 2022. Вип. 22. С. 7–15.

References

Ang, S., Van Dyne, L., & Koh, C. (2006). Personality correlates of the four-factor model of cultural intelligence. *Group & Organization Management, 31*(1), 100–123. https://doi.org/10.1177/1059601105275267

Ang, S., Van Dyne, L., Koh, C., Ng, K. Y., Templer, K. J., Tay, C., & Chandrasekar, N. A. (2007). Cultural intelligence: Its measurement and effects on cultural judgment and decision making. *Management and Organization Review, 3*(3), 335–371. https://doi.org/10.1111/j.1740-8784.2007.00082.x

Crowne, K. A. (2013). Cultural exposure, emotional intelligence, and cultural intelligence: An exploratory study. *International Journal of Cross Cultural Management, 13*(1), 5–22. https://doi.org/10.1177/1470595812452631

Deardorff, D. K. (2006). Identification and assessment of intercultural competence as a student outcome of internationalization. *Journal of Studies in International Education, 10*(3), 241–266. https://doi.org/10.1177/1028315306287002

Deardorff, D. K. (Ed.). (2009). *The SAGE handbook of intercultural competence*. Sage Publications.

Earley, P. C., & Ang, S. (2003). *Cultural intelligence: Individual interactions across cultures*. Stanford University Press.

Earley, P. C., Ang, S., & Tan, J. S. (2006). *CQ: Developing cultural intelligence at work*. Stanford University Press.

Johnson, W. B., & Anderson, J. P. (2018). Cultural competence and military operations. *Military Review, 98*(2), 64–73.

MacNulty, C. (2012). Human terrain: War becomes academic. *World Policy Journal, 29*(1), 103–110. https://doi.org/10.1177/0740277512444181

McFate, M. (2005). Anthropology and counterinsurgency: The strange story of their curious relationship. *Military Review, 85*(2), 24–38.

Paige, R. M. (Ed.). (2013). *Education for the intercultural experience*. Intercultural Press.

Rehg, M. T., Gundlach, M. J., & Grigorian, R. A. (2012). Examining the influence of cross-cultural

training on cultural intelligence and specific self-efficacy. *Cross Cultural Management, 19*(2), 215–232. https://doi.org/10.1108/13527601211219892

Selmeski, B. R. (2007). *Military cross-cultural competence: Core concepts and individual development*. Royal Military College of Canada.

Soeters, J., Poponete, C., & Page, J. (2008). Culture's consequences in the military. *International Journal of Cross Cultural Management, 8*(3), 307–320. https://doi.org/10.1177/1470595808096670

Van Dyne, L., Ang, S., & Nielsen, T. M. (2007). Cultural intelligence. In S. Clegg & J. Bailey (Eds.), *International encyclopedia of organization studies*. Sage.

Voss, J., & Steger, T. (2017). Cultural intelligence and leadership effectiveness in multinational military teams. *Armed Forces & Society, 43*(2), 257–277. https://doi.org/10.1177/0095327X15626791

Wisecarver, M., et al. (2012). *Cross-cultural competence in Army leaders: A conceptual and empirical foundation*. U.S. Army Research Institute.

Wunderle, W. D. (2006). *Through the lens of cultural awareness: A primer for U.S. armed forces deploying to Arab and Middle Eastern countries*. Combat Studies Institute Press.

Kaminska, O. V. (2022). Psykholoho-pedahohichni aspekty rozvytku kulturnoho intelektu (CQ) u viiskovosluzhbovtsiv Syl spetsialnykh operatsii [Psychological and pedagogical aspects of cultural intelligence (CQ) development among Special Operations Forces personnel]. *Aktualni problemy psykholohii, 11*(24), 132–145.

Korol, N. O. (2021). *Formuvannia mizhkulturnoi komunikatyvnoi kompetentnosti maibutnikh ofitseriv u protsesi vyvchennia humanitarnykh dystsyplin* [Formation of intercultural communicative competence of future officers in the process of studying humanities] (Doctoral dissertation). Khmelnytskyi.

Lazorenko, S. V., & Siverskyi, A. I. (2022). Metodyka formuvannia sotsiokulturnoi kompetentnosti maibutnikh ofitseriv u systemi viiskovoi osvity [Methodology for forming sociocultural competence of future officers in the military education system]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy, 4*(68), 85–92.

Safian, O. O. (2021). *Psykholohichni osoblyvosti formuvannia kros-kulturnoi kompetentnosti maibutnikh fakhivtsiv sotsionomichnykh profesii* [Psychological features of cross-cultural competence formation of future socionomic specialists]. Helvetyka.

Sierykh, H. H. (2023). Pedahohichni umovy pidhotovky ofitseriv do mizhkulturnoi vzaiemodii u mizhnarodnykh myrotvorchykh operatsiiakh [Pedagogical conditions for training officers for intercultural interaction in international peacekeeping operations]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seriia: Pedahohichni nauky, 2*(33), 144–158.

Torichnyi, O. V. (2021). *Systema formuvannia mizhkulturnoi kompetentnosti maibutnikh ofitseriv-mahistriv u vyshchykh viiskovykh navchalnykh zakladakh* [System of intercultural competence formation of future master's-level officers in higher military educational institutions] (Doctoral dissertation). Khmelnytskyi.

Khadzhyradieva, S. K., & Torichnyi, O. V. (2024). Kros-kulturna pidhotovka viiskovykh fakhivtsiv v umovakh yevroatlantychnoi intehratsii: eksperymentalna perevirka efektyvnosti [Cross-cultural training of military specialists in the context of Euro-Atlantic integration: Experimental verification of effectiveness]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy, 1*(54), 112–119.

Yahupov, V. V., & Svystun, V. I. (2022). Metodolohiia doslidzhennia profesiinoi kompetentnosti viiskovykh fakhivtsiv: systemnyi pidkhid [Methodology of professional competence research of military specialists: A systemic approach]. *Profesiina osvita: problemy i perspektyvy, 22*, 7–15.