

**ISSN 2524-0056 (Print)**  
**ISSN 2519-481X (Online)**

**ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ВІЙСЬКОВОГО ІНСТИТУТУ  
КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Виходить 4 рази на рік**

**№ 79**

Згідно Наказу МОН №1188 від 24.09.2020, п. №156 Додатку 5 «Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка» включено до категорії «Б» за спеціальностями:

- 124 – «Системний аналіз»;
- 126 – «Інформаційні системи та технології»
- 254 – «Забезпечення військ (сил)»
- 255 – «Озброєння та військова техніка»

**КИЇВ – 2023**

**ISSN 2524-0056 (Print)**  
**ISSN 2519-481X (Online)**

**MILITARY INSTITUTE OF TARAS SHEVCHENKO NATIONAL  
UNIVERSITY OF KYIV**

**COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS  
OF THE MILITARY INSTITUTE OF TARAS SHEVCHENKO NATIONAL  
UNIVERSITY OF KYIV**

**It comes out 4 times a year**

**№ 79**

According to the Order of the Ministry of Education and Science No. 1188 from 09/24/2020, item No. 156 of Appendix 5 «Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv» is included in category «B» by specialties:

- 124 – «System analysis»;
- 126 – «Information systems and technologies»
- 254 – «Supply of troops (forces)»
- 255 – «Armament and military equipment»

**KYIV – 2023**

УДК621.43  
ББК 32-26.8-68.49

**Збірник наукових праць** Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2023. № 79. 198 с.

**Голова редакційної колегії:**

**Лєнков С.В.** доктор технічних наук, професор, ВІКНУ;

**Члени редакційної колегії:**

|                         |                                                                        |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Анісімов А.В.</b>    | доктор фізико-математичних наук, професор, член-кор. НАНУ, КНУ;        |
| <b>Барабаш О.В.</b>     | доктор технічних наук, професор, НТУУ «КПІ»;                           |
| <b>Гунченко Ю.О.</b>    | доктор технічних наук, професор, ОНУ;                                  |
| <b>Жиров Г.Б.</b>       | кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, КНУ;           |
| <b>Заславський В.А.</b> | доктор технічних наук, професор, КНУ;                                  |
| <b>Карпінський М.П.</b> | доктор технічних наук, професор, Університет у Бельсько-Бялій (Польща) |
| <b>Лепіх Я.І.</b>       | доктор фізико-математичних наук, професор, ОНУ;                        |
| <b>Петров О.С.</b>      | доктор технічних наук, професор, УНТ, Краків (Польща);                 |
| <b>Погорілий С.Д.</b>   | доктор технічних наук, професор, КНУ;                                  |
| <b>Толок І.В.</b>       | кандидат педагогічних наук, доцент,                                    |
| <b>Хайрова Н.Ф.</b>     | доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП»;                             |
| <b>Хлапонін Ю.І.</b>    | доктор технічних наук, професор, КНУБіА;                               |
| <b>Шаронова Н.В.</b>    | доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП».                             |

*Редакційна колегія прагне до покращення змісту та якості оформлення видання і буде вдячна авторам та читачам за висловлювання зауважень і побажань.*

Зареєстровано Міністерством юстиції України, свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – серія КВ № 11541 – 413Р від 21.07.2006 р.

Відповідно до Наказу МОН України від 24.09.2020 № 1188 «Збірник наукових праць ВІКНУ імені Тараса Шевченка» внесено до категорії «Б» (технічні науки).

Затверджено на засіданні Вченої ради ВІКНУ від 15.06.23 р., протокол № 12.

Відповідальні за макет:  
Литвиненко Н.І.,  
Солодєєва Л.В.

Відповідальність за новизну і достовірність наведених результатів, тактико-технічних та економічних показників і коректність висловлювань несуть автори. Точка зору редколегії незавжди збігається з позицією авторів. Усі матеріали надруковані в авторській редакції.

Усі статті, що публікуються у збірнику, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів. Незважаючи на перевірку статей на антиплогіат остаточну відповідальність за плогіат несуть автори.

Видання безкоштовне.

Примірники збірників знаходяться у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського, у науковій бібліотеці ім. М. Максимовича, у бібліотеці Військового інституту та в наукових бібліотеках України згідно списку МОН. Електронна версія збірника розміщена на відповідних сайтах.

Видання індексується Google Scholar.

Адреса редакції: 03189, м. Київ, вул. М. Ломоносова, 81, тел./факс +38 (044) 521 – 33 – 82

Наклад 50 прим. Ел.адреса редактора: [lenkov\\_s@ukr.net](mailto:lenkov_s@ukr.net)

Офіційний сайт журналу: <http://miljournals.knu.ua>

**Chairman of the editorial board:**

**Lienkov S.V.** doctor of technical sciences, professor, VIKNU;

**Members of the editorial board:**

|                         |                                                                                  |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Anisimov A.V.</b>    | doctor of physics and mathematics, professor, corresponding member of NASU, KNU; |
| <b>Barabash O.V.</b>    | doctor of technical sciences, professor, NTUU «KPI»;                             |
| <b>Gunchenko Yu.O.</b>  | doctor of technical sciences, professor, ONU;                                    |
| <b>Zhirov G.B.</b>      | candidate of technical sciences, senior researcher, KNU;                         |
| <b>Zaslavsky V.A.</b>   | doctor of technical sciences, professor, KNU;                                    |
| <b>Karpins'kyj M.P.</b> | doctor of technical sciences, professor, University of Bielsko-Biala (Poland)    |
| <b>Lepikh Ya.I.</b>     | doctor of physics and mathematics, professor, ONU;                               |
| <b>Petrov O.S.</b>      | doctor of technical sciences, professor, UNT, Krakow (Poland);                   |
| <b>Pogorilyy S.D.</b>   | doctor of technical sciences, professor, KNU;                                    |
| <b>Tolok I.V.</b>       | candidate of pedagogical sciences, docent,                                       |
| <b>Khairova N.F.</b>    | doctor of technical sciences, professor, NTU «KhPI»;                             |
| <b>Khlaponin Yu.I.</b>  | doctor of technical sciences, professor, KNUBiA;                                 |
| <b>Sharonova N.V.</b>   | doctor of technical sciences, professor, NTU «KhPI».                             |

*The editorial board strives to improve the content and quality of the publication and will be grateful to the authors and readers for their comments and wishes.*

Registered by the Ministry of Justice of Ukraine, certificate of state registration of printed mass media – KV series No. 11541 – 413P from 07/21/2006.

In accordance with the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine from September 24, 2020 No. 1188, «Collection of Scientific Works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv» is included in category «B» (technical sciences).

Approved at the meeting of the Scientific Council of VIKNU from 15.06.23, protocol No.12.

Responsible for the layout:  
Lytvynenko N.I.,  
Solodeeva L.V.

The authors are responsible for the novelty and reliability of the given results, tactical-technical and economic indicators and the correctness of statements. The point of view of the editorial board does not always coincide with the position of the authors. All the materials are printed in the author's edition.

All articles published in the collection undergo a mandatory review, which is carried out anonymously for both authors and reviewers. Despite checking the articles for anti-plagiarism, the final responsibility for plagiarism lies with the authors.

The publication is free.

Copies of the collections are in the National Library of Ukraine named after V.I. Vernadsky, in the scientific library named after M. Maksymovych, in the library of the Military Institute and in the scientific libraries of Ukraine according to the list of the Ministry of Education and Science. The electronic version of the collection is posted on the relevant websites.

The publication is indexed by Google Scholar.

Address of the editorial office: 03189, Kyiv, str. M. Lomonosova, 81, phone/fax +38 (044) 521 – 33 – 82

Edition of 50 copies

E-mail address of the editor: [lenkov\\_s@ukr.net](mailto:lenkov_s@ukr.net)

Official website of the journal: <http://miljournals.knu.ua>

## ЗМІСТ

### ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

|                                                                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Kashtelan S. O.</b> Analysis global trends of modern armed struggle                                                                                                  | <b>7</b>  |
| <b>Андрушук О. С., Березенський Р. В., Клименко В. В., Меленчук В.М., Мельник В. В., Котов Д.О.</b> Моделі надання транспортних послуг силами логістики                 | <b>13</b> |
| <b>Корольов В.М., Кривцун В.В., Агєєв О.В.</b> Часткова методика порівняльного оцінювання параметрів комплектів розмінування                                            | <b>26</b> |
| <b>Ленков С.В., Берназ А.М., Ленков Є.С., Лоза В.М., Гетьман А.В.</b> Аналіз основних напрямків воєнної безпеки, шляхів її оцінки та прогнозування                      | <b>35</b> |
| <b>Маміч В.В., Максименко Ю.А., Попов С.А., Сєлюков О.В., Шаршаткін Д.Ю.</b> Дослідження можливостей захисту озброєння та військової техніки від баражуючих боєприпасів | <b>47</b> |
| <b>Пасічник Н.А., Опришко О.О., Шворов С.А., Василенко В.В., Теплюк В.М., Глуган Ф.В.</b> Методи аналізу зображень місцевості в навігаційних системах БПЛА              | <b>54</b> |
| <b>Попов С.А., Маміч В.В., Душкін Ю.Г., Чкалов А.П.</b> Аналіз можливостей безпілотних літальних апаратів провідних країн світу                                         | <b>69</b> |

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

|                                                                                                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Бялий М.О., Савков П.А.</b> Застосування радарної інтерферометрії для побудови цифрових моделей рельєфу                                                                                  | <b>76</b>  |
| <b>Гуменний Д.О., Кузін О.М., Хлапонін Ю.І.</b> Критерії ISO 21434 для формування системних специфікацій у процесах A-SPICE.....                                                            | <b>94</b>  |
| <b>Кубявка Л.Б., Шевченко А.М., Кубявка М.Б.</b> Негативні впливи динамічного оточення на програми цифровізації військової освіти                                                           | <b>103</b> |
| <b>Ленков С.В., Джулій В.М., Мірошніченко О.В., Браун В.О., Прохорський С.І.</b> Інформаційно-аналітична системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки                 | <b>114</b> |
| <b>Михайленко В.С., Шевченко Т.І., Стукалов С.А., Зуй О.М., Мартинович Л.Я.</b> Нечітка експертна система для керування температурою повітря у приміщеннях торговельно-розважального центру | <b>128</b> |
| <b>Охрамович М.М., Гахович С.В., Кравченко О.І., Шевченко В.В.</b> Види несправностей мікропроцесорних великих інтегральних схем і умови їх прояву з урахуванням енергодинамічного процесу  | <b>140</b> |
| <b>Федченко О.П., Пампуха І.В., Толок І.В.</b> Геоінформаційна система – дієвий інструмент дослідження впливу гібридної війни на соціальну безпеку людини                                   | <b>149</b> |
| <b>Фесьоха В.В., Нерознак Є.І., Сова О.Я.</b> Удосконалена модель оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення на основі рівноваги неша          | <b>159</b> |

### ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

|                                                                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Городянська Л.В.</b> Грошове забезпечення військовослужбовців провідних країн НАТО й України: порівняльний аналіз                                     | <b>172</b> |
| <b>Дані про авторів.....</b>                                                                                                                             | <b>185</b> |
| <b>Алфавітний покажчик.....</b>                                                                                                                          | <b>189</b> |
| <b>Редакційна політика та етичні норми</b>                                                                                                               | <b>190</b> |
| <b>Порядок подання і оформлення статей до "Збірника наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка</b> | <b>195</b> |

## CONTENTS

### MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

|                                                                                                                                                                                                                                             |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Kashtelan S. O.</b> Analysis global trends of modern armed struggle                                                                                                                                                                      | <b>7</b>   |
| <b>Androshchuk O., Berezensky R., Klymenko V., Melenchuk V., Melnyk V., Kotov D.</b> Models of provision of transportation services by logistics forces                                                                                     | <b>13</b>  |
| <b>Korolev V.M., Kryvtun V.V., Ageev O.V.</b> Partial method of comparative evaluation of demining kit parameters                                                                                                                           | <b>26</b>  |
| <b>Lienkov S.V., Bernaz A.M., Lenkov E.S., Loza V.M., Hetman A.V.</b> Analysis of the main directions of military security, ways of its assessment and forecasting                                                                          | <b>35</b>  |
| <b>Mamich V.V., Maksimenko Yu.A., Popov S.A., Selyukov O.V., Sharshatkin D.Yu.</b> Research into the possibilities of protecting weapons and military equipment from barrage ammunition                                                     | <b>47</b>  |
| <b>Pasichnyk N.A., Opryshko O.O., Shvorov S.A., Vasylenko V.V., Teplyuk V.M., Glugan F.V.</b> Methods of terrain image analysis in UAV navigation systems                                                                                   | <b>54</b>  |
| <b>Popov S.A., Mamich V.V., Dushkin Y.G., Chkalov A.P.</b> Analysis of the capabilities of unmanned aerial vehicles of the leading countries of the world                                                                                   | <b>69</b>  |
| <b>INFORMATION TECHNOLOGIES</b>                                                                                                                                                                                                             |            |
| <b>Byalyi M.O., Savkov P.A.</b> Application of radar interferometry to build digital terrain models                                                                                                                                         | <b>76</b>  |
| <b>Hhumennyi D.O., Kuzin O.M., Khlaponin Yu.I.</b> ISO 21434 criteria for forming system specifications in A-SPICE processes                                                                                                                | <b>94</b>  |
| <b>Kubyavka L.B., Shevchenko A.M., Kubyavka M.B.</b> Negative effects of the dynamic environment on programs of digitalization of military education                                                                                        | <b>103</b> |
| <b>Lienkov S.V., Juliy V.M., Miroshnichenko O.V., Braun V.O., Prokhorskyi S.I.</b> Information and analytical systems for forecasting vulnerabilities and information security threats                                                      | <b>114</b> |
| <b>Mykhalenko V.S., Shevchenko T.I., Stukalov S.A., Zuy O.M., Martynovych L.Ya.</b> A fuzzy expert system for air temperature management in the premises of a shopping and entertainment center                                             | <b>128</b> |
| <b>Okhramovych M.M., Gakhovich S.V., Kravchenko O.I., Shevchenko V.V.</b> Types of malfunctions of microprocessor-based large integrated circuits and the conditions of their manifestation, taking into account the energy-dynamic process | <b>140</b> |
| <b>Fedchenko O.P., Pampukha I.V., Tolok I.V.</b> Geoinformation system – an effective tool for researching the impact of hybrid warfare on human social security                                                                            | <b>149</b> |
| <b>Fesokha V.V., Neroznak E.I., Sova O.Ya.</b> An improved model of optimal use of server resources of a military cluster system based on Nash equilibrium                                                                                  | <b>159</b> |
| <b>GENERAL QUESTIONS</b>                                                                                                                                                                                                                    |            |
| <b>Gorodianska L.V.</b> Financial security of servicemen of the leading NATO countries and Ukraine: a comparative analysis                                                                                                                  | <b>172</b> |
| Data on Authors .....                                                                                                                                                                                                                       | <b>185</b> |
| Alphabetical Index .....                                                                                                                                                                                                                    | <b>189</b> |
| Editorial policy and ethical standards.....                                                                                                                                                                                                 | <b>190</b> |
| The order of submission and registration of articles to the "Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv "                                                                 | <b>195</b> |

# ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

UDK 327

Kashtelan S. O. (NADPSU)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-01>

## ABOUT ANALYSIS OF GLOBAL TRENDS OF MODERN ARMED STRUGGLE

*The results of the analysis of the experience of military conflicts of recent decades show that modern wars are fundamentally different from the usual stereotypes of wars during the Second World War, the second half and the end of the 20th century – the beginning of the 21st century. They received not only a new essence and a new meaning, but also revealed new characteristic features of armed struggle, which include the focal and fast-moving nature of hostilities, the absence of protracted positional battles, the use of only long-range weapons, mainly air and space-based, an increase in the number of robotic military equipment and weapons, the growing role of navigation systems in solving the tasks of defeating and coordinating the actions of not only large operational groups of troops, but also small tactical formations. In the article, we examine how the change in the nature of armed struggle affects modern wars, in particular, in modern wars there is a certain evolution of its individual elements, the main of which is fire damage, which is due to the active development of means of reconnaissance, guidance and direct fire impact on objects in the enemy group. It deserves attention the origin of changes in priorities when choosing the objects of damage depending on the scale of the armed conflict, the chosen option for its solution and conduct, features of the composition and nature of the enemy's actions. The transition of military operations into air and space, a significant increase in the range of strike missile and aircraft, led to a significant spread of spatial indicators. Under modern conditions, the armed struggle acquires a multidimensional nature, in contrast to the wars of the past, in which the nature of the armed struggle was determined mainly by horizontal dimensions, and the vertical (aerial coordinate) was only auxiliary in nature.*

*At the same time, along with the spread of the spatial scale of military operations, a significant feature of modern wars and armed conflicts is considered to be changes in the temporal indicators of armed conflict, which is determined by its high dynamism and rapidity due to the use of the latest types of weapons and military equipment.*

*Key words: military conflict; modern wars; armed struggle; military equipment and weapons.*

**Introduction.** Modern military conflicts are characterized by the active use of high-precision weapons, which, in terms of their destructive power, are equivalent to, and sometimes even exceed, the strength of nuclear weapons. The armed struggle in such wars has moved to the aerospace space, which has become the main theater of military operations, and high-precision robotic weapons are gradually turning into a decisive factor in the armed struggle, the massive use of which ensures the achievement of the goals of the war even without the use of ground troops, as it happened in its time in the Yugoslav company in 1999 by the combined forces of NATO or in Syria in 2017 by the coalition forces led by the United States and the Russian Federation.

Active combat operations in modern conditions are carried out by operational groups of troops (forces) simultaneously in the air, on land and at sea, practically without spatial limitations, with the active use of the space component. The first example of this was the operation of multinational forces "Desert Storm" against Iraq in 1991 [1].

**Formulation of the problem.** The spread of spatial indicators of the armed struggle and its acquisition of a high degree of controllability, the rapid growth of the role of the information factor and actions in space, as well as the widespread use of guided weapons have as a consequence the tendency to the globalization of the management of the armed struggle as a whole and the gradual transition to the scheme: from guided weapons to guided armed struggle.

The experience of modern operations shows the increasing attention of the world's leading countries to the integration of all types of intelligence. In the wars of the sixth generation, with the creation of the latest means of intelligence, which allow you to detect any target, at any distance, in

any conditions, intelligence becomes global. In modern wars, there is a steady tendency to transfer more and more intelligence efforts into near-Earth space. Military and dual-purpose space vehicles with high differential capability are not just assigned a large and important role as sources of information, they are considered as system-forming military-technical tools for conducting armed conflict [1-2].

**Analysis of recent research and publications.** The conducted analysis of the use of space systems in military conflicts allows us to state that the dynamics of building up the orbital grouping is constantly growing. In comparison, for example, with the operation "Desert Storm" (1999), the number of spacecraft used during hostilities in Iraq in 2003 increased almost three times. At the same time, a quarter of them were reconnaissance satellites, which were used to obtain up to 70 % of intelligence information about enemy ground objects [3]. One of the main trends in the armed struggle in modern conditions has become the mass use of small, inconspicuous and long-duration unmanned reconnaissance aircraft [4]. The high efficiency of the use of these intelligence tools, which is confirmed by the experience of military conflicts in recent years, has led to a significant increase in the amount of funding for the development and adoption of unmanned aerial vehicle programs in the leading countries of the world in recent years [5-9].

The most revealing is the experience of the USA, which has increased the amount of financing of this industry six times since 2001 [1-9]. The results of the use of heterogeneous forces and means of destruction in military operations in the Persian Gulf area, Yugoslavia and Syria indicate a steady trend of integration of intelligence, control and fire attack systems into a single intelligence-strike control system of intelligence, radio-electronic suppression and destruction of enemy objects. It is characteristic that one of the main reasons for such integration was a qualitatively new level of intelligence thanks to the latest technologies that provide the ability to track all possible targets in real time – not only stationary, but also mobile. It should be noted that intelligence has never been so important as at the current stage of the development of weapons and military equipment, associated with the use of high-precision weapons to achieve a goal in a local war or armed conflict. The large-scale use of high-precision weapons in the military conflicts of the last decade of the 20th century and two decades of the 21st century greatly contributed to the change in the nature of hostilities and the transition from the method of defeating the enemy in a certain area to the selective defeat of his objects. In military conflicts that took place between 1991 and 2022, the share of using high-precision weapons increased from 9 % to 70 % [1-10].

The purpose of the article is to analyze the military conflicts of the last decades and highlight common features inherent in their development.

**Main part.** Along with the widespread use of air and sea-based cruise missiles, the inclusion of various unmanned aerial vehicles in the aviation group, a characteristic feature of modern wars is the change in the role of strike aircraft, which are gradually turning into air platforms for delivering cruise missiles to the area of their launch. The war in Yugoslavia in 1999 was the first example of testing this approach to the use of strike aircraft. The use of high-precision weapons made drastic changes in the forms and methods of use of air attack groups. The transition from the massive use of aviation at a certain time to "adapted actions" by applying combined group air strikes using an integrated intelligence information field should be considered one of the main trends of modern armed struggle. Effective functioning of reconnaissance and fire systems in today's conditions is no longer possible without large-scale topographical and navigational support, especially with the use of space vehicles and digital electronic maps [1]. The most revolutionary change in the content of topographic support was the use of geoinformation systems. With their help, the collection, processing, modeling of available digital information about the terrain and the performance of analysis tasks in the interests of the armed struggle are ensured in real time and according to the principle "when necessary and where necessary".

The use of high-precision weapons also led to fundamental changes in the management of troops. The analysis of the operations "Desert Storm", "Desert Fox", "Allied Force", "Iraqi Freedom", the anti-terrorist operation of the US-led coalition forces "Unwavering Determination" and the operation of the Russian military contingent in Syria indicates an important trend of a conceptual

nature – a gradual the transition from the management of troops and the management of weapons as two relatively independent components to the management of armed struggle, which involves the mutual penetration of all components and the need for the simultaneous influence of management bodies on the process of armed struggle in real time. Ensuring quality management, according to US and NATO experts, is related to the creation of a global system of operational management, which will functionally connect with automated management systems of the armed forces and allow for both centralized and decentralized management of troops (forces) to a separate unit (ship) inclusive.

According to American military experts, the development of the global system of operational management in the next 10–15 years will be inextricably linked with the implementation of the concept of integrated management of troops and weapons systems, the purpose of which is to create a single information space for management bodies at all levels. That is, the process of automation of management should go beyond the operational-strategic level and cover the tactical link, thus closing the contour of the management of the armed forces from the highest military-political leadership to units and weapon systems, that is, to the soldier. In the armed forces of the leading countries of the world, the main trend of improving existing and developing promising communication systems for waging sixth-generation wars in the direction of creating a system of information transmission in the combat zone, which is a component of the global system of operational control, has been determined. There was a transition to the creation of modern global communication systems, which are used to form a continuous information space in the interests of command, intelligence and means of fire destruction.

The experience of local wars and modern armed conflicts shows that, starting with the 1991 war in the Persian Gulf, as well as in subsequent large-scale military conflicts, multinational forces were involved in conducting operations, joint operational groups (forces) were created with the appropriate command and on this basis, tasks related to conducting operations were positively resolved.

At the beginning of the 21st century, all the leading countries of the North Atlantic Alliance actively implemented the so-called functional principle of formation and use of the armed forces, the essence of which is that for the purpose of the most effective preparation for use, as well as the most rational use of national resources, all the armed forces are divided into three main components: response forces – for use in crisis regions outside national territories; main defense forces – for use in a large-scale war; reinforcement forces (reserve) – for additional staffing and increasing the combat capabilities of the first two components [1]. This approach to the development of the armed forces is due to a trend related to the transformation of their purpose and tasks. The emergence of new challenges and threats to the national interests of the state, along with the traditional purpose of the armed forces – deterring and repelling aggression, put on the agenda the need to use groups of armed forces to solve the tasks of preventing the emergence of armed conflicts and their neutralization, fighting against illegal armed formations, conducting peacekeeping and other operations. The above causes a significant change in the tasks and structure of the armed forces themselves. In their composition, rapid response and special operations forces are gaining more and more importance. The armed forces have a double requirement – to be ready to conduct military operations in the conditions of sixth-generation wars and, at the same time, to be ready to conduct hostilities with illegal armed formations.

The readiness to conduct a simultaneous fight against an external enemy equipped with high-tech weapons systems and mobile internal unconstitutional formations, which are armed mainly with individual small arms and light weapons, becomes one of the main requirements for the training of modern armed forces [1]. One of the important trends in the development of modern armed struggle is the growth of the role of information struggle, which is carried out with the aim of disrupting the system of state and military administration, creating favorable conditions for the successful conduct of operations and hostilities, influencing the moral and psychological state of the military-political leadership, the population and personal composition of the opposing side's troops, as well as neutralization of similar influence from the enemy's side. The information struggle acquires an active strategic character, is conducted without limitations in space and time and is characterized by

economic expediency, non-lethal action and high efficiency in achieving a military and political goal. The trend of changing the forms and methods of information struggle is due to the development of information weapons. Internet technologies, digital speech synthesizers, and holographic generators are widely used for information and psychological influence.

Analyzing and predicting the future, there is no doubt that the means of remote software influence will become quite effective under the conditions of their creation and influence on the enemy during modern military conflicts with the help of software tools. According to Western experts, information weapons are currently one of the main threats to the national security of the state, and the total costs for development in this field in the world exceed 120 billion US dollars per year. The experience of modern military conflicts testifies to the growth of the specific weight of radio-electronic warfare (hereinafter – EW) in achieving the general goal of armed struggle, as well as a significant increase in the scale of mutual radio-electronic influence of the opposing parties. At the same time, a direct dependence of the effectiveness of fire strikes on the degree of radio-electronic suppression of radio-emitting objects can be seen.

It is also necessary to pay attention to the fact that there has been a transition from isolated radio-electronic influences to massive electronic attacks and the WB operation, which was first carried out in the war against Iraq in the Persian Gulf area in 1991 and as a result of which the command system of the Iraqi armed forces was completely disorganized and suppression of the air defense system. Radio-electronic warfare is gradually spreading to outer space and becoming global in nature. In the practice of warfare, radio-electronic fire strikes based on the complex use of EW and incendiary weapons and radio-electronic striking strikes, which are carried out using EW tools on new physical principles, including powerful electromagnetic pulses, laser beams, directed beams of high-energy particles, and lead to the disabling of the enemy's radio-electronic means. The relative number of EW forces in operations is increasing. At the same time, their number in the total number of armed forces of the leading countries of the world remains relatively stable. Thus, the WB is transformed into an independent form of operational-strategic actions with global consequences for the enemy. Analyzing the modern armed struggle, special attention should be paid to the fact that completely new weapons have been used during recent military conflicts. Thus, during the war against Iraq (2003), an electromagnetic bomb was used.

Such a weapon is capable of disabling various electronic devices under the influence of a powerful flow of radio frequency electromagnetic radiation. And this is only the beginning of the use of weapons of unconventional action, the possibilities of which have not yet been explored in depth enough.

**Conclusions and prospects for further investigations.** Summing up the analysis of the armed struggle based on the experience of military conflicts, it is possible to highlight general features inherent in its modern development. These are: a significant increase in the capabilities of weapons and military equipment; the spread of the spatial scale and dynamism of the armed struggle, a change in its logical and temporal structure; the transfer of the main efforts of military operations into air and space; integration of means of reconnaissance, control and destruction in reconnaissance and fire systems; growing importance of the information factor; globalization of management and intelligence systems; growing role of coalition and multinational forces and increasing the role of special operations forces; wide application of functional structures.

Further changes in the development of armed struggle indicate that humanity is gradually entering the era of wars of the seventh generation. The main features of the armed struggle in these wars are the transfer of the main efforts of the armed struggle to outer space, the widespread use of space reconnaissance, navigation and strike systems; the appearance of robotic combat equipment and weapons, increasing the role of intelligence in the creation of the latest means of armed struggle, the gradual displacement of humans from the battlefield; the growth of informational, informational-psychological, and EW not only in ground and air environments, but also in the virtual sphere (the Internet); the use of weapons based on new physical principles, the emergence of intellectual, information and other types of non-lethal weapons, which will be considered by us in the future.

## REFERENCES:

1. Tkachuk P. P., Mosov S. P., Krasiuk O. P. (2015). *Tendentsii rozvytku form i sposobiv zbroinoi borotby u suchasnykh lokalnykh viinakh i zbroinykh konfliktakh* [Trends in the development of forms and methods of armed struggle in modern local wars and armed conflicts]. Lviv : NASV, 90 p. [in Ukrainian]
2. Mosov S. P. (2011). *Rozvidka u suchasnykh voiennykh konfliktakh* [Intelligence in modern military conflicts]. Kyiv. [in Ukrainian]
3. Mosov S. P. (2008). *Aerokosmycheskaia razvedka v sovremennukh voennukh konflyktakh* [Aerospace intelligence in modern military conflicts]. Kyiv : RUMB. [in Ukrainian]
4. Yarosh S. P., Guryev D. O. (2021). *Analiz rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ, sposobiv yikh boiovoho zastosuvannia ta rozrobka propozytsii shchodo orhanizatsii efektyvnoi borotby z bezpilotnoi aviatsiieiu* [Analysis of the development of unmanned aerial vehicles, methods of their combat use and development of proposals for the organization of effective control of unmanned aerial vehicles]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. Kharkiv, no. 2(43), pp. 54–60. [in Ukrainian]
5. Openko P. V., Drannyk P. A., Kobziev, V. V., Zubrytskyi H. M. (2016). *Obgruntuvannia pidkhodiv shchodo vykorystannia bezpilotnykh litalnykh aparativ dlia kontroliu parametriv radiolokatsiinykh zasobiv ZRK* [Substantiation of approaches to the use of unmanned aerial vehicles to control the parameters of SAM radar]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony*, no. 1, pp. 82–86. [in Ukrainian]
6. Kharchenko O. V., Bogoslovets S. O., Kotsurenko Yu. V. (2013). *Kompleksnyi analiz perspektiv rozvytku viiskovoi bezpilotnoi aviatsii u zbroinykh sylakh providnykh krain svitu* [Comprehensive analysis of the prospects for the development of military unmanned aerial vehicles in the armed forces of the world's leading countries]. *Nauka i oborona*. Kyiv, no. 1, pp. 51–57. [in Ukrainian]
7. Kupriianova V. S., Matiushenko I. Yu. (2015). *Stan ta perspektyvy rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ v Ukraini* [Status and prospects of development of unmanned aerial vehicles in Ukraine]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, no. 50, pp. 334–340. [in Ukrainian]
8. Zbrutskyi O. V., Masko O. M., Sukhov V. V. (2012). *Bezpilotni litalni aparaty konteinerного startu: suchasnyi stan i napriamky doslidzhen* [Container launch unmanned aerial vehicles: current status and areas of research]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «Kyivskiy politekhnichnyi instytut»*. Kyiv, no. 64, pp. 63–66. [in Ukrainian]
9. Babii Yu. O., Polishchuk V. V., Martyniuk V. P., Martyniuk O. V., Chernousov D. O., Matsyshyn M. O. (2022). *Bezpilotna aviatsiia Ukrainy: analiz osoblyvosti i tekhnichnykh kharakterystyk* [Unmanned aviation of Ukraine: analysis of features and technical characteristics]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. Kyiv : VIKNU, no. 75, pp. C. 5–14. [in Ukrainian]
10. Mosov S. P., Hurak S. P., Tiurin V. V. (2016). *BPLA zminiuiut nebo* [Unmanned aerial vehicles are changing the sky]. *Oboronnyi visnyk*, no. 5, pp. 12–17. [in Ukrainian]

Каштелян С. О.

## ДО АНАЛІЗУ СВІТОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ СУЧАСНОЇ ЗБРОЙНОЇ БОРОТЬБИ

*Результати аналізу досвіду воєнних конфліктів останніх десятиліть свідчить, що сучасні війни докорінно відрізняються від звичайних стереотипів війн періоду Другої світової війни, другої половини та кінця ХХ століття – початку ХХІ століття. Вони отримали не лише нову сутність та новий зміст, а також виявили нові характерні риси збройної боротьби, до яких слід віднести осередковий та швидкоплинний характер бойових дій, відсутність затяжних позиційних боїв, застосування тільки далекобійної зброї, переважно повітряного і космічного базування, збільшення чисельності роботизованої військової техніки й озброєння, зростання ролі навігаційних систем у вирішенні завдань ураження і координації дій не тільки великих оперативних угруповань військ, але й дрібних тактичних формувань. У статті досліджено як впливає зміна характеру збройної боротьби на сучасні війни, зокрема у війнах сучасності*

*відбувається певна еволюція окремих її елементів, головним з яких є вогневе ураження, що обумовлено активним розвитком засобів розвідки, наведення та безпосереднього вогневого впливу на об'єкти в угрупованні противника. Заслугує на увагу походження змін пріоритетів при виборі об'єктів ураження залежно від масштабів збройного конфлікту, обраного варіанту його розв'язання та ведення, особливостей складу і характеру дій противника. Перехід воєнних дій у повітряно-космічний простір, значне збільшення дальності дій ударних ракетних і авіаційних засобів, обумовили істотне поширення просторових показників. За сучасних умов збройна боротьба набуває багатовимірного характеру, на відміну від війн минулого, у яких характер збройної боротьби визначався, в основному, горизонтальними вимірами, а вертикальна (повітряна координата) носила лише допоміжний характер. Разом з тим поряд з поширенням просторового розмаху воєнних дій суттєвою ознакою сучасних війн і збройних конфліктів вважаються зміни часових показників збройної боротьби, що обумовлюється її високим динамізмом і швидкоплинністю за рахунок застосування новітніх зразків озброєння і військової техніки.*

*Ключові слова: воєнний конфлікт, сучасні війни, збройна боротьба, військова техніка й озброєння.*

## МОДЕЛІ НАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ СИЛАМИ ЛОГІСТИКИ

*Запропоновано підходи щодо моделювання проектів матеріально-технічного забезпечення автотранспортних підрозділів військових формувань із врахуванням особливостей діяльності, у тому числі бойової, стосовно Збройних Сил України та інших складових Сил Оборони на підставі логістичних підходів. Позитивний результат логістичного забезпечення у значній мірі залежить від раціонального використання ресурсів, зниження витрат тощо.*

*Найбільш прийнятним підходом до моделювання завдань з військових перевезень є знання-орієнтований підхід та його поєднання з детерміністсько-оптимальним та ймовірнісним підходами. На відміну від існуючих, моделі на базі знання-орієнтованого підходу надають можливість: використання якісних показників; урахування неточної інформації про значення ознак; використання знань фахівців з авто технічного забезпечення – експертів, які подаються у вигляді нечітких правил виводу; отримання більш якісної оцінки об'єкта, що досліджується під час організації автотехнічного забезпечення військових частин. Як показує досвід, це досягається впровадженням логістичних інформаційних систем. Їх впровадження вимагає розробки відповідної моделі. Подано моделі транспортної логістики щодо прогнозу розвитку, планування роботи та експлуатації. Виділено три групи моделей: детерменістсько-оптимальні, ймовірнісні та знання-орієнтовані. Застосування знання-орієнтованих моделей надає можливість: використання як кількісних так і якісних показників; урахування неточної, приблизної інформації; використання знань фахівців, які подаються у вигляді нечітких правил. Запропонований підхід вимагає розробки методологічного забезпечення щодо побудови систем транспортної логістики та є перспективою подальших досліджень у цьому напрямку.*

*Ключові слова: модель, транспортна логістика, детерменістсько-оптимальні, ймовірнісні та знання-орієнтовані підходи.*

**Вступ.** Трансформація ринкових відносин в Україні торкнулася практично всіх суб'єктів господарювання, в тому числі і Міністерства оборони та інших складових Сил оборони України. Основним завданням існування даних структур є створення та реалізація механізму забезпечення життєдіяльності військових частин і підрозділів. Ключовим елементом цього механізму є всебічне забезпечення. Воно включає комплекс заходів для накопичення встановлених норм запасів матеріальних засобів і своєчасного забезпечення ними військових частин і підрозділів, зберігання та підтримання цих засобів у стані яке забезпечує своєчасне приведення в готовність до бойового застосування, а також модернізація зразків озброєння і військової техніки та своєчасне оновлення їх, поповнення запасів матеріальних засобів замість пошкоджених, використаних і загублених в ході виконання службово-бойових завдань. Також в нього входить підготовка, експлуатація і ремонт шляхів сполучення і фінансове забезпечення частин і підрозділів.

Одним з вагомих завдань забезпечення їх діяльності є планування перевезення вантажів, особового складу, озброєння та техніки [1]. Для ефективного вирішення означених питань необхідно застосовувати сучасні інформаційні технології (далі Т) на транспорті. У той же час відмічається їх недостатній розвиток у транспортній логістиці.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для ефективного вирішення означених питань необхідно застосовувати сучасні методи моделювання.

Проблеми та перспективи розвитку транспорту, ефективного його функціонування, логістики перевезень в економічній сфері розглядала у своїх дослідженнях низка вчених.

Серед них можна відмітити роботи М. В. Бойченка [2], Л. А. Грицини [3], Ю. С. Іванова [4], Л. М. Киш [5], О. В. Трифонові [6] та ін. У військовій сфері виокремлюються дослідження, які висвітлюють проблеми логістичного забезпечення у загальному сенсі. Це роботи І. О. Власова [7], М. І. Лисого [8], О. Й. Мацька [9], В. А. Сівака [10], С. Е. Попова [11] та ін. Проблемам автотехнічного забезпечення військових формувань та правоохоронних органів присвячено роботи Р. В. Березенського [12], В. М. Меленчука [13], В. А. Сівака [14] та ін.

Більшість розробок базується або на моделях управління запасами, які визначають оптимальний розмір замовлення чи точку замовлення, або на моделях прогнозування руху матеріалів на складах, або автоматизації вантажних робіт на складі. При виконанні завдань транспортної логістики постає комплексна задача управління системою в цілому з урахування взаємодії не тільки окремих транспортних та вантажних пристроїв, але й підсистем різного функціонального призначення. Отже необхідне дослідження системи на різних рівнях функціонування та управління з визначенням параметрів системи і підсистем у взаємодії і вибором апарату моделювання, що відповідає поставленим цілям та висвітлює процеси в реальному часі.

Об'єктами застосування таких досліджень і методів послужили цивільні організації, які надають автотранспортні послуги з доставки вантажів. Перевезення військових вантажів автомобілями цивільних транспортних організацій – один з напрямків в організації військових перевезень служби військових сполучень. Перевезення цивільним автомобільним транспортом в службі військових сполучень здійснюються з урахуванням економічної доцільності, в порівнянні з перевезеннями іншими видами транспорту, а також за відсутності можливості відправки військових вантажів залізничним транспортом і автотранспортом Збройних Сил України. На сьогодні автоматизація такого порядку в службі військових сполучень є актуальною.

В даний час розроблені автоматизовані системи управління (далі АСУ) плануванням вантажних перевезень, в тому числі і автомобільним транспортом, які базуються на певних моделях.

Аналіз розроблених АСУ показує, що вони не враховують специфіку транспортної логістики військового призначення. Таким чином, є необхідність розробки програмного забезпечення планування військових перевезень автомобільним транспортом у складі АСУ логістичного забезпечення ЗСУ.

Мета статті – представити підходи щодо моделювання у транспортній логістиці із врахуванням особливостей діяльності, у тому числі бойової, ЗСУ та інших військових формувань.

**Виклад основного матеріалу.** З точки зору кібернетичного підходу – процес військових перевезень можна розглядати як чорну скриньку, на вході якої номенклатура матеріально-технічних засобів, озброєння техніки, особовий склад а на виході їх наявність на місцях для здійснення транспортних послуг.

Передатна функція процесу військових перевезень, а саме взаємозв'язок вхідних та вихідних параметрів, визначає його ефективність.

Вихідні параметри – кількість перевезеного особового складу, техніки, озброєння, боєприпасів, продовольства, військового майна тощо (далі військових вантажів) значною мірою визначені метою, яка зазначається у наказі на перевезення та умов перевезення: якості під'їзних шляхів, загрози дій ворожої сторони тощо. У той же час, на ризик проекту здійснюють вплив такі показники, як ціна перевезення (палива, запчастин), попит на перевезення тощо. Тобто, позитивний результат кожного військового перевезення залежить від економії ресурсів, зниження витрат тощо. Для його досягнення необхідним є впровадження логістичних принципів в управління військовими перевезеннями, що вимагає розробки відповідного науково-методичного забезпечення.

Ускладнення економічних, політичних й інших суспільних процесів суттєво підвищило значення математичного моделювання в процесі дослідження й проектування різних систем. Сучасні методи формалізації завдань дозволяють будувати так звані універсальні моделі,

здатні налаштовуватися на будь-який об'єкт із заданого класу [15]. Цей підхід вимагає використання універсальної програми, яка складається заздалегідь для деякої стандартної форми складної системи, що охоплює широкий клас реальних об'єктів.

Логістична модель – будь-який образ, абстрактний або матеріальний, логістичного процесу або логістичної системи, використаний у якості їхнього замісника [16].

Як показує досвід, висока ефективність використання моделей в транспортній логістиці буде досяжною, за умов виконання низки умов, а саме:

- застосування системного підходу до рішення проблем;

- наукова обґрунтованість самих методів та моделей;

- модель повинна бути адекватною реальним умовам, при об'єктивному обліку взаємозв'язків окремих систем;

- мультіваріантність, тобто гнучке узгодження матеріальних, транспортних, інформаційних та інших потоків;

- формування й оптимізація моделі реальної системи у взаємозв'язку забезпечення, виробництва та розподілу військових вантажів;

- неперервність процесу впровадження моделі.

При моделюванні процесів військових перевезень, як його стану так і функціонування, намітилось три підходи: детерміністсько-оптимальний, ймовірнісний та знання-орієнтований.

Детерміністсько-оптимальний підхід до моделювання у більшості простих випадків надає непогані результати. Оптимальне планування сприяє прийнятним та допустимим варіантам перевезень, можна сказати найкращим щодо обраного способу їх оцінки. При цьому зазвичай використовуються економічні та математичні моделі, які дозволяють вибирати показники проекту, що міняються за умови максимуму (мінімуму) обраної міри його ефективності (максимізації обсягів перевезених військових вантажів, мінімізації витрат та часу тощо). Це такі моделі як, транспортна, комівояжера тощо.

Позитивним є те, що ці моделі дозволяють обґрунтовувати рішення з військових перевезень з врахуванням як стану системи, так і її функціонування. Оптимізація одночасно функціонування і стану системи – головна умова для досягнення найвищої ефективності. Водночас вирішити всі проблемні питання управління військовими перевезеннями за допомогою окремих моделей неможливо. Необхідно розбити цю задачу на підзадачі, що входять у загальну систему завдань військової транспортної логістики.

До недоліків детерміністсько-оптимального підходу щодо моделювання належать такі:

- практичне відмовлення від вирішення тих завдань, які не можуть бути обґрунтовані математично;

- відмова від аналізу та вдосконалення організаційних структур;

- пасивна участь розробників інформаційних систем у їх реалізації тощо.

До моделювання процесів військових перевезень в умовах невизначеності та наявності значної кількості статистичних даних найбільш прийнятним є ймовірнісний підхід. Але унікальність кожного перевезення не надає можливості отримати ці статистичні дані.

У якості основних характеристик ймовірнісного підходу до моделювання процесів військових перевезень слід відмітити:

- включення всіх переваг детерміністсько-оптимального підходу;

- урахування великої частки невизначеності під час складання проектів.

Процеси військових перевезень є складними динамічними системами, з декількома вхідними потоками, з різними підсистемами обслуговування. У таких випадках, зазвичай, застосовують теорію систем масового обслуговування. Аналітично не завжди можливо з достатньою точністю описати реально існуючі системи масового обслуговування. Наприклад, матеріально-технічне забезпечення складається з неоднорідних каналів обслуговування, заявки на вхід надходять різних класів (номенклатура забезпечення, парк транспортних засобів тощо) і з різними законами розподілу. Реальна інтенсивність обслуговування не завжди підпорядковується показовому закону.

Із усіх видів моделювання, а це в першу чергу математичне, графічне та інше, розглянемо імітаційне моделювання. Огляд систем моделювання в роботі [17] показує, що імітаційне моделювання є чи не самим популярним засобом, використовуваним на практиці для цих цілей. Основна його цінність полягає в застосуванні методології системного аналізу. Імітаційне моделювання дозволяє здійснити дослідження аналізованої або проектованої системи за схемою операційного дослідження, яке містить взаємозалежні етапи:

- змістовна постановка завдання;
- розробка концептуальної моделі;
- розробка й програмна реалізація імітаційної моделі; перевірка правильності, вірогідності моделі й оцінка точності результатів моделювання;
- планування й проведення експериментів;
- прийняття рішень.

Це дозволяє використовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності з обліком у моделях факторів, що слабо формалізуються, а також застосовувати основні принципи системного підходу для розв'язку практичних завдань.

Сутність методу імітаційного моделювання стосовно до завдань масового обслуговування полягає в наступному. Будуються алгоритми, за допомогою яких можна виробляти випадкові реалізації заданих потоків однорідних подій, а також моделювати процеси функціонування обслуговуючих систем. Ці алгоритми використовуються для багаторазового відтворення реалізації випадкового процесу обслуговування при фіксованих умовах завдання. Одержувана при цьому інформація про стан процесу зазнає статистичній обробці для оцінки величин, що є показниками якості обслуговування.

Формування на ЕОМ реалізацій випадкових об'єктів будь-якої природи зводиться до виробітку й перетворенню випадкових чисел. Для формування можливих значень випадкових величин із заданим законом розподілу вихідним матеріалом служать випадкові величини, що мають рівномірний розподіл в інтервалі  $(0, 1)$ . При цьому використовуються три методи:

- метод зворотних функцій;
- метод згорток;
- метод відбору.

Нехай необхідно одержати значення  $x$  випадкової величини  $X$  функцію, що має, розподілу  $0 \leq F(x) \leq 1$ . Нехай  $R$  – випадкове число, отримане з рівномірного на відрізьку  $[0, 1]$  розподілу (за допомогою датчика випадкових чисел), і нехай  $F^{-1}$  – функція зворотна до функції  $F$ . Метод зворотних функцій вимагає виконання наступних дій:

- генерація випадкового числа  $R$  з інтервалу  $[0, 1]$ ;
- обчислення випадкового числа  $x = F^{-1}(R)$ .

Метод згорток заснований на згортці (підсумовуванні) декількох випадкових величин з різними законами розподілу для одержання значення складної випадкової величини.

Метод відбору розроблений для одержання значень випадкових величин зі складними функціями щільності ймовірностей, до яких не можна застосувати названі вище методи. Загальна ідея даного методу зводиться до заміни складної щільності  $f(x)$  більш зручної з аналітичної точки зору щільністю  $h(x)$ . Потім значення, відповідні до щільності  $h(x)$ , використовуються для одержання значень, відповідних до вихідної щільності  $f(x)$ .

Одною з перших мов моделювання, що полегшують процес написання імітаційних програм, була мова GPSS, створена у вигляді кінцевого продукту Джеффри Гордоном у фірмі IBM в 1962 р. GPSS (General Purpose Simulation System) – система моделювання загального призначення) – мова моделювання, яка використовується для побудови дискретних імітаційних моделей і проведення експериментів на ЕОМ [17].

До недоліків ймовірнісного підходу слід віднести такі:

- складність застосування у випадку недостатньої кількості статистичних даних;
- присутність достатньо великої кількості якісних показників, які описують задачі;
- неможливість врахувати знання та досвід військових фахівців з транспортної логістики.

У цьому випадку для подолання зазначених вище недоліків краще застосовувати знання-орієнтований підхід.

У якості основних характеристик знання-орієнтованого підходу до логістичного моделювання проектів матеріально-технічного забезпечення автотранспортного підрозділу військової частини (АТПВЧ) слід віднести:

побудову людино-машинних систем підтримки прийняття рішень, які дозволяють більш повно та ефективно використовувати у процесі діяльності досвід та інтуїцію фахівців;

врахування невизначеності знань щодо майбутнього, які обумовлюють вибір найбільш адаптивних варіантів рішень;

розгляд організаційних проблем тощо.

Необхідність застосування знання-орієнтованого підходу до моделювання завдань військових перевезень зумовлена характерними особливостями завдань розвитку Сил логістики. До яких належать:

значна невизначеність як майбутніх ситуацій, у яких можливо опиниться об'єкт у процесі своєї еволюції, так і кінцевих результатів рішень, що приймаються;

неповнота та суттєво низка достовірність вихідної інформації, яка зазвичай носить досить збільшений агрегований характер;

труднощі методологічного та обчислювального характеру (облік принципово неформалізованих елементів), які не дозволяють досягнути повної адекватності моделей проектів реальним процесам розвитку АТПВЧ.

Одним із перспективних підходів є нечітке моделювання, що зумовлено тенденцією збільшення складності математичних і формальних моделей реальних систем та процесів управління, пов'язаних із бажанням підвищити їх адекватність і врахувати множину різних чинників, які впливають на процеси прийняття рішень [18].

Перспективним напрямком щодо прогнозу стану підрозділів Сил логістики є застосування штучних нейронних мереж.

Ще один напрямок в знання-орієнтованому моделюванні це так зване агентне (мультиагентне) моделювання, яке також має свої особливості. Агентна модель становить собою штучне середовище у вигляді декількох окремо існуючих інтелектуальних систем, які називають агентами. Агенти взаємодіють між собою, при цьому утворюють між собою певне середовище. Під час функціонування якщо міняється зовнішнє середовище, то змінюється поведінка агента. Як правило, таким системам не потрібне загальне централізоване управління, агенти здійснюють свою діяльність за своїми алгоритмами одночасно. Відомо багато визначень терміну агент. У більшості випадків визначається, що агент – це деякий об'єкт, який має активну, автономну поведінку, може приймати рішення відповідно до деякого набору правил (алгоритму), може взаємодіяти із зовнішнім та внутрішнім середовищем й іншими агентами, а також може змінюватися (еволюціонувати).

У моделях завдань військових перевезень взаємодіє велика кількість елементів. Це й кількість вантажних площадок, їх особливості, вид транспортних засобів, вантажопідйомність та кількість осіб, що перевозяться, вантажні потоки руху різноманітних вантажів, засіб перевантаження, кількість складів та баз, їх призначення, площа, кількість вантажних пристроїв для обслуговування складу (баз), ємність складів, кількість функціональних підрозділів, що виконують інші логістичні операції (оформлення, доопрацювання вантажів, процедури, зворотне завантаження транспортних засобів тощо). Для створення моделі необхідний ретельний опис кожної з перелічених складових. Для того щоб дослідити поведінку, необхідним є розгляд зв'язків між елементами та їх взаємодії.

Розробка і впровадження знання-орієнтованого підходу повинне забезпечити реалізацію основних умов ефективного використання логістичних моделей проектів матеріально-технічного забезпечення, а також методологічних принципів аналізу і синтезу логістичних систем, таких як системність, надійність, адаптивність, стійкість.

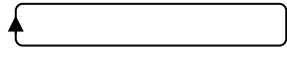
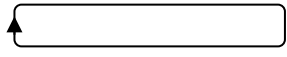
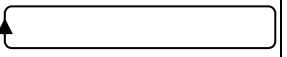
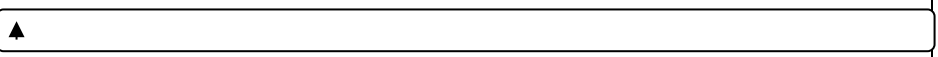
Отже, оцінка рівня методичного забезпечення і підходів до моделювання завдань військових перевезень дозволяє зробити такі висновки. Існуючі моделі, які можна застосувати

до проектів в основному не забезпечували головну умову їх ефективного застосування, яка виявляється у взаємодії завдань забезпечення, виробництва та надання військових транспортних послуг. Частина моделей завдань військових перевезень не сприяють дотримання найбільш важливих принципів логістики, таких як: системність і надійність.

Таким чином, найбільш адекватним підходом до вирішення завдань управління військовими перевезеннями на основі застосування принципів логістики є знання-орієнтований підхід та його поєднання з детерміністсько-оптимальним та ймовірнісним підходами.

Відмінністю існуючих методів забезпечення військових перевезень від логістичного є їх пофазова реалізація, коли кожна фаза розглядається як індивідуально-завершений відрізок виконання завдання (рис. 1). Лише подання проекту як єдиної системи, що складається з низки підсистем як у часовій складовій (фази), так і в матеріальній (учасники проекту), дозволяє створити гармонійну й ефективну логістичну інформаційну систему. Здійснення ресурсного забезпечення за конкретними видами діяльності має залежний характер і ґрунтується на переважному використанні й споживанні тих або інших видів ресурсів на стадіях життєвого циклу проекту.

У той час, коли продукт існує в ідеалі, тобто його ще немає, фізичне проектування характеризується високою трудомісткістю та науковою місткістю основних видів діяльності, в період його фізичного створення й використання – матеріало- та капіталомісткістю. Ресурсний критерій визначення видового складу забезпечення передбачає відповідне виокремлення об'єктів управління: інформаційних, фінансових та матеріальних потоків у різних комбінаціях і пропорціях, характерних для кожної фази проекту й конкретних умов його реалізації.

| Забезпечення завдання з ВП | Фази завдання                                                                        |                                                                                      |                                                                                       |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Передінвестиційна                                                                    | Інвестиційна                                                                         | Експлуатаційна                                                                        |
| Традиційне                 |   |  |  |
| Логістичне                 |  |                                                                                      |                                                                                       |

↑ – реалізація фаз завдання

Рисунок 1 – Порівняльна схема традиційного і логістичного забезпечення завдання з військових перевезень, яка побудовано за даними [19]

Об'єкти й завдання логістичного забезпечення проектів, які залежать від фази життєвого циклу, подано в табл. 1.

На передінвестиційній фазі визначальним є оптимальне управління інформаційними потоками з метою формування максимально вигідної інвестиційної пропозиції та зменшення трансакційних витрат, які виникають на стадії формування проекту. На інвестиційній фазі відбувається процес реалізації інвестиційного задуму. На даному етапі виникає необхідність забезпечення безперервності матеріального потоку, оперативного контролю якості, своєчасного прогнозування розвитку ринкової кон'юнктури. Тут важливу роль відіграють фінансові потоки, які гарантують формування матеріального потоку, тому що рух матеріального потоку можливий лише після проходження фінансового потоку. На цій стадії проявляються контролюючі та прогножуючі функції інформаційних потоків, які здійснюють прямий і зворотний зв'язок між усіма учасниками інвестиційного проекту. Вони дозволяють оптимізувати рух матеріального та фінансового потоків.

Таблиця 1

Об'єкти і завдання логістичного забезпечення завдань з військових перевезень  
залежно від фази життєвого циклу

| Фаза життєвого циклу ЗВП | Об'єкт логістизації                         | Завдання логістизації                                                                  | Результат                                                                          |
|--------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Передінвестиційна        | Інформаційні потоки                         | Розробка та вибір найбільш оптимального варіанта. Вибір джерел та методів фінансування | Формування оптимальної інвестиційної пропозиції. Зниження трансакційних витрат     |
| Інвестиційна             | Інформаційні, фінансові потоки              | Забезпечення безперервності матеріального потоку на основі фінансового потоку          | Оптимальний рух фінансових і матеріальних потоків. Підготовка службової діяльності |
| Експлуатаційна           | Інформаційні, фінансові, матеріальні потоки | Виведення об'єкта на проектну потужність, відшкодування витрат                         | Службові дії. Реалізація проекту                                                   |

На експлуатаційній фазі провідну роль набуває матеріальний потік, який визначає основні параметри формування реального потоку грошових коштів, спрямованих на погашення кредиторської заборгованості та виплати дивідендів. На цій стадії відбувається реалізація проектного продукту та матеріальний потік визначає фактичний рівень ефективності реалізації проекту.

Практика свідчить, що найвагоміша за трудомісткістю та часом у реалізації завдань з військових перевезень є діяльність за трьома напрямками: інженерний опис (проектування), поставки (закупівля), будівництво. Як спосіб узгодження інтересів учасників завдань з військових перевезень логістизація виражається у забезпеченні ефективності вкладеного капіталу в майбутньому. Крім того, логістизація передбачає врахування впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на параметри матеріальних, фінансових та інформаційних потоків проекту, їх оцінювання, формування управлінського впливу. Тут необхідно враховувати, що потенційна можливість підвищення ефективності проекту матеріально-технічного забезпечення на основі логістизації закладається на початкових фазах проектування: на розмір майбутніх експлуатаційних витрат легше впливати на ранніх стадіях розробки проекту, ніж тоді, коли основні об'єкти проекту вже готові.

Концепція логістичного забезпечення реалізації проекту зображена як процес трансформації традиційного забезпечення в логістичне (рис. 2).

Традиційними стосовно логістичного забезпечення реалізації завдання з військового перевезення є всі інші види забезпечення. Трансформація їх у логістичне відбувається за критеріями, що наведені конкретними умовами реалізації завдання з військового перевезення та сферами застосування логістики, а також з урахуванням обмежень. Логістичний підхід забезпечує підвищення рівня управління, мобільності ресурсного потенціалу завдання з військового перевезення розвитку, оптимізацію й раціоналізацію всіх економічних потоків в рамках завдання з військового перевезення. Логістизація процесу реалізації завдання з військового перевезення розвиває такі види забезпечення проекту, як маркетингове, організаційне, правове, які залишаються самостійними внаслідок специфіки його функціонування.

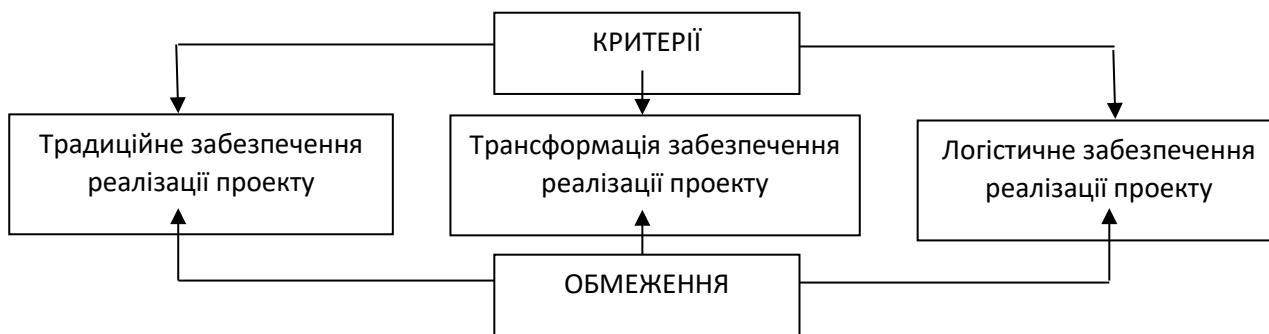


Рисунок 2 – Процес трансформації традиційного забезпечення реалізації завдання з військових перевезень в логістичне, побудовано за даними [20, 21]

Точність результату та визначення термінів надають логістичним операціям досконалості й дозволяють розглядати рівень їх оптимального здійснення, а динамічний, взаємообумовлений характер перебігу свідчить про те, що відбувається потоковий процес, який є частиною більш масштабного економічного потоку. Логістичну модель завдання з військового перевезення подано на рис. 3. Завдання з військового перевезення подається у вигляді системи, яка прагне до об'єднання сегментів службового простору в єдиний потоковий процес на основі логістичного забезпечення.

Логістичну модель проектів матеріально-технічного забезпечення автотранспортних підрозділів ЗСУ можна інтерпретувати як сукупність взаємопов'язаних і взаємообумовлених джерел ресурсів, що використовуються в процесі реалізації проекту. Праворуч (див. рис. 3) – згруповані джерела, які так чи інакше пов'язані з матеріально-технічним забезпеченням (тобто сировина, матеріали, інвестиції, нерухомість) і створюють його матеріально-речову основу, ліворуч – послуги, джерелом яких вони виступають, що обслуговують головну функцію проектування – створення нового продукту з відповідними споживчими та вартісними властивостями. Логістичне забезпечення здійснює єднання та координацію економічних потоків і відповідних їм джерел. Управління проектами при достатній масштабності окремих проектів та їх сукупності може бути розглянуто як досить універсальна методологія регулювання службових процесів, а логістичне забезпечення – як інструментарій безпосереднього її здійснення.

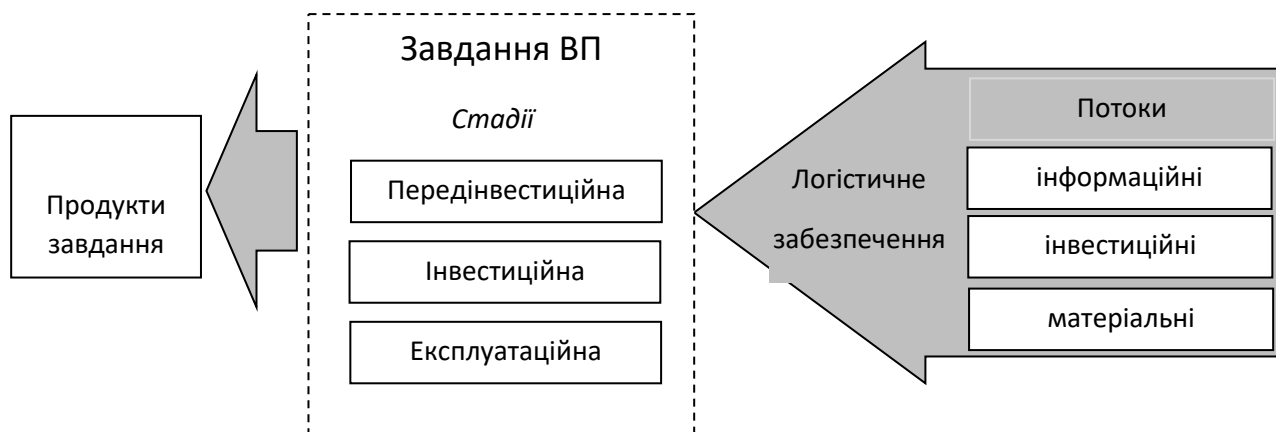


Рисунок 3 – Схема логістичної моделі завдання з військових перевезень

Логістичне забезпечення реалізації завдання з військових перевезень у загальному вигляді виражається через сукупність дій, які передбачають підвищення ефективності функціонування завдання з військових перевезень:

- 1) створення інтегрованої системи управління потоками;
- 2) розробка методів управління рухом ресурсів і контролю потоків;

- 3) визначення стратегії й технології фізичного розподілу ресурсів щодо робіт завдання з військових перевезень;
- 4) прогнозування обсягів поставок, перевезень і складування;
- 5) виявлення дисбалансу між потребами і можливостями закупівлі та поставок.

Цей перелік завдань є дуже узагальненим і тому вимагає конкретизації при дослідженні змісту та форм організації логістичного забезпечення завдання з військових перевезень. Для досягнення ефективності вирішення завдань логістичного забезпечення реалізації завдання з військових перевезень, необхідно його підкріпити відповідними технічними та інформаційними засобами управління високого науково-технічного рівня, а також висококваліфікованими кадрами. Це стає особливо очевидним у результаті аналізу регіональних і локальних економічних потоків проектної діяльності.

Гіпотетична мета такого утворення – пошук та виявлення, а потім залучення в ролі складових логістичної діяльності релевантних, репрезентативних і найбільш потрібних об'єктів (вантажів, ресурсів, послуг, видів діяльності). Вхідження до складу завдання з військових перевезень цих об'єктів має бути визначено за кількістю та моментом затребуваності, для того щоб забезпечити оптимальне та раціональне їх використання в межах проекту. Природно, що рівень мобільності ресурсів визначається рівнем організації потоків, що виникають у процесі проекту. При цьому необхідно:

- створити організаційно-службові умови потокового процесу, тобто чітко визначені різні джерела й учасники потоків, які повинні бути відповідним чином мотивовані на ефективний їх перебіг;

- створити організаційно-технологічні умови потокового процесу, які полягають у поєднанні технології й техніки передачі елементів потоку в оптимальний термін і необхідних обсягів з мінімальними витратами;

- виявити якісний та кількісний зв'язок між процесами, які містять потоки різної економічної природи й цільової орієнтації;

- визначити значущість і функціональне призначення в цілому для проекту розвитку і, зокрема, для окремих його фаз, а також специфіку організації;

- розкрити точки дотику, логістичні вузли потокових процесів, оцінити їхню участь у проекті, сформулювати завдання логістичного забезпечення процесу реалізації завдання з військових перевезень.

Для впровадження логістичної моделі завдання з військових перевезень доцільно використовувати інформаційні системи проектного менеджменту. До класу цих систем належать Microsoft Project, Time Line, Primavera Project Planner, Spider Project, Open Plan Welcom Software, Project Expert та система LogFast.

Застосування логістичної моделі завдання з військових перевезень дозволить швидко коригувати калькуляцію і бюджет при зміні вартості матеріальних ресурсів, формувати календарні графіки для організації роботи службових підрозділів, відстежувати виконання плану, адаптувати модель для різних періодів службової діяльності.

На відміну від існуючих, моделі на базі знання-орієнтованого підходу надають можливість: здійснювати кількісну оцінку, використання як кількісних так і якісних показників; урахування специфічної інформації про значення вхідних показників; використання знань та досвіду фахівців (експертів) з транспортної логістики, які подаються у формалізованому вигляді (наприклад, нечітких правил виводу); отримання більш якісної оцінки ризику завдання з військових перевезень, що досліджується під час організації транспортної логістики військових частин. Запропонований підхід вимагає розробки науково-методичних підходів щодо управління військовими перевезеннями.

**Висновки.** Існуючі методи і моделі рішення локальних задач в основному не забезпечували головну умову їх ефективного застосування, яке проявляється у взаємозв'язку задач забезпечення, виробництва та надання військових транспортних послуг.

Частина методів і моделей рішення задач транспортної логістики не дають можливості дотримуватись принципів логістики: системності і надійності логістичних систем.

Найбільш прийнятним підходом до моделювання завдань з військових перевезень є знання-орієнтований підхід та його поєднання з детерміністсько-оптимальним та ймовірнісним підходами.

На відміну від існуючих, моделі на базі знання-орієнтованого підходу надають можливість: використання якісних показників; урахування неточної інформації про значення ознак; використання знань фахівців з авто технічного забезпечення – експертів, які подаються у вигляді нечітких правил виводу; отримання більш якісної оцінки об'єкта, що досліджується під час організації авто технічного забезпечення військових частин. **Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку.**

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ролін І. Концептуальний підхід до планування та ведення сухопутних операцій за стандартами НАТО / І. Ролін, Д. Купрієнко, В. Марущенко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Хмельницький: НАДПСУ. – 2022. – № 1–2(87). – С. 142–168.
2. Бойченко М. Проблеми транспортної логістики вантажних перевезень в Україні // Вісник економічної науки України. 2018 – № 2. – С. 22–26.
3. Грицина Л. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортної логістики в Україні // Світове господарство і міжнародні економічні відносини. Інфраструктура ринку. – 2018. – Випуск 18. – С. 11–18.
4. Іванов С. В. Транспортно-логістичні кластери в контексті розвитку транспортної системи України та окремо взятого економічного району // Економічний вісник Донбасу. – 2018. – № 1(51). – С. 15–22.
5. Киш Л. Транспортна логістика в аграрному секторі: реалії та перспективи розвитку // Економіка. фінанси. менеджмент: актуальні питання науки і практики. Логістика і транспорт. – 2018. – № 8. – С. 55–67.
6. Стан, проблеми та тенденції розвитку транспортної логістики в Україні / О. Трифонова, Н. Трушкіна // Вісник економічної науки України. – 2019. – № 1. – С. 143–149.
7. Власов І. О. Обґрунтування концептуальних та наукових підходів щодо розвитку єдиної системи логістики в Збройних Силах України / І. О. Власов, О. М. Воробйов, О. В. Наконечний, Ю. С. Середа // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2020. – № 2(64). – С. 12–18.
8. Лисий М. Аналіз впливу визначених чинників на управління силами і засобами логістичного забезпечення та визначення недоліків цього процесу / М. Лисий, В. Удод // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Хмельницький: НАДПСУ. – 2022. – № 1–2(87). – С. 85–99.
9. Мацько О. Аналіз трендів розвитку науки і технологій у контексті імплементації інструментів сучасного менеджменту у процес трансформації логістики Збройних сил України / О. Мацько, І. Гаврилюк // Social Development and Security. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 163–178.
10. Сівак В. Аналіз негативних чинників, що впливають на показники живучості системи логістичного забезпечення в умовах ведення бойових дій, та визначення шляхів їх нейтралізації / В. Сівак, О. Мацько, Д. Марченко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Хмельницький: НАДПСУ. – 2021. – № 1(84). – С. 272–287.
11. Попов С. Е. Модель системи логістичного забезпечення радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України та її загальна характеристика / С. Е. Попов, О. В. Пуховий, М. О. Жидкомлінов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2021. – № 4(45). – С. 75–81.
12. Березенський Р. В. Моделі та методи управління проектами інформатизації автотранспортного господарства військових формувань та правоохоронних органів : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Березенський Руслан Володимирович. Львів 2019. 197 с.

13. Меленчук В. М. Моделі та методи управління ризиками проектів матеріально-технічного забезпечення автотранспортних підрозділів Збройних Сил України : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Меленчук Віктор Миколайович. Львів 2019. 179 с.

14. Сівак В. А. Метод швидкого відновлення зразків озброєння та автомобільної техніки прикордонних підрозділів швидкого реагування за критерієм забезпечення їх живучості / В. А. Сівак, В. А. Ляшенко, В. М. Зозуля, І. Г. Гайдак // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2022. – Вип. 3(13). – С. 104–109.

15. Застосування моделей і методів ергономіки і логістики в транспортних системах : монографія / В. К. Доля, Ю. О. Давідич, О. О. Лобашов та ін. Х.: Вид. Лідер, 2016. 332 с.

16. Голобородько М.Ю. Формалізована модель матеріального забезпечення військ (сил) / М.Ю. Голобородько, В.І. Білетов, В.І. Галаган, К.В. Панадій, С.В. Бондарчук // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняховського. – № 1(50), 2014 – С. 48 –53.

17. Имитационное моделирование / Лоу А. М., Кельтон В. Н. 3-е издание. Санкт-Петербург : Питер, Киев : BHV, 2004. 847 с.

18. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Консультационный центр MATLAB компании Softline. URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>.

19. Бушуев С. Д. Креативные технологии управления проектами и программами : монография. Киев : Саммит-Книга, 2010. 768 с.

20. Логістична доктрина Збройних Сил України. URL: <https://defensereforms.in.ua/projects/automation-system>.

21. Харута В. С. Методи та моделі формування команди проекту побудови пасажирських маршрутних систем міст : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Харута Віталій Сергійович. Київ, 2015, 187 с.

#### REFERENCES:

1. Rolin I., Kupriyenko D., Marushchenko V. (2022). Kontseptual'nyy pidkhid do planuvannya ta vedennya sukhoputnykh operatsiy za standartamy NATO [A conceptual approach to planning and conducting ground operations according to NATO standards]. Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademiyi Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny. Seriya : viys'kovi ta tekhnichni nauky. Khmel'nyts'kyi. Vyd-vo NADPSU. 1–2(87), 142–168.

2. Boychenko M. (2018). Problemy transportnoyi lohistyky vantazhnykh perevezen' v Ukrayini [Problems of transport logistics of cargo transportation in Ukraine]. Visnyk ekonomichnoyi nauky Ukrayiny. 2, 22–26.

3. Hrytsyna L. (2018). Suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku transportnoyi lohistyky v Ukrayini [The current state and prospects for the development of transport logistics in Ukraine]. Svitove hospodarstvo i mizhnarodni ekonomichni vidnosyny. Infrastruktura rynku. 18, 11–18.

4. Ivanov S. V. (2018). Transportno-lohistychni klasteri v konteksti rozvytku transportnoyi systemy Ukrayiny ta okremo vzyatoho ekonomichnoho rayonu [Transport and logistics clusters in the context of the development of the transport system of Ukraine and a separate economic region]. Ekonomichnyy visnyk Donbasu. 1(51), 15–22.

5. Kysh L. (2018). Transportna lohistyka v aharnomu sektori: realiyi ta perspektyvy rozvytku [Transport logistics in the agricultural sector: realities and development prospects]. Ekonomika. finansy. menedzhment: aktual'ni pytannya nauky i praktyky. Lohistyka i transport. 8, 55–67.

6. Tryfonova O., Trushkina N. (2019). Stan, problemy ta tendentsiyi rozvytku transportnoyi lohistyky v Ukrayini [State, problems and development trends of transport logistics in Ukraine]. Visnyk ekonomichnoyi nauky Ukrayiny. 1, 143–149.

7. Vlasov I. O., Vorobyov O. M., Nakonechnyy O. V., Sereda Yu. S. (2020). Obgruntuvannya kontseptual'nykh ta naukovykh pidkhodiv shchodo rozvytku yedynoyi systemy lohistyky v

Zbroynykh Sylakh Ukrayiny [Rationale for the conceptual and scientific approaches to the development of a unified logistics system in the Armed Forces of Ukraine]. Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho natsional'noho universytetu Povitryanykh Syl. 2(64), 12–18.

8. Lysyy M., Udod V. (2022). Analiz vplyvu vyznachenykh chynnykiv na upravlinnya sylamy i zasobamy lohistychnoho zabezpechennya ta vyznachennya nedolikiv ts'oho protsesu [Analysis of the influence of identified factors on the management of forces and means of logistical support and identification of the disadvantages of this process]. Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademii Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny. Seriya : viys'kovi ta tekhnichni nauky. Khmel'nyts'kyy. Vyd-vo NADPSU. 1–2(87), 85–99.

9. Mats'ko O., Havrylyuk I. (2021). Analiz trendiv rozvytku nauky i tekhnolohiy u konteksti implementatsiyi instrumentiv suchasnoho menedzhmentu u protses transformatsiyi lohistyky Zbroynykh syl Ukrayiny [Analysis of trends in the development of science and technology in the context of the implementation of modern management tools in the process of transformation of the logistics of the Armed Forces of Ukraine]. *Social Development and Security*. 1(11), 163–178.

10. Sivak V., Mats'ko O., Marchenko D. (2021). Analiz nehatyvnykh chynnykiv, shcho vplyvayut' na pokaznyky zhyvuchosti systemy lohistychnoho zabezpechennya v umovakh vedennya boyovykh diy, ta vyznachennya shlyakhiv yikh neytralizatsiyi [Analysis of negative factors influencing indicators of the viability of the logistics support system in the conditions of hostilities, and determination of ways to neutralize them]. Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademii Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny. Seriya : viys'kovi ta tekhnichni nauky. Khmel'nyts'kyy. Vyd-vo NADPSU. 1(84), 272–287.

11. Popov S. E., Pukhovyy O. V., Zhydkomlinov M. O. (2021). Model' systemy lohistychnoho zabezpechennya radiotekhnichnykh viys'k Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny ta yiyi zahal'na kharakterystyka [Model of the system of logistical support of the radio technical troops of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine and its general characteristics]. *Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny*. 4(45), 75–81. [in Ukrainian]

12. Berezens'kyy R. V. (2019). Modeli ta metody upravlinnya proektamy informatyzatsiyi avtotransportnoho hospodarstva viys'kovykh formuvan' ta pravookhoronnykh orhaniv [Models and methods of managing projects of informatization of the motor transport industry of military formations and law enforcement agencies] : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.22. L'viv. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/5575>. [in Ukrainian]

13. Melenchuk V. M. (2019). Modeli ta metody upravlinnya ryzykamy proektiv material'no-tekhnichnoho zabezpechennya avtotransportnykh pidrozdiliv Zbroynykh Syl Ukrayiny [Models and methods of risk management of logistical support projects of the motor transport units of the Armed Forces of Ukraine] : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.22. L'viv. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/5579>. [in Ukrainian]

14. Sivak V. A., Lyashenko V. A., Zozulya V. M., Haydak I. H. (2022). Metod shvydkoho vidnovlennya zrazkiv ozbroynennya ta avtomobil'noyi tekhniky prykordonnykh pidrozdiliv shvydkoho reahuvannya za kryteriyem zabezpechennya yikh zhyvuchosti [The method of rapid restoration of weapons samples and automotive equipment of border rapid response units according to the criterion of ensuring their survivability]. Zbirnyk naukovykh prats' Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan' i sertyfikatsiyi ozbroynennya ta viys'kovoyi tekhniky. 3(13), 104–109. [in Ukrainian]

15. Dolia V. K., Davidich Yu. O., Lobashov O. O. (2016). Zastosuvannya modelei i metodiv erhomiky i lohistyky v transportnykh systemakh : monohrafiia / Kh.: Vyd. Lider, 332 s.

16. Holoborodko M.Iu. Formalizovana model materialnoho zabezpechennya viisk (syl) / M.Iu. Holoborodko, V.I. Bilietov, V.I. Halahan, K.V. Panadii, S.V. Bondarchuk // Zbirnyk naukovykh prats' Tsentru voienno-strateichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho. – № 1(50), 2014 – S. 48–53.

17. Ymytatsyonnoe modelyrovanye / Lou A. M., Kelton V. N. 3-e yzdanye. Sankt-Peterburh : Pyter, Kyev : BHV, 2004. 847 s.

18. Shtovba S. D. Vvedenye v teoryiu nechetkykh mnozhestv y nechetkuiu lohyku. Konsultatsyonnyi tsentr MATLAB kompanyy Softline. URL:<http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>.
19. Bushuev S. D. Kreatyvnye tekhnolohyy upravleniya proektamy i prohrammamy : monohrafiya. Kyev : Sammyt-Knyha, 2010. 768 s.
20. Lohistychna doktryna Zbroinykh Syl Ukrainy. URL: <https://defensereforms.in.ua/projects/automation-system>.
21. Kharuta V. S. Metody ta modeli formuvannia komandy proektu pobudovy pasazhyrskykh marshrutnykh system mist : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.22 / Kharuta Vitalii Serhiiovych. Kyiv, 2015, 187 s.

D.Sci.Tech., prof. **Androshchuk O.**, PhD. **Berezensky R.**, PhD. **Klymenko V.**,  
**Melenchuk V.**, **Melnyk V.**, **Kotov D.**

## MODELS OF PROVISION OF TRANSPORTATION SERVICES BY LOGISTICS FORCES

*Approaches to modeling logistical support projects of motor vehicle units of military formations, taking into account the specifics of activity, including combat, in relation to the Armed Forces of Ukraine and other components of the Defense Forces on the basis of logistic approaches are proposed. The positive result of logistics support largely depends on the rational use of resources, cost reduction, etc. The most acceptable approach to modeling military transportation tasks is a knowledge-oriented approach and its combination with deterministic-optimal and probabilistic approaches. Unlike existing models, models based on a knowledge-oriented approach provide the opportunity to: use quality indicators; taking into account inaccurate information about the meaning of signs; using the knowledge of specialists in auto technical support - experts, which are presented in the form of vague rules of conclusion; obtaining a more qualitative assessment of the object being investigated during the organization of auto technical support of military units. As experience shows, this is achieved by implementing logistics information systems. Their implementation requires the development of an appropriate model. Models of transport logistics are presented in terms of development forecast, work planning and operation. Three groups of models are distinguished: deterministic-optimal, probabilistic and knowledge-oriented. The application of knowledge-oriented models provides an opportunity to: use both quantitative and qualitative indicators; taking into account inaccurate, approximate information; using the knowledge of specialists, which are presented in the form of vague rules. The proposed approach requires the development of methodological support for the construction of transport logistics systems and is a perspective for further research in this direction.*

**Keywords:** *model, transport logistics, deterministic-optimal, probabilistic and knowledge-oriented approaches.*

## ЧАСТКОВА МЕТОДИКА ПОРІВНЯЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМПЛЕКТІВ РОЗМІНУВАННЯ

*Мінна зброя, як один із самих доступних засобів ураження особового складу та озброєння і військової техніки, все більше застосовується у воєнних конфліктах сучасності, що висунуло на передній план питання підтримання бойових спроможностей підрозділів військ (сил) в умовах ведення “мінної війни”. В зв’язку з агресією РФ на сьогоднішній день Україна стала найбільш забрудненою вибухонебезпечними предметами країною світу. Під час ведення бойових дій одними із самих складних завдань підтримки військ є розвідка місцевості на наявність вибухонебезпечних предметів, розмінування місцевості та пророблення проходів в мінних полях противника під час наступу, за відсутності – гуманітарне розмінування. Для виконання цих завдань в організаційно-штатній структурі інженерних військ передбачені відповідні підрозділи, які оснащені як технікою, так і ручними комплектами розвідки та розмінування. Проте, комплекти розвідки та розмінування на сьогоднішній день застарілі, мають низьку ефективність та не відповідають вимогам щодо виконання подібного роду завдань. При цьому через застарілість та незадовільний стан засобів розвідки та механізації пророблення проходів в мінно-вибухових загородженнях ручний спосіб залишається основним, який є вкрай небезпечним та призводить до втрат особового складу. Враховуючи такий стан питання, а саме, що ручний спосіб розвідки та розмінування є основним, гостро постало питання удосконалення (розробки) нових ручних комплектів розвідки та розмінування. Під час розробки (удосконалення) комплектів розмінування одним з принципових питань є визначення вагомості їх параметрів.*

*У статті подано часткову методику порівняльного оцінювання параметрів комплектів розмінування з використанням методу експертних оцінок. Запропонована часткова методика дозволяє визначити коефіцієнти вагомості визначених параметрів комплектів розмінування. На основі наведених у дослідженні теоретичних положень складено алгоритм обробки результатів*

*опитування експертів. Наприкінці отримані числові значення коефіцієнтів вагомості параметрів комплектів розмінування та сформульований напрям подальших досліджень.*

*Ключові слова: комплекти розвідки та розмінування місцевості, вибухонебезпечний предмет, групи розмінування, мінно-вибухові загородження, експертне опитування.*

**Вступ.** Через широкомасштабне вторгнення російської федерації в Україну на сьогоднішній день встановлено сотні кілометрів мінних полів, тисячі груп та одиночних мін, а також саморобних вибухових пристроїв, лежать сотні тисяч боєприпасів, які не розірвалися. Війна РФ проти України призвела до того, що Україна на сьогоднішній день стала найбільш забрудненою вибухонебезпечними предметами (ВНП) країною світу. Станом на грудень 2022 року в Україні так зване “мінне забруднення” охоплювало близько 170 тисяч квадратних кілометрів, що незрівнянно навіть з Сирією та Афганістаном, тобто більше чверті території країни [1, 2]. Після закінчення бойових дій знадобиться десятки років для очищення територій від вибухонебезпечних предметів, колосальні витрати коштів та ресурсу для проведення гуманітарного розмінування. Враховуючи, що війна продовжується, площа замінованих ділянок щодня збільшується.

В цих умовах дуже гостро постало питання виконання як бойових завдань з розвідки місцевості та пророблення проходів в мінних полях, так і суцільного (гуманітарного) розмінування місцевості після звільнення територій від противника.

**Постановка проблеми.** Досвід ведення бойових дій показує широке використання мінно-вибухових загороджень (МВЗ). При цьому втрати противника на МВЗ можуть складати до 13 % від загальних втрат озброєння і військової техніки, а також особового складу. Вміле використання МВЗ може знизити темп наступу противника або взагалі зупинити його [3]. Проте, в ході наступальних (контрнаступальних) дій наших підрозділів одним з найбільш складних завдань є розвідка місцевості на наявність вибухонебезпечних предметів (ВНП) та пророблення проходів в мінних полях. Після завершення бойових дій необхідно проводити гуманітарне розмінування.

Аналіз виконання завдань з розвідки місцевості на наявність ВНП, пророблення проходів в мінних полях, суцільного розмінування у воєнних конфліктах сучасності, миротворчих операціях та у війні російської федерації проти України показує, що на сучасному етапі інтенсивність застосування мінної зброї суттєво перевищують темпи розвідки та розмінування.

Аналіз виконання завдань з розвідки місцевості на наявність ВНП, пророблення проходів в мінних полях, суцільного розмінування у воєнних конфліктах сучасності, миротворчих операціях та у війні російської федерації проти України показує, що на сучасному етапі інтенсивність застосування мінної зброї суттєво перевищують темпи розвідки та розмінування. Виконання зазначених завдань під час ведення бойових дій покладено на інженерні підрозділи ЗС України, за відсутності бойових в основному виконують завдання піротехнічні підрозділи ДСНС України. Ці підрозділи мають на своєму оснащенні як механізовані (коткові та колійні мінні трали, установки розмінування), так і ручні засоби ведення розвідки на наявність вибухонебезпечних предметів, пророблення проходів в мінних полях та розмінування (комплекти розвідки та розмінування місцевості КР-І, КР-О (КР), везимі комплекти розвідки та розмінування місцевості ВКР-1, ВКР-2 (ВКР)).

Проте, досвід застосування таких засобів показав їх моральну і фізичну застарілість (за винятком одиничних зразків) та невідповідність вимогам до виконання цих завдань. Через застарілість засобів механізації розмінування ручний спосіб залишається основним, що становить велику небезпеку саперам. Необхідно зауважити, що на сьогоднішній день в світі не існує жодного технічного засобу розмінування, який би гарантовано забезпечував 100% результат виконання завдання з розмінування. Цей фактор визначає подальше застосування ручного способу, як основного, при виконанні бойових завдань з пророблення проходів та розмінуванні місцевості. Тільки станом на кінець 2020 року було зафіксовано 1190 інцидентів з ВНП, що призвело до чисельних втрат серед мирного населення та військовослужбовців. Тому особовому складу груп розмінування приходится використовувати комплекти розмінування, які як морально так і фізично застарілі (розроблені в 50-х роках минулого століття), що знижує ефективність виконання завдань та підвищує небезпеку саперам.

З метою виправлення такої ситуації ведуться розробки вітчизняних перспективних засобів розвідки та розмінування (комплектів, комплексів розмінування, мінних тралів, установок розмінування, дистанційно-керованих засобів та комплексів розмінування тощо) та розглядаються можливості закупки іноземних зразків. Враховуючи такий стан питання, а саме, що ручний спосіб розвідки та розмінування є основним, гостро постало питання удосконалення (розробки) нових КР, якими доцільно оснащати групи розмінування. Під час розробки (удосконалення) КР одним з принципових питань є визначення вагомості параметрів комплектів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз [4-13] показав, що в них піднято та розглянуто часткові наукові задачі. Так відомі праці [4-12] присвячені висвітленню результатів наукових досліджень, спрямованих на моделювання процесів та обґрунтування

вимог до засобів пошуку та виявлення ВНП різними методами, розглядаються аспекти дистанційного знищення ВНП, обґрунтування тактико-технічних вимог та порівняльного аналізу до засобів подолання мінно-вибухових загороджень. В матеріалах [13] наведені результати теоретичних досліджень способів повітряної розвідки замінованих ділянок місцевості.

Проведений аналіз відомих доступних досліджень і публікацій дозволив дійти висновку, що задача розробки (удосконалення) КР, що застосовуються під час ведення бойових дій та гуманітарного розмінування, на сьогодні вирішена не у повному обсязі.

КР, що застосовуються у теперішній час у військах складаються із багатьох компонентів, які у різних КР можуть відрізнятися. Але, як правило, різні їх підмножини, що складаються із окремих елементів груп, працюють на один параметр. Наприклад, тип елемента, що тралить, довжина та вага фалу визначають дальність закидання, що визначає площу розмінування, що охоплюється. У кінцевому випадку це визначним чином впливає на швидкість процесу розмінування, безпеку особового складу та ін.

Для оцінки досконалості КР обґрунтовується сукупність його часткових параметрів (табл.1).

Таблиця 1

Сукупність часткових параметрів КР

| №  | Найменування параметра         | Позначення $j$ -го | Одиниці вимірювання | Метод визначення | Критерій                            |
|----|--------------------------------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------------------------|
| 1  | Маса                           | $M$                | кг                  | емпірично        | $min$                               |
| 2  | Габарити                       | $G$                | м <sup>3</sup>      | емпірично        | $min$                               |
| 3  | Надійність                     | $P_o$              | -                   | емпірично        | $max$ , при $P_{кр} \geq P_o > P_n$ |
| 4  | Ергономічність                 | $Er$               | -                   | евристично       | $max$                               |
| 6  | Універсальність                | $U$                | -                   | евристично       | $max$                               |
| 7  | Темп ведення суцільного розм.  | $V_v$              | м <sup>2</sup> /год | емпірично        | $max$                               |
| 8  | Темп пророблення проходу у МВЗ | $V_z$              | пог. м              | емпірично        | $max$                               |
| 9  | Час згортання (розгортання)    | $T_{з(р)}$         | год.                | статистично      | $min$                               |
| 10 | Безпечність                    | $B_p$              | -                   | евристично       | $max$                               |
| 11 | Собівартість                   | $C$                | грн.                | калькулювання    | $min$                               |

Кожен із параметрів працює на цільову функцію: забезпечити якомога швидке та якісне розмінування визначеної ділянки місцевості. Але, «вага» (ваговий коефіцієнт) окремого параметра в рішенні цієї задачі може бути різною. Оцінці їх відносної «ваги» присвячено багато праць.

Проведений аналіз джерел у яких започатковано вирішення даного питання свідчить, що питання дослідження процесу тралення ВНП з натяжними датчиками цілі приділяється недостатня увага та тільки частково розкриває його, що у свою чергу спонукає до опрацювання відповідних рекомендацій.

**Формулювання мети статті.** Метою статті є обґрунтування часткової методики оцінки відносної «ваги» часткових параметрів КР у визначенні його досконалості.

**Викладення основного матеріалу.** Існують ситуації, коли із різних причин, значною мірою в зв'язку з відсутністю достовірної інформації, використання статистичних чи розрахунково-аналітичних методів не надається можливим. У таких випадках широко

застосовуються методи, що використовують результати досвіду й інтуїцію, тобто евристичні чи методи експертних оцінок.

Особливістю даного методу є відсутність строгих математичних доказів оптимальності рішень. Загальною спрямованістю цього методу є використання людини як "вимірювального" приладу для одержання кількісних оцінок процесів і суджень, що через неповноту і невірогідність наявної інформації не піддаються безпосередньому виміру.

Загальна схема експертних опитувань включає наступні основні етапи: підбір експертів і формування експертних груп; формування питань і складання анкет; робота з експертами; формування правил визначення сумарних оцінок на основі оцінок окремих експертів; аналіз і обробка експертних оцінок [14-16].

Вихідними даними для проведення визначень є характеристики (часткові показники) КР. Для визначення «ваги» часткових параметрів КР, будемо застосовувати метод експертних оцінок в варіанті ранжирування [14].

Для цього створюємо групу із  $G$  експертів, які мають високу кваліфікацію щодо питань розмінування та бойовий досвід.

Кожен даний експерт оцінює пріоритетність  $j$ -ї характеристики (параметру). Для визначення пріоритетності характеристик ( $\beta_j$ ) застосовують метод ранжирування. Під ранжируванням розуміють процедуру встановлення значущості технічних характеристик КР на підставі їх упорядкування.

Для цього проводять опитування групи із  $G$  експертів. Кожен  $g$ -й експерт визначає набір чисел  $r_{ij}$ ,  $j=1, J$ , які відображають його погляд про пріоритетність (ранг) технічних характеристик КР. Кожен експерт має розташовувати технічні характеристики у порядку їх значимості (важливості) і приписати кожному із них числа натурального ряду: 1, 2, 3 тощо. Ранг показника визначають його номером, якщо на його місці у ряду відсутні будь-які інші. Коли на одному місці маємо декілька показників, що не розрізняються (мають зв'язані ранги), то ранг кожного з них дорівнює середньоарифметичному їх нових номерів. При цьому кількість рангів показників дорівнює  $R$ .

Під час визначення коефіцієнтів  $r_{ij}$  приймається, що між рангом і важливістю характеристики варіанту альтернативи КР існує лінійна залежність. Тоді визначення коефіцієнтів  $C_{jg}$  здійснюють за формулою

$$C_{jg} = 1 - \frac{r_{jg} - 1}{R}, \quad (1)$$

де  $r_{ij}$  – ранг відповідного  $j$ -ї характеристики варіанту альтернативи КР за думкою  $g$ -того експерта.

Після цього значення  $r_{ij}$  нормуються

$$\beta_{jg} = \frac{C_{jg}}{\sum_{j=1}^J C_{jg}}; \sum_{j=1}^J \beta_{jg} = 1. \quad (2)$$

Остаточні значення коефіцієнтів важливості  $\beta_{jg}$  обчислюють усередненням значень  $\beta_{jg}$ , які надходять від усіх експертів. Коли компетентність експертів у групі вважається однаковою

$$\beta_j = \frac{1}{G} \sum_{g=1}^G \beta_{jg}; g=1, \overline{G}. \quad (3)$$

Вірогідність результатів експертного оцінювання характеризується ступенем узгодженості оцінок, які надають експерти. Для цього використовують коефіцієнт конкордації ( $W$ ), який визначають за формулами:

$$W = \frac{12B}{G^2(R^3 - R) - G \sum_{g=1}^G T_g}; g = 1, \bar{G}, \quad (4)$$

$$B = \sum_{j=1}^R \left( \sum_{g=1}^G r_{jg} - \frac{1}{R} \sum_{j=1}^R \sum_{g=1}^G r_{jg} \right)^2; j = 1, \bar{R}, \quad (5)$$

$$T_g = \sum_{\varphi=1}^{H_g} (h_{\varphi g}^3 - h_{\varphi g}) \quad (6)$$

де  $T_g$  – показник зв’язаних рангів у  $g$ -му ранжируванні. Коли ранги, які збігаються (зв’язні), відсутні,  $T_g = 0$ ;

$H_g$  – кількість груп рівних рангів у  $g$ -му ранжируванні,

$h_{\varphi g}$  – кількість рівних рангів у  $\varphi$ -й групі ранжирування зв’язаних рангів під час ранжирування  $g$ -м експертом.

Значення коефіцієнта конкордації перебуває у межах  $0 < W < 1$ . При цьому  $W = 0$  означає повну протилежність, а  $W = 1$  – повне збігання ранжирувань. Вірогідність вважається хорошою, коли  $W = 0,7 - 0,2$ .

Якщо характеристики за важливістю вважаються рівними між собою, то показник пріоритетності кожної із них визначають співвідношенням типу  $1/J$ , де  $J$  – загальна кількість характеристик оцінюваних варіантів альтернатив КР.

Таким чином, маємо можливість створити часткову методику порівняльного оцінювання параметрів комплексів розмінування.

Послідовність отримання даних та відповідних розрахунків викладено у вигляді крупної структурно-логічної схеми (рис.1)

Для перевірки даної методики було зроблено наступне:

утворено групу з  $G=10$  фахівців;

отримані листи оцінок часткових показників  $r_{ij}$ ;

проведена їх обробка у середовищі Matlab, згідно із методикою, що запропонована.

Для КР із частковими показниками згідно табл.1 з використанням часткової методики отримані наступні значення №1 –  $\beta_1 = 0,04$ , №2 –  $\beta_2 = 0,05$ , №3 –  $\beta_3 = 0,09$ , №4 –  $\beta_4 = 0,07$ , №5 –  $\beta_5 = 0,13$ , №6 –  $\beta_6 = 0,15$ , №7 –  $\beta_7 = 0,18$ , №8 –  $\beta_8 = 0,16$ , №9 –  $\beta_9 = 0,11$ , №10 –  $\beta_{10} = 0,02$ , №11 –  $\beta_{11} = 0,01$ .

Результати оцінювання достовірності отриманих результатів показали, що значення коефіцієнта конкордації дорівнює  $W = 0,84$ . Це свідчить про достатню вірогідність отриманих результатів.

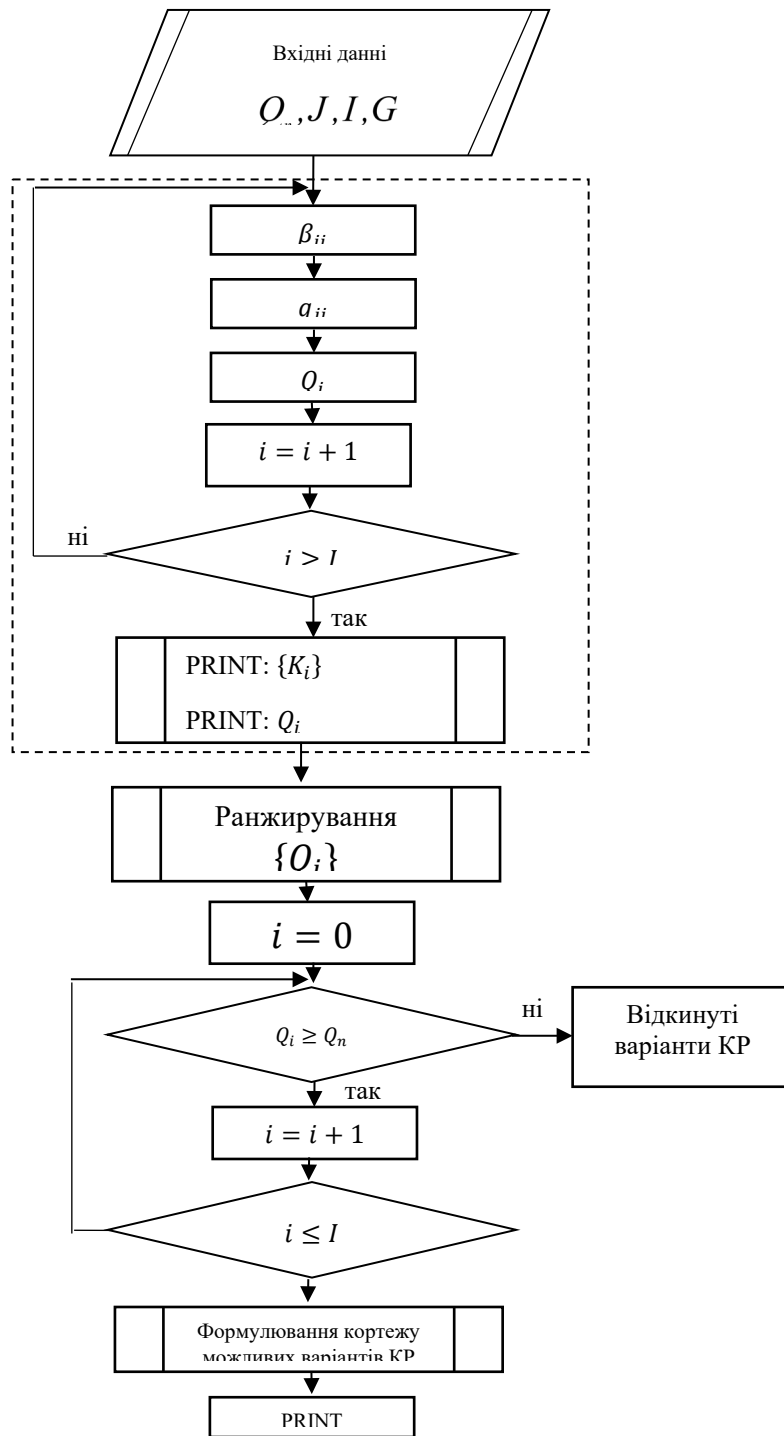


Рисунок 1 - Структурно-логічна схема методики порівняльного оцінювання параметрів комплексів розмінування

**Висновки.** Запропоновано часткову методику визначення  $\beta_j$  параметрів КР. Отримано експертну оцінку величин  $\beta_j$  із використанням методики, що запропонована, для варіанта КР, що наведено у табл.1. У результаті отримані наступні значення  $\beta_1 = 0,04$ ,

$\beta_2 = 0,05$ ,  $\beta_3 = 0,09$ ,  $\beta_4 = 0,07$ ,  $\beta_5 = 0,13$ ,  $\beta_6 = 0,15$ ,  $\beta_7 = 0,18$ ,  $\beta_8 = 0,16$ ,  $\beta_9 = 0,11$ ,  $\beta_{10} = 0,02$ ,  $\beta_{11} = 0,01$ . В подальшому автори планується розробити часткову методику визначення відносних персональних показників характерних комплектів розмінування.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Україна є найбільш замінованою країною у світі - Sky News. <https://www.unian.ua/war/ukrajina-ye-naybilsh-zaminovanoyu-krajinoyu-u-sviti-sky-news-12126051.html>.
2. Горбулін В.П. Світова глобальна проблема розмінування: український вектор. Вісник Національної академії наук України. 2022. №2. С.3 - 13.
3. Куртсеїтов Т. Л., Мосов С. П., Трембовецький М. П., Ясько В. А. Мінна зброя у фокусі сучасних війн і збройних конфліктів. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. Київ, 2020. № 2 (69). С. 116 –121.
4. Коцюрuba В.І., Гусляков О.М. Обґрунтування тактико-технічних вимог до засобів подолання мінно-вибухових загороджень // Збірник наукових праць / Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. К.: ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2013. № 1 (48). С. 31 - 38.
5. Коцюрuba В.І., Шишанов М.О., Даценко І.П., Сахно В.П., Деркач І.І. Методичний підхід щодо порівняльної оцінки матеріалів корпусів панцерних спеціалізованих автомобілів // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки і оборони / Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. К.: НУОУ, 2015. № 1 (22). С. 136 - 139.
6. Нор П.І., Борохвостов. Методика комплексної порівняльної оцінки зразків озброєння та військової техніки. *Науково-технічний журнал «Озброєння та військова техніка»*. ЦНДІ ОВТ ЗСУ. Київ, 2016. Вип. 3/11. С. 14-19.
7. Русіло П.О., Костюк В.В., Варванець Ю.В., Калінін О.М., М.М. Шевцов. Вибір рівня технічної досконалості і технічних характеристик перспективного зразка озброєння та військової техніки (на прикладі зразків броньованих ремонтно-евакуаційних машин). *Військово-технічний збірник*. НАСВ. Львів, 2017. Вип. 16. С. 48 – 53.
8. Ясько В.А. Сучасний стан та перспективи розвитку засобів інженерного озброєння // Збірник наукових праць /Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького. Хмельницький: НАДПСУ, 2010. № 52. 98 - 100.
9. Щербаков Г.Н. Методы обнаружения мин – применительно к проблеме гуманитарного разминирования. Актуальность, проблемы // *Специальная техника*, 2003. № 3. С. 24 - 31.
10. Ментус І. Е. Ефективність інженерних боєприпасів: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: ФВП ПДАТУ, 2008. 80 с.
11. Саламахин Т. М. Боевая эффективность инженерных боеприпасов и элементов системы заграждений: учебное пособие. М.: ВИА им. Куйбышева, 1983. 424 с.
12. Ворович Б.О. Шляхи вирішення проблемних питань розмінування території України. Збірник наукових статей ЦВСДІ НУОУ. Воєнно-прикладні питання системного аналізу та математичного моделювання. 24.03.2020.
13. Мосов С. П., Гурак С. П. Роботи та БПЛА проти мін. Оборонний вісник. № 11, 2019.
14. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання : монографія / Б.Є. Грабовецький. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 171 с
15. Дятлов Г. И., Кудрицкий В. Д. Вероятностные основы моделирования сложных систем. - К.: КВВАИУ, 1992.
16. Основи моделювання бойових дій військ: підручник.- Київ: НАОУ, 2005. С 348 - 425.

## REFERENCES:

1. Ukraina ye naibilsh zaminovanoi krainoiu u sviti - Sky News. <https://www.unian.ua/war/ukrajina-ye-naybilsh-zaminovanoyu-krajinoiu-u-sviti-sky-news-12126051.html>.
2. Horbulin V.P. Svitova hlobalna problema rozminuvannia: ukrainskyi vektor. Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy. 2022. №2. pp.3 - 13.
3. Kurtseitov T. L., Mosov S. P., Trembovetskyi M. P., Yasko V. A. Minna zbroia u fokusi suchasnykh viin i zbroinykh konfliktiv. Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho. Kyiv, 2020. № 2 (69). pp. 116 – 121.
4. Kotsiuruba V.I., Husliakov O.M. Obgruntuvannia taktyko-tekhnichnykh vymoh do zasobiv podolannia minno-vybukhovyykh zahorodzhen // Zbirnyk naukovykh prats / Tsentralnyi naukovo-doslidnyi instytut ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroinykh Syl Ukrainy. K.: TsNDI OVT ZSU, 2013. № 1 (48). pp. 31 - 38.
5. Kotsiuruba V.I., Shyshanov M.O., Datsenko I.P., Sakhno V.P., Derkach I.I. Metodychni pidkhiid shchodo porivnialnoi otsinky materialiv korpusiv pantserovykh spetsializovanykh avtomobiliv // Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky i oborony / Natsionalnyi universytet oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho. K.: NUOU, 2015. № 1 (22). pp. 136 - 139.
6. Nor P.I., Borokhvostov. Metody kompleksnoi porivnialnoi otsinky zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki. Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Ozbroiennia ta viiskova tekhnika». TsNDI OVT ZSU. Kyiv, 2016. Vyp. 3/11. pp. 14 - 19.
7. Rusilo P.O., Kostiuk V.V., Varvanets Yu.V., Kalinin O.M., M.M. Shevtsov. Vybir rivnia tekhnichnoi doskonalosti i tekhnichnykh kharakterystyk perspektyvnogo zrazka ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki (na prykladi zrazkiv bronovanykh remontno-evakuatsiinykh mashyn). Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk. NASV. Lviv, 2017. Vyp. 16. pp. 48 – 53.
8. Iasko V.A. Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku zasobiv inzhenerenoho ozbroiennia // Zbirnyk naukovykh prats / Natsionalna akademiia Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy im. B. Khmelnytskoho. Khmelnytskyi: NADPSU, 2010. № 52. 9 pp.8 - 100.
9. Shcherbakov H.N. Metody obnaruzhennia myn – pryemytelno k probleme humanytarnoho razmynyrovannia. Aktualnost, problemy // Spetsialnaia tekhnika, 2003. № 3. pp. 24 - 31.
10. Mentus I. E. Efektyvnist inzhenernykh boieprypasiv: navchalnyi posibnyk. Kamianets-Podilskyi: FVP PDATU, 2008. 80 p.
11. Salamakhyn T. M. Boevaia efektyvnost ynzhenernykh boeprypasov y elementov systemy zahrazhdenyi: uchebnoe posobie. M.: VYA ym. Kuibysheva, 1983. 424 p.
12. Vorovych B.O. Shliakhy vyrishennia problemnykh pytan rozminuvannia terytorii Ukrainy. Zbirnyk naukovykh statei TsVSDI NUOU. Voienno-prykladni pytannia systemnoho analizu ta matematychnoho modeliuvannia. 24.03.2020.
13. Mosov S. P., Hurak S. P. Roboty ta BPLA proty min. Oboronnyi visnyk. № 11, 2019.
14. Hrabovetskyi B.Ie. Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia : monohrafiia / B.Ie. Hrabovetskyi. – Vinnytsia: VNTU, 2010. – 171 p.
15. Diatlov H. Y., Kudrytskyi V. D. Veroiatnostnye osnovy modelirovaniya slozhnykh system. - K.: KVVAYU, 1992.
16. Osnovy modeliuvannia boiovykh dii viisk: pidruchnyk.- Kyiv: NAOU, 2005. pp. – 348-425.

D.Sci.Tech., prof. **Korolev V.M.**, Ph.D. **Kryvtsun V.I.**, **Ahejev O.V.**

## PARTIAL METHODOLOGY FOR COMPARATIVE EVALUATION OF DEMINING KITS PARAMETERS

*Mine weapons, as one of the most affordable means of destroying personnel and weapons and military equipment, are increasingly used in modern military conflicts, which has brought to the fore the issue of maintaining the combat capabilities of troops (forces) in the conditions of "mine warfare". Due to*

*the aggression of the Russian Federation, Ukraine has become the most explosive contaminated country in the world today. During combat operations, one of the most difficult tasks of supporting the troops is to reconnoiter the area for explosive devices, demine the area and make passages in the enemy minefields during the offensive, and in the absence of such, to perform humanitarian demining. To accomplish these tasks, the organizational and staffing structure of the engineer troops provides for appropriate units equipped with both equipment and hand-held reconnaissance and demining kits. However, the reconnaissance and demining kits are currently outdated, inefficient, and do not meet the requirements for performing this type of task. At the same time, due to the obsolescence and unsatisfactory condition of reconnaissance and mechanization of making passages in minefields, the manual method remains the main one, which is extremely dangerous and leads to personnel losses. Given this state of affairs, namely that the manual method of reconnaissance and demining is the main one, the issue of improving (developing) new manual reconnaissance and demining kits has become acute. During the development (improvement) of RCs, one of the fundamental issues is to determine the significance of their parameters.*

*The article presents a partial methodology for comparative evaluation of the parameters of demining kits using the method of expert assessments. The proposed partial methodology allows determining the weighting coefficients of certain parameters of demining kits. Based on the theoretical provisions presented in the study, an algorithm for processing the results of the expert survey. Finally, the numerical values of the weighting coefficients of the parameters of demining kits are obtained and the direction of further research is formulated.*

*Keywords: reconnaissance and demining kits, explosive object, demining groups, minefields, expert survey.*

д.т.н., проф. **Ленков С.В.** (ВІКНУ)к.т.н. **Берназ А. М.**, (ШСВ ЗСУ)к.т.н., ст.досл. **Ленков Є.С.** (БАТ «Меридіан»)к.т.н., ст.досл. **Лоза В.М.** (ВІКНУ)**Гетьман А.В.** (ВІТІ)DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-04>

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ, ШЛЯХІВ ЇЇ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ

*Дійсна стаття присвячена аналізу основних напрямків воєнної безпеки, шляхів її оцінки та прогнозування. Воєнна безпека України це похідна від рівня розвитку економічної, інформаційної, власне військової і науково-технологічної бази держави, системи політичних стосунків у суспільстві, ступеня демократичного розвитку держави, системи міжнародних відносин. Метою цього дослідження є бажання авторів системно показати усі напрямки, їх взаємозв'язок та особливості реалізації в умовах військових дій Україна - росія. Визначення рівня воєнної безпеки повинно базуватися на системі показників, які всебічно характеризують загальну обстановку в регіоні, напруженість у воєнно - політичних відносинах сторін, співвідношення потенційних можливостей збройних сил, наявність інтересів до України, для реалізації яких може знадобитися військова сила, а також впевненість воєнно-політичного керівництва сусідніх держав у доцільності збройного насильства як засобу досягнення політичних цілей. Наведені результати аналізу подій, що характеризували прояви воєнної безпеки у війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть у політичній, воєнній, економічній, інформаційній, релігійній, територіальній та етнічній сферах. Розглядається як послідовний вибір експертно-значущих проміжних станів (ЕЗПС) процесу реалізації національних інтересів чи системи забезпечення національної безпеки держави. Для кожного обраного ЕЗПС формуються множини основних учасників, сил, факторів тощо, які, за думкою експертів, будуть впливати на відхилення прогнозного сценарію від базисного в ЕЗПС і фіксується множина факторів, які описують чи стосуються сценарію, що прогнозується, будуються можливі мікросценарії та оцінюються ступені їх відхилення від базисного сценарію з використанням технологій багатомірного аналізу. Представлена шкала відносної важливості та зроблено аналіз і оцінку рівня національної безпеки та її складових. В результаті досліджень обґрунтовано, що збільшення модифікованого узагальненого показника означає зростання показника надійності (безпеки) об'єкта, а його зменшення означає зменшення цього показника.*

**Ключові слова:** воєнна безпека, прогнозування, військова організація держави, система оборонного планування, експертно-значущі проміжні стани.

**Вступ та аналіз останніх досліджень.** Поняття національна та військова безпеки визначені в Законі "Про основи національної безпеки України" [1]. Воєнна безпека є однією з основних складових національної безпеки [2,3]. Тобто головним інструментом реалізації державної політики забезпеченню національних інтересів України в оборонній сфері, знаходиться на одному рівні ієрархії з іншими підсистемами і має з ними інформаційні і функціональні зв'язки [4]. Воєнна безпека України це похідна від рівня розвитку економічної, інформаційної, власне військової і науково-технологічної бази держави, системи політичних стосунків у суспільстві, ступеня демократичного розвитку держави, системи міжнародних відносин, Воєнна безпека стосується практично всіх галузей функціонування суспільства і держави, головними з яких є такі:

воєнна сфера - питання військової організації держави, системи оборонного планування, у т.ч. питання оперативної і бойової підготовки військ (сил);

військово-політична сфера - питання регіональної і глобальної безпеки, миротворчої діяльності;

військово-економічна сфера - питання економічного і ресурсного забезпечення воєнного будівництва, підтримку життєдіяльності військ (сил) нарівні, що забезпечує необхідний ступінь бойової готовності і боєздатності, питання формування оборонного бюджету і розподіл та оптимізація бюджетних ресурсів;

військово-технічна сфера (питання розвитку фундаментальної науки в інтересах забезпечення оборони країни, пошукових і прикладних досліджень, базових військових технологій, питання створення, модернізації та утилізації зразків озброєння і військової техніки, підготовка спеціальних і науково-технічних кадрів). У цілій низці наукових досліджень, наприклад [5-7] наведені основні матеріали за дійсними напрямками.

**Метою** цього дослідження є бажання авторів показати системно усі напрямки. їх взаємозв'язок та особливості реалізації в умовах військових дій Україна - росія.

**Основні результати досліджень.** Визначення рівня воєнної безпеки повинно базуватися на системі показників, які всебічно характеризують загальну обстановку в регіоні.<sup>^</sup> напруженість у воєнно-політичних відносинах сторін, співвідношення потенційних можливостей збройних сил. наявність інтересів до України, для реалізації яких може знадобитися військова сила, а також впевненість воєнно-політичного керівництва сусідніх держав у доцільності збройного насильства як засобу досягнення політичних цілей. В [8] з посиланнями на [9.10] визначена базова множина показників для оцінювання рівня воєнної безпеки, яка була отримана в результаті аналізу подій, що характеризували прояви воєнної безпеки у війнах і збройних конфліктах останніх десятиліть.

1. У політичній сфері:

1.1. Втручання у внутрішні справи держави.

1.2. Здійснення політичного тиску на державу (погрози введення санкцій, ультиматуми тощо).

1.3. Підтримка сепаратистських і опозиційних сил у державі.

1.4. Проведення політичних акцій проти держави.

1.5. Заяви та акції, що дискредитують внутрішню або зовнішню політику держави.

1.6. Прагнення до домінування в регіоні.

1.7. Створення політичних союзів, блоків або коаліцій, спрямованих проти держави.

1.8. Створення нестабільності соціально-політичної обстановки у стратегічних партнерів і союзників.

2. У воєнній сфері:

2.1. Створення нестабільності воєнно-політичної обстановки в суміжних державах.

2.2. Нарощування військового бюджету.

2.3. Наявність іноземних збройних формувань на території держави.

2.4. Войовничі відношення політичного керівництва сусідніх країн.

2.5. Створення і існування незаконних збройних формувань у тому числі часних військових компаній.

2.6. Спрямованість воєнної і воєнно-технічної політики проти держави.

2.7. Розміщення поблизу кордонів держави нових збройних формувань і систем озброєнь.

2.8. Проведення бойових навчань у прикордонній зоні у тому числі з використанням закордонних формувань.

2.9. Наявність в аналізованій державі ядерної зброї та іншої зброї масового ураження.

2.10. Проведення інтенсивних заходів щодо технічного удосконалення озброєння і бойової підготовки збройних сил.

2.11. Проведення широкомасштабних мобілізаційних заходів.

2.12. Надання допомоги розглядуваній державі іншими державами в нарощуванні її воєнного потенціалу.

2.13. Підготовка військових фахівців і направленні військових радників у збройні сили держави, що розглядається.

2.14. Укладання угод про спільне використання військових систем, інфраструктури, повітряного простору тощо.

### 3. У економічній сфері:

3.1. Прагнення до встановлення контролю за сировинними ресурсами, комунікаціями, транзитними постачаннями тощо.

3.2. Обмеження економічної діяльності державою, з боку якої оцінюється рівень воєнної безпеки.

3.3. Одержання кредитів для нарощування воєнного потенціалу.

3.4. Неконтрольований відтік за кордон держави інтелектуальних, матеріальних і фінансових ресурсів.

### 4. У інформаційній сфері:

4.1. Прагнення до встановлення контролю за інформаційним простором держави та її інформаційною інфраструктурою.

4.2. Контроль іноземних фірм та ворожих структур за системами зв'язку.

4.3. Контроль іноземних фірм за системами енергозабезпечення.

4.4. Контроль іноземних фірм за виробництвом засобів електронно-обчислювальної техніки.

4.5. Контроль іноземних фірм за функціонуванням теле- і радіокомунікацій та інших засобів.

4.6. Безконтрольне поширення на території держави спеціального програмного та математичного забезпечення іноземного походження.

### 5. У релігійній сфері:

5.1. Загострення релігійних і міжконфесійних протиріч (підбурювання віруючих до протистояння, створення ворожих конфесій та перекрученню релігійної історії, релігійних святих тощо).

5.2. Неконтрольований інформаційний вплив церков, релігійних конфесій на населення держави.

### 6. У територіальній сфері:

6.1. Наявність територіальних розбіжностей між державами.

6.2. Висування територіальних претензій на державному рівні.

6.3. Зазіхання на територіальну цілісність держави.

6.4. Ініціювання у засобах масової інформації питань територіальних протиріч, перекурення національних історичних подій.

6.5. Захоплення територій з використанням силових методів.

### 7. У етнічній сфері.

7.1. Загострення міжетнічних протиріч.

7.2. Активізація націоналістичних рухів усередині держави.

7.3. Спроби провокування сутичок між представниками різних етнічних груп.

7.4. Спроби внести розкол між етнічними групами в державі.

У кожному конкретному випадку базова система показників може доповнюватися або скорочуватися експертами, які залучаються для оцінювання рівня воєнної небезпеки для держави. Такі показники, достатньо вивчені в роботах [11-13]:

До основних загроз у сфері прикордонної безпеки можна віднести наступні [14-16]: посягання на недоторканність державного кордону та територіальну цілісність країни:

незавершеність договірно-правового оформлення державного кордону:

наявні та потенційні територіальні вимоги до України з боку іноземних держав: етнічна автономізація окремих прикордонних районів України;

воєнно-політична нестабільність, регіональні та локальні війни (конфлікти) в сусідніх державах;

неадекватність можливостей органів охорони державного кордону, митних та інших органів, які здійснюють контроль за кордоном, характеру і ступеню загроз, що виникають, та невідповідність дій щодо їх локалізації. Аналіз наведеної системи загроз та заходів показує, що вхідна інформація носить переважно якісний характер.

За твердженням [17] існуючий методичний апарат прогнозування соціальних процесів

та систем будується переважно на методах експертного оцінювання, екстраполяції, соціального опитування та надає надто неточні прогнози, без їх кількісного обґрунтування, тому потребує суттєвого удосконалення. Гам же наводиться удосконалений метод прогнозування динаміки воєнно-політичної обстановки (ВПО), базований на методології сценарного аналізу соціально-економічних систем. Суть методу полягає в тому, що базисний сценарій ВПО, яка конструється, розглядається як послідовний вибір експертно-значущих проміжних станів (ЕЗПС) процесу реалізації національних інтересів чи системи забезпечення національної безпеки держави, без яких процес чи система, що розглядається, за думкою експертів, що залучаються до прогнозування, не може досягти цілі, відносно якої проводиться прогнозування. Принципово важливим вважається початковий стан прогнозування, для якого повинно бути визначено, що передувало процесу до початку прогнозування (передісторія процесу).

Для кожного обраного ЕЗПС формуються множини основних учасників, сил, факторів тощо, які за думкою експертів, будуть впливати на відхилення прогнозного сценарію від базисного в ЕЗПС (рис.1) і фіксується множина факторів, які описують чи стосуються сценарію, що прогнозується, будуються можливі мікросценарії та оцінюються ступені їх відхилення від базисного сценарію з використанням технологій багатомірного аналізу в [18] методу аналізу ієрархій (МАІ). При цьому аналізуються обмеження: політичні, економічні, соціальні, інформаційні тощо.

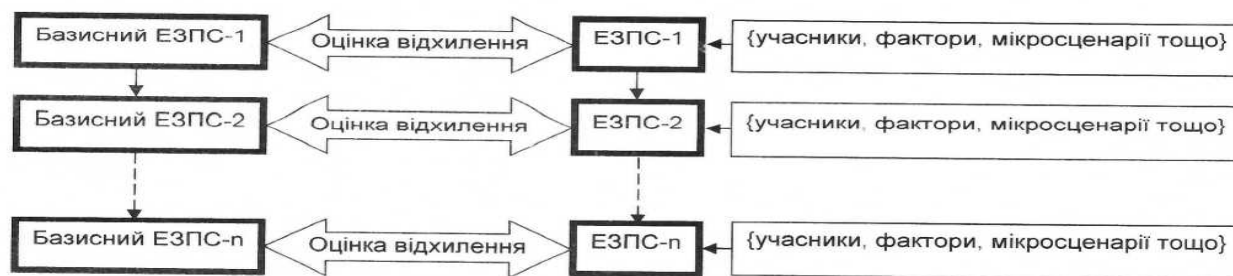


Рисунок 1 - Базова схема методу прогнозування через аналіз ЕЗПС

Як зазначено наприклад в [5], правомірність застосування МАІ обґрунтовується неповнотою інформації, за якою здійснюється прогнозування, якісним її змістом, невідомим характером подальшої динаміки змін в результаті комплексного впливу множини факторів різної природи. Процедура застосування МАІ здійснюється в декілька етапів.

**Перший етап** - побудова трьохрівневої ієрархії для кожного кожного  $i$ -го ЕЗПС ( $i = \overline{1, I}, I \leq 9$ ). Під ієрархією у даному випадку розуміється деяка абстракція структури обраного ЕЗПС, за допомогою якої вивчається функціональна взаємодія складових ЕЗПС і їх вплив на ступінь відхилення прогнозованого процесу від базисного в цих ЕЗПС.

На *першому рівні*  $i$ -ї ієрархії формулюється мета оцінювання ступеня відхилення прогнозованого процесу (системи) від базисного в  $i$ -му ЕЗПС.

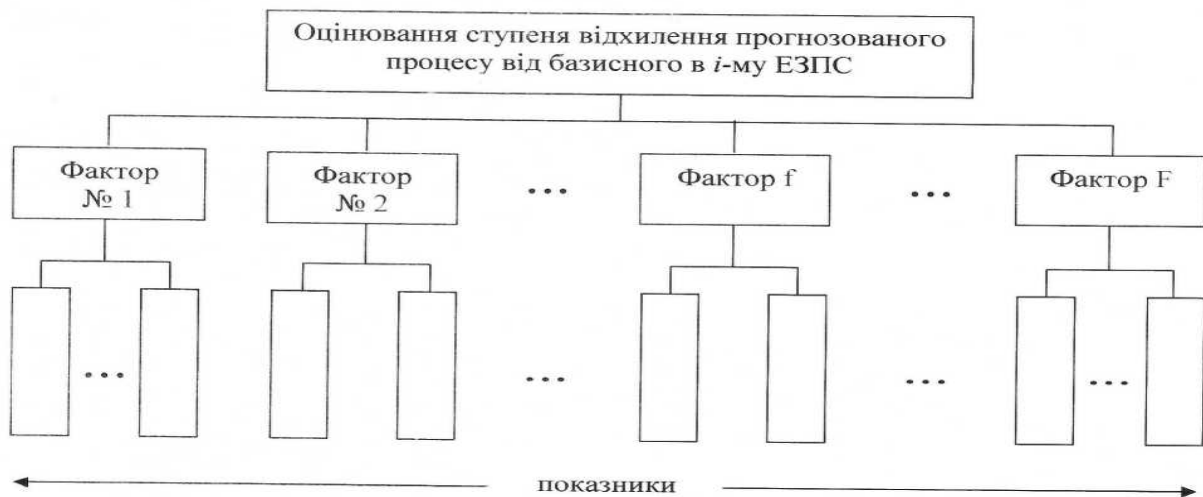


Рисунок 2 - Ієрархія побудови задачі оцінювання ступеня відхилення прогнозованого процесу від базисного для  $i$ -го ЕЗПС

На другому рівні  $i$ -ї ієрархії групуються фактори (об'єкти, суб'єкти сили та ін.), що впливають на  $i$ -й ЕЗПС процесу (системи). Обмеженням МАІ є кількість факторів  $F \leq 9$ .

На третьому рівні  $i$ -ї ієрархії стосовно кожного  $f$ -го обраного фактора ( $f = \overline{1, F}$ ) групуються показники впливу (події, що характеризують прояв факторів) на відхилення прогнозованого процесу від базисного в  $i$ -му ЕЗПС.

**Другий етап** - оцінюється ступінь відхилення прогнозованого процесу (системи) від базисного в  $z$ -му ЕЗПС за методикою [3] згідно з якою спочатку фактори 2-го рівня ієрархії порівнюються між собою за спеціальною шкалою за ступенем їх впливу на мету, що вибрана на I-му рівні ієрархії (рис. 3).

Отримані числа заносяться в матрицю парних порівнянь і за технологією обчислюються пріоритетні фактори  $P_f$ . Потім для кожного  $f$ -го фактора аналогічно обчислюються пріоритети показників.



Рисунок 3 - Шкала для оцінювання важливостей факторів

**Третій етап** за технологією обчислюється ступінь відхилення прогнозованого процесу від базисного в  $z$ -му ЕЗПС. Будуються найбільш імовірні, на думку експертів, мікросценарії динаміки процесу (системи) відносно  $z$ -го ЕЗПС. проводиться інтегральна оцінка відхилення прогнозних мікросценаріїв від базисного та їх ранжування заінтегральним ступенем відхилення в ЕЗПС. За цією ж технологією визначаються пріоритети ЕЗПС і мікросценаріїв для кожного ЕЗПС. Генеруються макросценарії та ранжуються за їх ступенем відхилення від базисного на термін прогнозування з урахуванням визначених пріоритетів ЕЗПС. Специфічною рисою даного методу є можливість уточнення макросценаріїв після отримання

реального стану процесу у будь - якому ЕЗПС. Точність отриманих результатів залежить від точності використовуваної інформації про прогнозований процес. Важливим моментом з використанням МАІ є визначення узгодженості міркувань експертів перед отриманням пріоритетів у матриці парних порівнянь. Індекс узгодженості матриці парних порівнянь має вигляд.

Таблиця 1

Шкала відносної важливості

| Інтенсивності важливості                | Визначення                                  | Пояснення                                                                           |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                       | Рівна важливість                            | Рівний внесок двох елементів                                                        |
| 3                                       | Незначна перевага одного елемента над іншим | Досвід і міркування дають легку перевагу одного елемента над іншим                  |
| 5                                       | Істотна або сильна перевага                 | Досвід і міркування дають сильну перевагу одного елемента над іншим                 |
| 7                                       | Значна перевага                             | Одному елементу надається настільки сильна перевага, що він стає практично значимим |
| 9                                       | Дуже сильна перевага                        | Очевидність переваги одного елемента над іншим підтверджується найбільш сильно      |
| 2,4,6,8                                 | Проміжні значення                           | Застосовуються у компромісному випадку                                              |
| 1/2. 1/3. 1/4.1/5.<br>1/6. 1/7. 1/8.1/9 | Отримуються при зворотному порівнянні       | Застосовуються у випадках зворотної переваги                                        |

$$I = \frac{l_{max} F - S}{S - 1},$$

де  $l_{max} F$  – найбільше власне значення матриці парних порівнянь;

$S$  – кількість елементів, що порівнюються.

Далі індекс узгодженості порівнюється із середніми узгодженостями для випадкових матриць різного порядку (табл. 2)

Таблиця 2

Середні узгодженості для випадкових матриць різного порядку

| Розмір матриці S           | 1 | 2 |      | 4   | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|----------------------------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|
| Середня узгодженість $S_n$ | 0 | 0 | 0.58 | 0,9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

У підсумку обчислюється відношення узгодженості  $V$ :

$$V = \frac{I}{S_n} \cdot 100\%,$$

де  $S_n$  – випадкова узгодженість  $n$ -го порядку.

Якщо величина  $V < 10\%$ , можна подовжувати порівняння в матриці прилеглого знизу рівня і проводити обчислення, якщо ж  $V > 10\%$ , то експертам слід перевірити свої міркування в матриці поточного рівня або переглянути ієрархію з метою перевірки її відповідності обраній меті дослідження (не всі сфери можуть бути враховані). Цим пояснюється те, що кількість порівнюваних елементів не може бути більше 9, так як у цьому випадку буде наявна неприйнятна величина  $S$ .

Всі проведені обчислення стосуються також матриць наступних рівнів ієрархії і проводяться аналогічним чином. Для упорядкування матриць парних порівнянь 3-го рівня ієрархії слід враховувати ряд особливостей. По-перше, для наочності отримання результатів попарних порівнянь показників доцільно для кожної сфери побудувати окрему ієрархію показників (загроз).

По-друге, парні порівняння необхідно проводити з урахуванням відносного впливу порівнюваних показників (загроз) на зростання рівня воєнної небезпеки тільки відносно сфери, що розглядається. Кількість матриць попарних порівнянь на цьому рівні дорівнює кількості сфер.

Після визначення числових значень важливості сфер експертами заповнюється матриця парних порівнянь і за відомим алгоритмом розраховуються пріоритети сфер

$$L_1, \dots, L_s,$$

де  $S$  – кількість оцінюваних сфер. Процедура визначення пріоритетів показників

$$P_1, \dots, P_k,$$

де  $k$  – сума розмірностей часткових матриць парних порівнянь показників, що були побудовані для 3-го рівня ієрархії, аналогічна розглянутій для сфер.

В той же час авторами відмічені такі основні проблеми практичного застосування КМСД – визначення мінімальної кількості експертів, припустимої величини неузгодженості думок експертів, кількості генерованих можливих сценаріїв.

Додатково також можна відзначити ще деякі суттєві проблеми.

По-перше, для коректного застосування МАІ кількість елементів порівняння одного рівня ієрархії повинна залишатися в межах одного десятка. В іншому разі можливе значне зростання неузгодженості матриці попарних порівнянь і, як наслідок, зниження довіри до результатів оцінки.

По-друге, застосування МАІ як інструменту структуризації проблеми передбачає також і подібну структуризацію об'єкту дослідження, що може привести до істотного спрощення представлення множинних внутрішніх зв'язків об'єкту дослідження чи навіть втрати суттєвих зв'язків. Наслідком можуть бути значні помилки при моделюванні об'єкту дослідження.

По-третє, задача визначення ЕЗПС та початкового стану прогнозування виявляється досить громіздкою, відкритими залишаються питання встановлення апіорного алфавіту станів та їх належності до експертно-значимих, задача втрачає гнучкість в разі поступового збільшення інформації, що використовується. Припустима також ситуація, коли ЕЗПС, який класифікується однаково, може визначатися суттєво різними значеннями визначальних показників.

**Аналіз та оцінка рівня національної безпеки та її складових.** Ще один методичний підхід до аналізу та оцінки рівня національної безпеки викладено в [7]. Методика багатовимірного порівняльного аналізу ґрунтується на методах таксономії з елементами факторного аналізу складається з наступних кроків.

1. Визначаються до розгляду об'єкти (аспекти), які визначають стан національної безпеки.

2. Визначаються показники, які описують властивості об'єктів.

3. Формується матриця вхідних даних

$$[X_{ij}], (i = \overline{1, \omega}, j = \overline{1, n}),$$

де  $i$  - номер об'єкта.

$j$  - номер його властивості.

4. Матриця вхідних даних зводиться до стандартизованого вигляду

$$\bar{X}_j = \frac{1}{\omega} \sum_i X_{ij}$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{\omega - 1} \sum_i (X_{ij} - \bar{X}_j)^2},$$

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{S_j}$$

5. Розраховується матриця відстаней (абсолютна середня різниця значень показників)

$$C_{rs} = \frac{1}{\omega} \sum_l |Z_{rl} - Z_{sl}|, l = \overline{1, \omega}, r, s = \overline{1, n}$$

Властивості матриці:  $C_{rr} = 0, C_{rs} = C_{sr}, C_{rs} \leq C_{rv} + C_{vs}$ .

6. Визначається критична відстань - найбільша відстань між показниками, що розташовані поблизу один до одного

$$C = \max_i \min_j (\alpha_i, \alpha_j)$$

7. Для кожного показника визначається відстань, яка не перевищує критичну

$$Q_j = (r, h) | \rho(\alpha_r, \alpha_h) \leq C, r, h = \overline{1, n}$$

8. Знаходиться сума відстаней для кожного показника

$$\omega = \sum \rho(\alpha_r, \alpha_h), (r, h) \in Q_j$$

9. Знаходиться максимальна сума відстаней

$$\omega_m = \max \omega_j.$$

10. Визначаються коефіцієнти ієрархії показників

$$\lambda_j = \frac{\omega_j}{\omega_m}.$$

11. Здійснюється розподіл показників на:

$S$  - стимулятори (конструктори), збільшення яких призводить до зростання узагальненого показника;

$D$  - де стимулятори (деструктори), зростання яких призводить до зменшення узагальненого показника.

12. Здійснюється побудова еталонного об'єкта - точки з координатами

$$Z_{01}, Z_{02}, \dots, Z_{0n}$$

$$Z_{0F} = \begin{cases} \max Z_{RF}, & \text{якщо } F \in S; \\ \min Z_{RF}, & \text{якщо } F \in D. \end{cases}$$

13. Розраховується відстань між еталонною точкою та точками-об'єктами

$$C_{i0} = \sqrt{\sum (Z_{if} - Z_{0f})^2}, f = \overline{1, n}, i = \overline{1, \omega}$$

14. Середньоквадратичне відхилення відстані

$$S_0 = \sqrt{\frac{1}{\omega} \sum (C_{i0} - \overline{C}_0)^2}.$$

$$C_0 = \overline{C}_0 + 2S_0.$$

15. Розраховуються відносні узагальнені показники об'єкту

$$d_i^* = \frac{C_{i0}}{C_0}$$

16. Розраховуються модифіковані узагальнені показники

$$d_i = 1 - d_i^*$$

Збільшення модифікованого узагальненого показника означає зростання показника якості об'єкта, зменшення модифікованого узагальненого показника — зменшення показника якості об'єкта.

**Висновки.** Воєнна безпека України це похідна від рівня розвитку економічної, інформаційної, власне військової і науково-технологічної бази держави, системи політичних стосунків у суспільстві, ступеня демократичного розвитку держави, системи міжнародних відносин.

Дійсна стаття присвячена дослідженню наступних основних напрямків воєнної безпеки, шляхів її оцінки та прогнозування:

воєнна сфера - питання військової організації держави, системи оборонного планування, у т.ч. питання оперативної і бойової підготовки військ (сил);

військово-політична сфера - питання регіональної і глобальної безпеки, миротворчої діяльності;

військово-економічна сфера - питання економічного і ресурсного забезпечення воєнного будівництва, підтримку життєдіяльності військ (сил) нарівні, що забезпечує

необхідний ступінь бойової готовності і боєздатності, питання формування оборонного бюджету і розподіл та оптимізація бюджетних ресурсів;

військово-технічна сфера (питання розвитку фундаментальної науки в інтересах забезпечення оборони країни, пошукових і прикладних досліджень, базових військових технологій, питання створення, модернізації та утилізації зразків озброєння і військової техніки, підготовка спеціальних і науково-технічних кадрів).

Розроблено базову схему методу прогнозування через аналіз експертно-значущих проміжних станів. Проаналізовану ієрархію побудови задачі оцінювання ступеня відхилення прогнозованого процесу від базисного. Побудована шкала для оцінювання важливостей факторів.

Зроблено аналіз та оцінка рівня національної безпеки та її складових. Отримано збільшення модифікованого узагальненого показника, що означає зростання показника якості об'єкта, зменшення модифікованого узагальненого показника - зменшення показника якості об'єкта.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про національну оезпеку України». Відомості Верховної Ради 2018. №31. ст.24Е
2. Горбулін В.П., Качинський О.Б. Системно-концептуальні засади стратегії національної безпеки України: монографія. - К.: ДП «НВЦ Євроатлантикіформ», 2007. -
3. Богданович В. Ю.. Маначинский А.Я. Методологические основы системных исследований проблем военной безопасности государства/-К. 2001. - 172 с.
4. Шевченко А.М. Комплексна модель системних досліджень проблем безпеки об'єктів критичної інфраструктури // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка - К 2022 -№ 77 - С 145 -160. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/77-13>.
5. Богданович В. Ю. Воєнна безпека України: методологія дослідження та шляхи забезпечення / - К.: "Тираж". 2003. - 322 с.
6. Національна безпека У країни у викликах новітньої історії / автор укладач В.І. Шпак, кер.авт.кол. С.І. Табачников. - К.: ДП «Експрес-об'ява», 2019. - 468 с.
7. Косевцов В. О.. Бінько І. Ф.. Матвієвський О. М. Методичний підхід до аналізу й оцінки рівня національної безпеки та її складових // Наука і оборона - 1995 - № 1 - С 74-77.
8. Маміч В.В., Максименко Ю.А., Попов С.А., Солодєєва Л.В., Шаршаткін Д.Ю. Дослідження особливостей сучасних гібридних війн // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка - К 2022 -№ 77 - С 145 -160. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/78-07>.
9. Методи моделювання процесів діяльності міністерства оборони України : [звіт про науково-дослідну роботу (проміжний, шифр "Афіна-2")] / наук. кер. В. Л. Шевченко! - К • НУОУ. 2010. - 90 с.
10. Шаклеина Т. А. Российская внешнеполитическая мысль: в поисках национальной стратегии / - М. : МОНФ. 1997. - 148 с.
11. Косевцов В.О.. Телелим В. М.. Шевченко В. І. Оцінка стану воєнної безпеки України // Наука і оборона. - 1998.-№ 2. - С. 3-6.
12. Горбулін В.П. Світова гібридна війна: український фронт:монографія / за заг.ред. В.П. Горбуліна. - К.: НІСД. 2017. - 496 с.
13. Ліпкан В.А. Національна безпека України : [навч. посіб.] / - [2-е вид 1 - К • КНТ 2009, —576 с.
14. Литвин М.М. Інтегрований прикордонний менеджмент у сучасних умовах // Наука і оборона. - 2010. - № 2. - С. 3-7.
15. Ленков С.В.. Лантвойт О.Б.. Артабаєв Ю.З.. Винярський Я.Я. Задача системного дослідження впливу загроз в комплексному управлінні кордоном держави // Науково-технічний журнал "Сучасний захист інформації". - К., 2011. - № 3. - С. 70-76.

16. Ленков С.В., Винярский Я.Я., Мелкумян Р.Г. Щодо задач оперативного оцінювання стану військової безпеки держави // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - Хмельницький. 2011,- №5. - С. 2011 -£. 14-19.

17. Богданович В. Ю. Теоретические основы анализа проблем национальной безопасности государства в военной сфере: монография / - К. : Основа. 2006. - 296 с.

18. Саати Г. Принятие решений: Метод анализа иерархий / Т. Саати: пер. с англ. В. Г. Вогнадзе.-М. : Радио и связь. 1993. - 184 с.

#### REFERENCES:

1. Zakon Ukraine (2018), «Pro natsionalnu bezpeku Ukraine» [About the national security of Ukraine]. Vidomosti Verhovnoyi Radi. No.31, st.241.

2.Gorbulin V.P., Kachinskij O.B. Sistemno-konceptualni zasady strategiyi nacionalnoyi bezpeki Ukrayini: monografiya. - K.: DP «N VC Yevroatlantikiform», 2007. ½ 592 p.

3.Bogdanovich V. Yu., Manachinskij A.Ya. Metodologicheskie osnovy sistemnyh issledovaniy problem voennoj bezopasnosti gosudarstva / - K. :, 2001. - 172 p.

4.Shevchenko A.M. Kompleksna model sistemnih doslidzen problem bezpeki ob'yektiv kritichnoyi infrastrukturi // Zbirnik naukovih prac Viiskovogo institutu Kiyivskogo nacionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. - K., 2022. - № 77. - pp. 145 - 160. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2022/77-13>.

5.Bogdanovich V. Yu. Voyenna bezpeka Ukrayini: metodologiya doslidzhennya ta shlyahi zabezpechennya / - K.: "Tirazh". 2003. - 322 p.

6.Nacionalna bezpeka Ukrayini u viklikah novitnoyi istoriyi / avtor ukladach V.I. Shpak. ker.avt.kol. S.I. labachnikov. — K.: DP «Ekspres-ob'yava», 2019. — 468 p.

7.Kosevcov V. O., Binko I. 1., Matviyevskij O. M. Metodichnij pidhid do analizu i ocinki rivnya nacionalnoyi bezpeki ta yiyi skladovih // Nauka i oborona. - 1995. - № 1. - pp. 74-77.

8.Mamich V.V., Maksymenko Yu.A., Popov S.A., Solodieieva L.V., Sharshatkin D.Iu. Doslidzhennia osoblyvostei suchasnykh hibrydnykh viin // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka - K 2022 -№ 77 - S 145 - 160. DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481Kh/2022/78-07>.

9.Metodi modelyuvannya procesiv diyalnosti ministerstva oboroni Ukrayini : [zvit pro naukovo-doslidnu robotu (promizhnij, shift “Afina-2”) / nauk. ker. V. L. Shevchenko], - K · NUOU. 2010. -90p.

10.Shakleina Г. А. Rossijskaya vneshnepoliticheskaya mysl: v poiskah nacionalnoj strategii /- M. : MONF. 1997. - 148 p.

11.Kosevcov V.O., Gelelim V. M., Shevchenko V. 1. Ocinka stanu voyennoyi bezpeki Ukrayini // Nauka i oborona. - 1998. - № 2. - pp. 3-6.

12.Gorbulin, V.P. (2017). Svltova glbridna vlyna: ukraYinskiy front:monografiya [World hybrid war: Ukrainian front: monograph], za zag.red. V.P. Gorbulina. - K.: NISD, - 496 p.

13.Lipkan. V.A. (2009). "Natsionalna bezpeka Ukraine" [National security of Ukraine] - K. : KNT.- 576 p.

14.Litvin M.M. Integrovaniy prikordonnij menedzhment u suchasniy umovah // Nauka i oborona, - 2010. - № 2. - pp. 3-7.

15.Lyenko S.V., Lantvojt O.B., Artabayev Yu.Z., Vinyarskij Ya.Ya. Zadacha sistemnogo doslidzhennya vplivu zagroz v kompleksnomu upravlinni kordonom derzhavi // Naukovo- tehnični zhurnal "Suchasnij zahist informaciyi". - K., 2011. -№ 3. -pp. 70-76.

16.Lyenko S.V., Vinyarskij Ya.Ya., Melkumyan R.G. Shodo zadach operativnogo ocinyuvannya stamı viiskovoyi bezpeki derzhavi // Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Tehnični nauki. - Hmelnickij, 2011.- №5. - pp. 2011 - pp. 14 - 19.

17. Bogdanovich V. Yu. Teoreticheskie osnovy analiza problem nacionalnoj bezopasnosti gosudarstva v voennoj sfere: monografiya / - K. : Osnova, 2006. - 296 p.

18. Saati. T.. Vognadze, V. G.. (1993), "Prinyatie resheniy: Metod analiza ierarhiy" [Decision-making: Hierarchical analysis method], M. : Radio i svyaz. 1993.- 184 p.

D.Sci.Tech., Lienkov S.V., Ph.D. Bernaz A.M., Ph.D. Lenkov Ye.S.,  
Ph.D. Loza V.M., Hetman A.V.

#### ANALYSIS OF THE MAIN DIRECTIONS OF MILITARY SECURITY, WAYS OF ITS ASSESSMENT AND FORECASTING

*This article is devoted to the analysis of the main directions of military security, ways of its assessment and forecasting. The military security of Ukraine is derived from the level of development of the economic, informational, actually military and scientific-technological base of the state, the system of political relations in society, the degree of democratic development of the state, and the system of international relations. The purpose of this study is the desire of the authors to systematically show all directions, their interrelationship and peculiarities of implementation in the conditions of military operations between Ukraine and Russia. The definition of the level of military security should be based on a system of indicators that comprehensively characterize the general situation in the region, the tension in the military-political relations of the parties, the ratio of the potential capabilities of the armed forces, the presence of interests in Ukraine, the implementation of which may require military force, as well as the confidence of the military the political leadership of neighboring states in the expediency of armed violence as a means of achieving political goals. The results of the analysis of events that characterized the manifestations of military security in wars and armed conflicts of the last decades in the political, military, economic, informational, religious, territorial and ethnic spheres are given. It is considered as a consistent selection of expertly significant intermediate states (ESPS) of the process of realization of national interests or the system of ensuring the national security of the state. For each selected ESPS, sets of main participants, forces, factors, etc. are formed, which, according to experts, will influence the deviation of the forecast scenario from the basic one in EZPS and a set of factors that describe or relate to the forecasted scenario are fixed, possible micro-scenarios are built and the degrees of their deviation from the basic scenario are evaluated using the technologies of multivariate analysis in - the method of analysis of hierarchies. A scale of relative importance is presented, and an analysis and assessment of the level of national security and its components is made. As a result of research, it is substantiated that an increase in the modified generalized indicator means an increase in the object's reliability (safety) indicator, and its decrease means a decrease in this indicator.*

**Key words:** military security, forecasting, military organization of the state, defense planning system, expertly significant intermediate states.

к.т.н., доц. **Маміч В.В.** (ВА м. Одеса)  
к.т.н., доц. **Максименко Ю.А.** (ВА м. Одеса)  
д.н. з держ.упр., проф. **Попов С.А.** (ВА м. Одеса)  
д.т.н., проф. **Сєлюков О.В.** (Аерокосмічної школи  
Сіаньського університету Цзяотун, Сіань, Китай)  
**Шаршаткін Д.Ю.** (ВА м. Одеса)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-05>

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАХИСТУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ВІД БАРАЖУЮЧИХ БОЄПРИПАСІВ

*В даній роботі розглянуто можливість захисту озброєння та військової техніки від баражуючих боєприпасів. Розкриті основні підходи до сучасної класифікації баражуючих боєприпасів, відмічено, що в зоні бойових дій країни-агресора Росії проти України постійно використовуються безпілотні літальні апарати та баражуючі боєприпаси різних типів та модифікацій для знищення озброєння та військової техніки. Відмічено, що з розвитком сучасних технологій з'явилась можливість виготовлення безпілотних літальних апаратів з меншими розмірами, але з кращими можливостями щодо ведення постійної розвідки, нанесення масованих раптових ударів з використанням баражуючих боєприпасів, що значно ускладнило боротьбу з ними засобами та силами протиповітряної оборони. Розглянуто різноманітні засоби захисту озброєння та військової техніки від нападу баражуючих боєприпасів з верхньої напівсфери. В даній роботі відмічено, що науково-технічний прогрес не обійшов і безпілотні літальні апарати, нові технології передачі та обробки інформації, появи нової елементної бази, їх виробництво стало дешевіше, а їх можливість у бойовому застосуванні та технічному оснащенні значно покращились. Модернізація та удосконалення безпілотних ударних апаратів привели до збільшення дальності польоту, збільшення корисної дії двигуна, а також зменшення його шуму, збільшення енергоємності елементів живлення; покращення систем навігації, управління; вдосконалення планера щодо зменшення ваги, розмірів, ефективного площі розсіювання. Засоби вогневого враження теж були модернізовані, на них почали ставити керовані ракети, а також встановлюються засоби радіоелектронної боротьби, вдосконалені технічні засоби розвідки, покращені системи фототехнічного та відеоспостереження. Все це привело до вдосконалення методик бойового застосування безпілотних літальних апаратів та зростання їх ролі у сучасних збройних конфліктах. Проведено аналіз можливостей засобів протиповітряної оборони по захисту озброєння та військової техніки від безпілотних ударних апаратів і баражуючих боєприпасів та розроблені напрямки по підвищенні ефективності їх знищення різними засобами вогневого ураження.*

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, баражуючі боєприпаси, озброєння та військова техніка, протиповітряна оборона.

**Вступ.** В сучасному світі роль і значення захисту озброєння та військової техніки (ОВТ) від баражуючих боєприпасів (ББ) об'єктивно зростає, тому, що цей тип безпілотних ударних апаратів (БУА) розвивається найбільш активно завдяки науково-технічному прогресу у галузі створення економічних двигунів, високоточних систем наведення, малогабаритних бортових цифрових обчислювальних машин та ін. Сучасні ББ являють собою свого роду крилаті ракети, які здатні баражувати 6–9 годин в районі очікування. Вони мають сучасну систему навігації та прицілювання, здатні наводитись на ціль та тримати її в прицілі маневруючи на підльоті до неї на швидкості до 550 км/год. Наприклад, ББ “Orbiter III” може баражувати 6-8 годин, його бойова частина важить всього 3 кг. “Skystriker” більше важкий, його бойова частина може мати вагу до 10 кг. Такий боєприпас може знищувати різноманітне озброєння та військову техніку собівартістю якої значно більше собівартості боєприпасу [1]. Модернізація та удосконалення ББ, з урахуванням сучасних технологій і збільшенню поставлених перед ними завдань, буде направлена на покращення планера, з метою зменшення ефективного площі розсіювання, покращення тактико-технічних характеристик малогабаритних двигунів, що значно збільшить

тривалість та дальність польоту, покращенню технічних характеристик систем навігації і зв'язку. Розробка перспективних ББ планується проводитися шляхом підвищення автономності пересування, стійкості до завад від засобів радіоелектронної боротьби, удосконалення системи управління та алгоритму обробки зображень. Покращення тактико-технічних характеристик ББ дозволить використовувати їх масово у складі великих груп нападу, при цьому управління цими групами планується виконувати автоматизованою системою, особлива увага при цьому буде направлена на організацію взаємодії з іншими засобами вогневого ураження, силами спеціальних операцій та пілотованою авіацією. Звісно, що розробка, удосконалення та модернізація перспективних ББ значно ускладнить протидію та боротьбу з ними при захисті ОВТ, тому для підвищення ефективності захисту ОВТ у повітряно-наземному бою, коли замість класичної авіації і гелікоптерів будуть використовуватися ББ, необхідно розробити спеціальні заходи, які дозволили б уникнути великих втрат ОВТ і особового складу [2]. На думку військових вчених найбільш масово ББ були застосовані під час збройних конфліктів в Сирії, Лівії та Нагорному Карабасі. Під час збройного конфлікту в Сирії (операції “Щит Єфрату” (2016 р.), “Оливкова гілка” (2017 р.), “Джерело миру”(2019 р.), “Весняний щит” (2020 р.) основними типами БЛА, які застосувала Турецька армія, були: ударний БЛА “Bayraktar TB2” та багатоцільовий “Anka-S”, що несли високоточні боєприпаси (МAM-L і МAM-C). ББ в Сирії виконувала завдання розвідки, спостереження, наведення й коригування вогню артилерії та нанесення ударів. Масове застосування безпілотних літальних апаратів у сучасних військових конфліктах та у повномасштабній військовій агресії держави-терориста Росії проти України дозволяє проаналізувати нові тактичні прийоми і способи їх використання за призначення. Так в ході проведення бойових операцій по знищенню ОВТ створювалося 7 – 11 тактичних груп, які здійснювали баражування в 45 км від лінії фронту і вступали в бій перед атакою. Окремо на висоті 9 – 11 км знаходився один апарат, який здійснював загальний контроль та управління групами, а на висотах 5 – 7 км знаходилися розвідувальні та ударні апарати. При цьому баражуючи боєприпаси виконували бойові завдання на малих і дуже малих висотах. Таким чином, дослідження питань використання ББ в сучасних воєнних конфліктах показало, що існує тенденція постійного збільшення їх ефективного застосування.

**Аналіз останніх досліджень.** На теперішній час існує багато літературних джерел де розкриваються питання історичного розвитку безпілотної ударної авіації. В них звертається увага на те, що завдання ефективного захисту озброєння та військової техніки від ББ стає все складніше, оскільки процес модернізації і удосконалення їх постійно нарощується. Це такі публікації як [1-3]. В останні роки появилось багато публікацій присвячених питанням протидії, боротьбі та знищенню ББ, які приносять багато шкоди ОВТ та особовому складу підрозділів. При цьому особлива увага звертається на модернізацію системи розвідки, удосконаленню методів застосування стрілецької зброї для забезпечення щільного осколкового поля, всебічного комплексування зенітного та зенітно-ракетного озброєння, забезпечення місця розташування ОВТ хибними позиціями для введення противника в оману, нанесення на елементи ОВТ спеціальних покриттів, які суттєво зменшують ефективну поверхню його розсіювання та погіршують виявлення і ідентифікацію ОВТ. Це такі роботи як [4-5]. Таким чином, на основі проведеного аналізу наукових джерел встановлено, що проблема захисту озброєння та військової техніки від баражуючи боєприпасів не є вирішеною остаточно. Абсолютна більшість існуючих засобів і методів активної і пасивної боротьби з ударною авіацією і баражуючими боєприпасами, які займають провідні позиції для вирішення поставленої задачі, що розглядається, мають значні недоліки, про що свідчить досвід сучасних військових конфліктів [6-9].

**Мета статті.** В роботі проведено аналіз нових систематизованих підходів щодо підвищення ефективності захисту ОВТ від ББ на основі досвіду бойового застосування їх у сучасних військових конфліктах з урахуванням досвіду повномасштабного вторгнення держави-терориста Росії в Україну. Тому задача підвищення ефективності процесу

виявлення, ідентифікації та надійного знищення баражуючих боєприпасів є дуже актуальною для захисту ОВТ та угруповань військ і вимагає ретельного аналізу.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні військові конфлікти характеризуються високими втратами особового складу, озброєння та військової техніки завдяки масованого використання безпілотної ударної авіації і баражуючих боєприпасів. Для організації ефективної протидії ним засобами протиповітряної оборони необхідно враховувати чинники, що ускладнюють їх виявлення та ідентифікацію. Це малі геометричні розміри та мала ефективна поверхня відбиття, що додатково забезпечується використанням в їх конструкції композитних матеріалів [3]. Тому найкращі характеристики виявлення мають засоби з найменшою довжиною хвилі – оптичні засоби розвідки, радіолокаційні засоби міліметрового діапазону та інші. Для підвищення ефективності боротьби з ББ необхідно враховувати малі геометричні розміри, які ускладнюють ураження їх ракетами та зенітними боєприпасами із контактним підривом. Мала акустична помітність і мале температурне випромінювання завдяки переривчастому режиму роботи двигуна та відводу відпрацьованих газів у верхню на півсферу значно ускладнюють знищення їх ракетами з тепловими головками самонаведення. Для аналізу нових систематизованих підходів щодо підвищення ефективності захисту ОВТ від ББ необхідно враховувати те, що вони мають можливість діяти автономно. Робота бортових навігаційних систем забезпечується корекцією за допомогою приймачів систем глобального позиціонування, а також дозволяють передавати розвідувальну інформацію з координатною прив'язкою в режимі реального часу (результати зйомки телекамери, телевізійної камери, фотоапарату, поточних координат, швидкості польоту, поточний режим польоту та іншу інформацію) та вести її запис в ході польоту. Необхідно враховувати, що для боротьби з ББ можуть бути використані їх демаскуючі фактори у оптичному діапазоні хвиль, візуальна видимість вдень на фоні неба, вночі по спалахам при роботі двигуна внутрішнього згорання чи бензогенератора, за сигналами навігаційних вогнів, а також наявність радіовипромінювання в мережі управління, навігації та передачі інформації [4]. Це дозволить бойовим розрахункам використовувати штатні пасивні радіопеленгатори для визначення азимуту на ББ при відсутності їх візуальної видимості та знищувати їх щільним осколковим полем. Протидії та зниження ефективності використання ББ об'єктивно зростає, що обумовлено насамперед особливостями розвитку економічних процесів в державах, недостатньої стабільності як в політичній сфері, так і в суспільному житті. Досвід повномасштабної війни Росії в Україні переконливо свідчить про збільшення випадків масованого застосування ББ для вирішення своїх терористичних планів різних рівнів, при нанесенні ударів по жилим кварталам наших міст та селищ, при знищенні нашої інфраструктури та об'єктів логістики. Все це суттєво змінює сутність збройної боротьби у повітрі. За таких умов особливе значення мають дослідження, що пов'язані з аналізом можливостей способів і прийомів захисту ОВТ від безпілотної ударної авіації. Важливим фактором в боротьбі з ББ повинно бути всебічне застосування комплексу військових заходів з протидії системам розвідки, управління і бойового застосування [5]. Науково-технічний прогрес провідних країн світу звісно вплинув і на удосконалення технологій виготовлення ББ, масового використання їх у бойових операціях. Все це вимагає створювати новітні засоби протиповітряної оборони, в зв'язку з відсутністю повноцінного захисного купола оборони, здатного протистояти різноманітним ББ. Це і визначає головну проблему даної роботи та її актуальність. На думку військових вчених основними факторами недостатньої ефективності системи захисту ОВТ від БУА є: наявність достовірної розвідувальної інформації про розміщення засобів ППО та обізнаність про порядок їх застосування у повітряного противника та недостатня наявність інформації у сил ППО про порядок дій БУА противника; комплексне застосування їх різних типів та призначення; активне застосування таких типів бойової ударної авіації, як баражуючі боєприпаси, які діють одночасно з різних напрямків, мають ЕПР ( $0,01 \dots 0,02 \text{ m}^2$ ), що не дозволяє засобам ППО своєчасно виявити та обстріляти баражуючі боєприпаси; наявність у зоні ураження кожного ЗРК такого поняття, як ближня межа зони ураження та “мертва воронка”; неефективне безпосереднє прикриття ОВТ з причини

невідповідності можливостей залучених сил та засобів безпосереднього прикриття технічним характеристикам БУА та відсутності навичок бойових обслуг вогневих засобів ППО в боротьбі з сучасними типами БУА [6]. Що стосується засобів ППО сухопутних військ, то слід зазначити, що вони виявились недостатньо ефективними в боротьбі з ББ. Для розробки нових систематизованих підходів щодо підвищення ефективності захисту ОВТ від ББ та побудови ефективної системи боротьби з БУА необхідно використовувати її слабкі сторони, такі, як: уразливість від вогню засобів ППО; погодозалежність, наявність ряду демаскуючих ознак (електромагнітне, інфрачервоне, акустичне та радіовипромінювання), а також чутливість до впливу завад і “хакерських” атак; недостатньо відпрацьована взаємодія при спільному застосуванні пілотованої та безпілотної авіації [7]. Дослідження роботи військово-промислових комплексів провідних країн світу показує, що США значно випереджають інші країни у розвитку воєнної БУА. Їх експерти вважають, що ЗС США потенційно вразливі для ударів БУА інших країн. За словами спеціалістів в американській армії немає системного підходу до організації оборони від ударів БУА середнього та малого класу, тому військові вчені Пентагона працюють над рішенням важливої задачі сьогодення розробкою та відпрацюванням загальної концепції боротьби з БУА та ББ. Особливу увагу пропонується звернути на розробку нових засобів ППО, які б були спроможні вести ефективний захист ОВТ та особового складу від подібних загроз, але розробка, виробництво і прийняття на озброєння нових засобів ППО дуже складний та тривалий процес, що потребує великих фінансових ресурсів, а тактико технічні характеристики їх в процесі виробництва можуть не повністю відповідати перспективним зразкам ББ. Тому дослідження перспективного підвищення ефективності захисту ОВТ від ББ пропонується направити на розробку загальної системи боротьби з ними, яка врахувала би усі недоліки та слабкі сторони у роботі ББ. Загальна система повинна мати часткову систему управління силами та засобами боротьби, часткову систему РСБ, часткову систему розвідки та вогневого впливу, часткову систему безпілотної прикриття та інженерного забезпечення, розвинуту часткову систему хибних позицій та маскування [8]. Комплексне застосування часткових систем за допомогою автоматизованих систем управління (АСУ) забезпечить значне підвищення ефективності захисту ОВТ від ББ. При цьому особливу увагу необхідно звернути на розвідувальну інформацію про повітряного противника. Вона повинна здійснюватись в єдиній інформаційній мережі, створеній з застосуванням завадостійких засобів зв'язку та відображення інформації [9]. Сучасна інформаційна мережа дозволить якісно використовувати мобільні засоби вогневого ураження, які будуть створювати щільне осколкове поле за допомогою гарматно-стрілецького озброєння. Створення загальної системи боротьби з безпіотною ударною авіацією та баражуючими боеприпасами, яка враховує основні недоліки їхнього застосування, дозволить значно підвищити можливості захисту озброєння і військової техніки та особового складу бойових розрахунків у сучасному бою [10].

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Таким чином, постійна модернізація і удосконалення засобів безпілотної ударної авіації та баражуючих боеприпасів вимагають створення сил протидії, які можуть ефективно боротись з ними. Головним аспектом успішної протидії ББ засобами вогневого прикриття буде створення умов невизначеності при застосуванні БУА та ББ. Щодо складу сил та засобів, що їм протистоять, ці питання повинні бути запрограмовані у загальній системі протидії, яка повинна також враховувати комплексне застосування вогневих і не вогневих засобів боротьби [11]. Науково-технічний прогрес сучасності дозволяє використовувати новітні технології при виготовленні планеру БУА та ББ, що значно зменшує їх ефективну поверхню розсіювання та вони стають практично непомітними для класичних радіолокаційних станцій РЛС ППО. Тому необхідно для своєчасного виявлення і розпізнавання БУА та ББ залучати мобільні малогабаритні РЛС з дальністю дії до 70 км., з різними діапазонами хвиль. Особливу увагу необхідно звернути на впровадження сучасних засобів відображення інформації в єдиній інформаційній мережі, що дозволить територіально рознести позиції засобів вогняного ураження, засобів радіоелектронної боротьби та радіолокаційної розвідки [12]. Для підвищення можливостей

захисту ОВТ від ББ необхідно комплексне застосування засобів вогневого прикриття, при цьому гарматно-стрілецьке озброєння бажано використовувати з автоматичною системою управління вогнем та боеприпаси з програмованим повітряним підривом. Як свідчить досвід сучасних військових конфліктів, засоби радіоелектронної боротьби необхідно застосовувати з різних позицій одночасно. При цьому позиції РЕБ повинні бути розташовані поблизу лінії розмежування та засоби РЕБ необхідно мати мобільними для швидкої зміни позицій в залежності від зміни обстановки сучасного бою. А головна задача їх заглушувати канали управління та виводити з ладу електронне обладнання ББ. Важливе значення для підвищення ефективності боротьби з ББ має удосконалення і модернізація інженерного обладнання позицій ОВТ, забезпечення їх якісного маскуванню та обладнання достовірних хибних позицій [13]. На нашу думку напрямки подальших досліджень повинні знаходитись в площині розробки теоретичних матеріалів та методик обґрунтування необхідності створення загальної системи боротьби з ББ, при цьому особливу увагу необхідно звернути на удосконалення складу сил та засобів загальної системи боротьби, визначення порядку взаємодії часткових систем та розробкою критеріїв оцінки ефективності роботи загальної системи боротьби з небезпечною зброєю сучасних війн баражуючими боеприпасами [14]. Особливу увагу необхідно приділити використанню інженерного обладнання позицій ОВТ та маскувальних властивостей місцевості з метою забезпечення таємності переміщення військ і ОВТ, своєчасно готувати маршрути руху з урахуванням природних масок та полів невидимості, утворених складками місцевості або місцевими предметами, екранування зразків ОВТ металевією сіткою (для розсіювання кумулятивної струї) [15]. Обов'язково обладнувати хибні позиції на відстані 1-3 км від реальних. На місцях хибних позицій періодично здійснювати вогневу діяльність, ведення радіообміну з використанням різних засобів зв'язку, залишати сліди життєдіяльності, періодично переміщувати макети ОВТ, активно застосовувати табельне аерозольне маскуванню, вогонь з ОВТ вести виключно із посадок, галявин лісу, щоб ускладнити пряме влучання, після кожної стрільби здійснювати внутрішньо-позиційний маневр, здійснювати скритне підвезення боеприпасів та переміщення підрозділів, у разі виявлення БУА та ББ – залишити бойову машину (не намагатись втекти на машині), відбігши від неї на певну відстань (50 – 100 м), здійснити спроби його ураження за допомогою стрілецького озброєння.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дудуш А.С., Тютюнник В.О., Резніченко О.А., Гогонянц С.Ю. «Сучасний стан та проблеми протидії маловисотним, низькошвидкісним та малорозмірним БПЛА» – <http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>;
2. Евтодьева М. Г., Целицкий С.В. «Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства» - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09);
3. Alexeev Alex. «Настоящее и будущее беспилотной авиации» <https://topwar.ru/89642-Часть-1-Военное-обозрение.-2016>.
4. Растопчин В.В. «Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния»; «Стандарт NATO AJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS. 2016»;
5. Корольов Р.В., Растопчин. В.В. «Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів», [Електронний ресурс] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>
6. Заблоцький В. «Які особливості мала турецька операція “Весняний щит” у Сирії». (Дроноцентричний удар) [Електронний ресурс] Defense express.– 2020.– Режим доступу: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/dronotsentrichnij\\_udar-457.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/dronotsentrichnij_udar-457.html).
7. Коваленко А. «Российские ЗРК линейки малой и средней дальности оказались бесполезными против малогабаритных ударных БПЛА» [Електронний ресурс]: Одесский курьер. 19.12.2020. – Режим доступу: <https://uc.od.ua/columns/1533/1231999>.
8. «Пораховано, скільки “Панцирь С1” втрачено у Сирії та Лівії» [Електронний ресурс]: // Defense express. – 2020. – Режим доступу: <https://defenceua.com/news>

9. Аксенов П. «Война дронов в Карабахе: как беспилотники изменили конфликт между Азербайджаном и Арменией» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/features-54431129>.

10. Алімпієв А.М., І. Кушнір І., Васюта К.С. «Застосування досвіду АТО для підготовки фахівців зв'язку РТЗ та ІС:», навчальний посібник. Харків: Університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. 2016. 322-324 с.

11. Білецький І.Г., Андронов В.В. «Особливості застосування безпілотної розвідувальної авіації в сучасних воєнних конфліктах»: Навчальний посібник. Системи озброєння і військова техніка. Харків: Університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. 2010. 118-124 с.

12. Мосов С.П., Хорошилова С.Й. «Особливості застосування оперативно-тактичної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах ХХ століття»: Збірник наукових праць. Київ: Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського. 2018. № 2(63). – 104-109 с.

13. Мосов С.П., Хорошилова С.Й. «Особливості застосування стратегічної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах ХХІ століття»: Збірник наукових праць. Київ: Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського. 2018. № 3(64). 97-102 с.

14. Шулежко В.В., Доска О.М., Рогуля О.В. «Основні напрямки розвитку та застосування безпілотної літальних апаратів»: Збірник наукових праць. Харків: Харківський національний університет Повітряних Сил, 2010. № 4(26). 56-60 с.

15. Жарик О.М. «Досвід створення і застосування ударних БПЛА багаторазового використання»: Збірник наукових праць. Київ: Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2013. № 1(10). 30-38 с.

#### REFERENCES:

1. Dudush A.S., Tyutyunnyk V.O., Reznichenko O.A., Hogonyants S.Yu. "Current state and problems of countering low-altitude, low-speed and small-sized UAVs" - <http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>;

2. Evtodyeva M. G., Tselitsky S.V. "Unmanned military aircraft: trends in development and production" - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09);

3. Alexeev Alex. "Present and future unmanned aviation" <https://topwar.ru/89642-> Part 1 Military review. - 2016.

4. Rastopchyn V.V. "Strike unmanned lethal devices and anti-aircraft defense - problems and prospects of confrontation"; "NATO standard AJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS. 2016";

5. Korolev R.V., Rastopchyn. V.V. "Analysis of modern means of destroying unmanned aerial vehicles", [Electronic resource] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>

6. Zablotsky V. "What were the peculiarities of the Turkish operation "Spring Shield" in Syria." (Dronecentric strike) [Electronic resource] Defense express.– 2020.– Access mode: [https://defence-ua.com/weapon\\_and\\_tech/dronotsentrichnij\\_udar-457.html](https://defence-ua.com/weapon_and_tech/dronotsentrichnij_udar-457.html).

7. Kovalenko A. "Russian anti-aircraft missiles of short and medium range proved to be useless against small-sized strike UAVs" [Electronic resource]: Odessa courier. 19.12.2020. – Access mode: <https://uc.od.ua/columns/1533/1231999>.

8. "Calculated how many "C1 Armor" were lost in Syria and Libya" [Electronic resource]: // Defense express. – 2020. – Access mode: <https://defenceua.com/news>

9. Aksenov P. "Drone war in Karabakh: how drones changed the conflict between Azerbaijan and Armenia" [Electronic resource]: Access mode: <https://www.bbc.com/russian/features-54431129>.

10. Alimpiev A.M., I. Kushnir I., Vasyuta K.S. "Application of ATO experience for the training of RTZ and IS communication specialists", training manual. Kharkiv: Air Force University named after I. Kozheduba. 2016. pp. 322-324.

11. Biletsky I.G., Andronov V.V. "Features of using unmanned reconnaissance aircraft in modern military conflicts": Training and manual. Weapon systems and military equipment. Kharkiv: Air Force University named after I. Kozheduba. 2010. 118-124 p.

12. Mosov S.P., Khoroshilova S.Y. "Features of the use of operational-tactical unmanned reconnaissance aircraft in military conflicts of the 20th century": Collection of scientific papers. Kyiv: Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovskyi. 2018. No. 2(63). - 104-109 p.

13. Mosov S.P., Khoroshilova S.Y. "Features of the use of strategic unmanned reconnaissance aircraft in military conflicts of the 21st century": Collection of scientific papers. Kyiv: Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovskyi. 2018. No. 3(64). 97-102 p.

14. Shulezhko V.V., Doska O.M., Rogulya O.V. "Main directions of development and application of unmanned aerial vehicles": Collection of scientific papers. Kharkiv: Kharkiv National University of the Air Force, 2010. No. 4(26). 56-60 p.

15. Zharyk O.M. "Experience in the creation and use of multi-use shock UAVs": Collection of scientific papers. Kyiv: Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. 2013. No. 1(10). 30-38 p.

Ph.D. Mamich V.V., Ph.D. Maksimenko Yu.A.,

D.h. from state management, prof. Popov S.A.,

D.Sci.Tech., prof. Sieliukov O.V., Sharshatkin D.Yu.

#### **RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF PROTECTING WEAPONS AND MILITARY TECHNIQUES AGAINST BARGAINING AMMUNITIONS**

*This work considers the possibilities of protecting weapons and military equipment from barrage ammunition. The main approaches to the modern classification of barrage munitions are revealed, it is noted that in the zone of hostilities of the aggressor country Russia against Ukraine, unmanned aerial vehicles and barrage munitions of various types and modifications are constantly used to destroy weapons and military equipment. It was noted that with the development of modern technologies, it became possible to manufacture unmanned aerial vehicles with smaller dimensions, but with better capabilities for conducting constant reconnaissance, delivering massive surprise strikes using barrage ammunition, which made it much more difficult to fight them with air defense means and forces. In this work, it is noted that scientific and technical progress has not bypassed unmanned aerial vehicles, new information transmission and processing technologies, the appearance of a new element base, their production has become cheaper, and their capabilities in combat use and technical equipment have improved significantly. Modernization and improvement of unmanned impact devices led to an increase in the flight range, that is, an increase in the useful effect of the engine, as well as a decrease in its noise, an increase in the energy consumption of power cells; improvement of navigation and management systems; improvement of the airframe to reduce weight, dimensions, effective scattering area. Means of fire impression were also modernized, guided missiles began to be placed on them, as well as means of radio-electronic warfare, improved technical means of intelligence, improved photo and video surveillance systems were installed. All this led to the improvement of methods of combat use of unmanned aerial vehicles and the growth of their role in modern armed conflicts. An analysis of the capabilities of air defense means to protect weapons and military equipment from unmanned attack vehicles and barrage munitions was carried out, and directions were developed to increase the efficiency of their destruction by various means of fire damage.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicles, barrage ammunition, weapons and military equipment, air defense.*

к.с.-г.н., доц. **Пасічник Н.А.** (НУБіП м.Київ)  
к.т.н., доц. **Опришко О.О.** (НУБіП м.Київ)  
д.т.н., проф. **Шворов С.А.** (НУБіП м.Київ)  
д.т.н., проф. **Василенко В.В.** (НУБіП м.Київ)  
**Теплюк В.М.** (НУБіП м.Київ)  
**Глуган Ф.В.** (НУБіП м.Київ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-06>

## МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ МІСЦЕВОСТІ В НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ БПЛА

*У роботі проаналізовані сучасні методи аналізу зображень місцевості в навігаційних системах БПЛА та наведені експериментальні результати досліджень методу навігації БПЛА на основі застосування просторово-спектральних портретів об'єктів на ділянках місцевості. В умовах радіоелектронного придушення навігаційної системи БПЛА засобами РЕБ існує актуальна потреба в розробці та застосуванні нових завадозахищених методів навігації БПЛА. Метою роботи є удосконалення методів аналізу зображень місцевості в системах технічного зору БПЛА. Для досягнення цієї мети у роботі вирішувались такі завдання: проведено аналіз можливого використання існуючих методів та систем технічного зору на БПЛА; здійснено обґрунтування методу аналізу зображень з використанням просторово-спектральних портретів місцевості в системах технічного зору БПЛА.*

*Проаналізовано метод обчислення пройденого шляху на основі аналізу потоку відеоданих, які надходять з оптикоелектронних приладів спостереження, метод точної прив'язки до рельєфу за стереоефектом, що виникає під час руху камери та метод точної прив'язки за еталонними фотографіями. З метою підвищення ефективності навігаційної системи БПЛА запропоновано застосування просторово-спектральних портретів об'єктів на ділянках місцевості. При цьому кадри відео порівнюються із закладеними спектральними портретами ділянок маршруту, у разі «впізнання» визначаються точні координати та орієнтація БПЛА. Застосування цього метода пов'язане з необхідністю врахування впливу змін освітлення на спектральні показники об'єктів та ділянок місцевості. В дослідженні розглянуто існуючі методики корекції змін освітлення для різних фотоапаратів в лабораторних та польових умовах. Для проведення корекції щодо змін природнього освітлення запропоновано використовувати експериментально отримані залежності під конкретні марки сенсорного обладнання. При побудові систем навігації по спектральним портретам місцевості рекомендовано використовувати об'єкти та ділянки з найбільш стабільними, щодо змін освітлення, оптичними характеристиками.*

**Ключові слова:** БПЛА, навігаційні системи, технічний зір, аналіз зображень, портрети, об'єкти.

**Вступ.** В ході бойових дій створюються принципово нові виклики щодо придушення навігаційної системи БПЛА засобами РЕБ. Це пов'язано з тим, що в систему навігації на переважній кількості малих БПЛА входять недостатньо завадозахищені канали зв'язку приймача сигналів зі супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). До найпоширеніших СРНС належать системи: ГЛОНАСС (Росія), GPS/NAVSTAR (США), Beidou (Китай), Galileo (ЄС). Сигнали СРНС формуються на частотах в діапазоні 1,1-1,6 ГГц. Як правило, прості навігаційні системи, що встановлюються на малі БПЛА, використовують інтегрований режим обробки сигналів від кількох СРНС, що підвищує точність навігації як в горизонтальній площині, так і по висоті. На більш складніших БПЛА встановлюються елементи автономної навігаційної системи – акселерометри, гіроскопи, барометри, лазерні висотоміри тощо. Загальноприйнятою нормою точності авіаційних інерційних навігаційних систем (ІНС) «середньої точності» є помилка обчислення шляху 1,8 км за 1 годину польоту. Така точність досягається авіаційними ІНС на основі лазерних чи волоконно-оптичних гіроскопів. Однак,

значна маса таких ІНС робить проблематичним їх використання на малих (і навіть середніх) БПЛА. В результаті на малих БПЛА встановлюються простіші ІНС, які оснащені мікромеханічними датчиками руху – акселерометрами та гіроскопами. Така ІНС без її корекції за сигналами СРНС не в змозі здійснювати автономне числення пройденого шляху через високі швидкості дрейфу гіроскопічних датчиків. Нагромаджувана помилка мікромеханічних ІНС в умовах відсутності коригувальних сигналів СРНС за 1 хв становить до 3 м по горизонталі та 2 м по вертикалі. Таким чином, такі ІНС здатні без сигналів СРНС підтримувати прийнятну точність польоту на рівні 100-150 м на протязі не більше 10 хв. При цьому, як правило, мається на увазі підтримка режиму прямолінійного польоту без прискорень та маневрів.

При використанні інерційної системи наднизької точності (особливо на БПЛА ближньої дії) відсутність коригувальних сигналів від СРНС може призвести до «розвалу» інерційної системи та аварії БПЛА. Тому придушення СРНС розглядається як основний метод боротьби з БПЛА. Застосування високоточних інерційних навігаційних систем також не вирішує проблему з таких причин [3]: ці системи дорогі (від 30-50 тис. доларів); маса інерційної системи «середньої точності» на лазерних чи волоконно-оптичних гіроскопах становить від 8 кг, що робить проблематичним їх використання на БПЛА малої та навіть середньої дальностей; важливим обмеженням інерційних навігаційних систем є зростання помилки визначення координат із часом автономної роботи. Таким чином, виникає типове протиріччя: методи, що призводять до покращення точності навігації, одночасно призводять до втрати системою автономності та стійкості до перешкод. Ця суперечність зменшується введенням відеонавігації спільно з визначенням координат БПЛА по пеленгаційних вимірах на об'єкт, що спостерігається, з відомими координатами. Для використання відеонавігаційного способу необхідно отримувати зображення місцевості камерою, потім проведення його аналізу бортовим комп'ютером і, виходячи з цього аналізу, знаходити координати та орієнтацію літального апарату. Ці методи аналогічні методам, які використовує людина для орієнтації у просторі. Виробники безпілотних систем проводять дослідження та розробки, спрямовані на забезпечення автономності застосування БПЛА за умов відсутності сигналів супутникової навігації на основі альтернативних джерел даних. До таких даних належать передусім видова інформація, що надходить з бортових фото та відеокамер денного та інфрачервоного діапазонів, що є актуальним для вирішення завдань навігації БПЛА у середовищах без застосування GPS [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** показав, що компанія RockwellCollins, яка виробляє апаратуру навігації та управління польотом для БПЛА різних типів, оголосила про завершення розробки Vision Augmented Inertial Navigation System (VAINS), в якій забезпечується корекція інерційної системи за швидкістю та координатами від відеокамери без сигналів супутникової навігаційної системи [2, 3]. В основу таких розробок покладено наступні базові методи:

1. Обчислення пройденого шляху на основі аналізу потоку відеоданих, що надходить з оптикоелектронних приладів спостереження. У першому кадрі відеопотоку знаходяться характерні точки і далі відбувається відстеження їхнього переміщення в кадрі. За характером переміщення програма визначає як змінюється положення та орієнтація самої камери. Основним обмеженням методу є можливість лише відносного визначення координат та орієнтації, що може призвести до зростання помилки навігації з часом. Також можуть бути причини, що призводять до неможливості знайти відповідні пари точок на знімках: недостатня освітленість, неможливість використання у разі хмарності, неможливість використання над гладкою поверхнею без характерних особливих точок;

2. Метод точної прив'язки по рельєфу за стереоефектом, що виникає під час руху камери. Цей спосіб дозволяє частково компенсувати недоліки першого методу. Використовуючи перекриття потоку фото-відеоданих – відновлюється рельєф, який порівнюється із закладеними в пам'ять даними, у разі «впізнання» визначаються точні координати та орієнтація. Основна перевага перед попереднім методом – можливість знайти не тільки

відносні, а й абсолютні значення координат камери, оскільки знання карти прив'язує камеру до конкретних точок на місцевості з відомими абсолютними координатами. Це веде до того, що помилка навігації не зростає з часом. Основний недолік методу – чутливість до занадто великих помилок вихідних координат камери, отриманих від інерційних навігаційних приладів, які метод повинен уточнювати. Також зберігається і такий недолік першого методу, як неможливість роботи над водною або піщаною поверхнею та виникнення суттєвої помилки у відсутності явно вираженого рельєфу;

3. Метод точної прив'язки за еталонними фотографіями – кадри відео порівнюються із закладеними в базу даних зображеннями ділянок маршруту, у разі «впізнання» визначаються точні координати та орієнтація. Цей метод забезпечує високу точність визначення абсолютних координат навіть за відсутності рельєфу. Він також дозволяє знайти абсолютне місцезнаходження камери, навіть коли її приблизні координати взагалі невідомі. Це досягається шляхом сканування всієї бази даних зі знімками місцевості та порівняння їх із поточним знімком. Крім того, маючи «прив'язаний» знімок, можна з високою точністю визначати координати наземних об'єктів, виявлених оптико-електронною апаратурою. Якщо колір об'єкта відрізняється від фону, то «прив'язка» знімків відбувається за допомогою наступного алгоритму [4]: виділення пікселів, відповідних заданому об'єкту; виділення знайдених об'єктів контурами; знаходження прямокутника, до якого потрапляють усі точки контуру об'єкту. Однак, впровадження цього методу потребує вирішення ряду методологічних питань, зокрема врахування впливу змін освітлення на спектральні показники об'єктів.

**Метою роботи** є удосконалення методів аналізу зображень в системах технічного зору БПЛА.

Для досягнення цієї мети виникає необхідність у вирішенні наступних завдань:

1. Провести аналіз можливого використання існуючих методів та систем технічного зору (СТЗ) на БПЛА;
2. Обґрунтувати метод аналізу зображень об'єктів з використанням просторово-спектральних портретів місцевості в системах технічного зору БПЛА.

**Результати дослідження.** При використанні кореляційних методів зіставлення поточного і еталонного зображень принцип порівняння поточного зображення з еталоном ґрунтується на розгляді зображень як двовимірних функцій яскравості (дискретних двовимірних матриць інтенсивності). При цьому вимірюється або відстань між зображеннями, або міра їх близькості.

Згідно [5], в узагальненій формі процес технічного зору містить наступні основні етапи: формування зображення; попередня обробка зображення; сегментація зображення; опис і аналіз зображення.

Узагальнена схема алгоритму кореляційного порівняння чорно-білих і кольорових зображень різної розмірності складається з наступних етапів.

Перший етап – обробка зорової інформації та формування зображення. Він включає в себе автоматичне налаштування (вибір поля зору, фокусування, встановлення діапазону дальності дії, введення зображення (запис зображення в накопичувач).

На другому етапі кореляційного порівняння зображень здійснюється попередня обробка, яка призначена для видалення шумів (на основі згладжування, фільтрації), поліпшення контрастності, корекція спотворень і бінаризація зображення.

На третьому етапі кореляційного зору реалізуються алгоритми сегментації і кодування. Сегментацією називають процес розбиття зображення робочої сцени на складові частини: об'єкти, їх фрагменти або характерні особливості. Під кодуванням розуміють стиснення відеоінформації для зберігання в пам'яті системи.

Четвертий етап обробки зорової інформації – формування кореляційної функції. Зазвичай для обчислення відстані між зображеннями використовується наступна функція:

$$\rho(f, g) = \left[ \sum_{(x, y) \in O} |f(x, y) - g(x, y)|^\alpha \right]^{1/\alpha} \quad (1)$$

де  $f(x, y)$ ,  $g(x, y)$  – функції інтенсивності,  $O$  – поле зору,  $\alpha$  – ціле число.

Величина  $\alpha$  визначає характеристики використаної метрики. При  $\alpha = 2$  цей вислів описує евклідову відстань між зображеннями, які розглядаються як вектори, що належать простору  $L_2(x, y)$  на полі зору  $O$  функцій інтенсивностей.

Якщо дано  $n$  еталонних зображень  $\{f_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , кожне з яких відповідає  $j$ -му класу, віднесення знову висунутого фрагмента зображення  $g$  до деякого класу  $j$  може здійснюватися, наприклад, за методом мінімальної відстані до відповідного еталона:

$$j = \arg \min(\rho(g, f_i)). \quad (2)$$

Існують й інші способи формування кореляційних функцій [5]:

простий кореляційний аналіз, який обчислює вагову кореляційну функцію або інтеграл згортки; вимагає значних обчислювальних потужностей для здійснення операцій множення й інтегрування при всіх зрушеннях і розворотах отриманого і еталонного зображень;

кореляційний аналіз з фільтрацією забезпечує фільтрацію від перешкод;

кореляційний аналіз з суміщенням зображень, повернених щодо кута обертання;

кореляційний аналіз з розкладанням на кольори забезпечує формування кореляції відповідних складових кольору зображень.

Застосування конкретного формувача кореляційної функції обумовлюється завданням, що виконується системою. На етапі аналізу кореляційної функції використовується один з наступних алгоритмів.

1. При амплітудному кореляційному аналізі необхідна інформація визначається на основі оцінки амплітуди головного максимуму кореляційної функції. Це найпростіший вид аналізу, однак, він гірше за інших забезпечує точності характеристики системи.

2. Більш високі точності характеристики, в порівнянні з амплітудним аналізом, забезпечує модифікований амплітудний кореляційний аналіз, в якому необхідна інформація визначається на основі аналізу параметрів (ширина, крутизна) кореляційної функції.

3. Кореляційний аналіз з корекцією координат допускає безперервне обертання еталона при кутовому суміщенні зображень. При цьому отримана груба оцінка координат уточнюється.

4. Різницевий кореляційний аналіз, заснований на поелементному обчисленні різниць інтенсивності спостережуваного і еталонного зображень, за обсягом обчислень має перевагу перед класичним аналізом, який потребує проведення операції множення.

5. Модифікований спектральний алгоритм, який визначає кутову координату, заснований на Фур'є-перетворенні і обчислює відмінність спектрів.

6. Квадратичний кореляційний аналіз реалізується шляхом зведення в квадрат кореляційної функції, за рахунок чого збільшується різниця між головним і побічним максимумами. Це значно підвищує стійкість системи.

7. Структурний (синтаксичний або лінгвістичний) кореляційний аналіз базується на трьох процедурах: виділення контурів на спостережуваному зображенні, виділення дескрипторів (ліній певної форми, сегментів) і описі їх параметрів – синтаксичний аналіз з використанням граматики (класифікація). При реалізації алгоритму проводиться порівняння ознак, а не повних зображень. Це значно знижує необхідний обсяг пам'яті системи і зменшує обсяг обчислювальних операцій.

Важливі недоліки кореляційних методів виявлення проявляються в присутності яскравості і геометричних спотворень поточного зображення в порівнянні з еталонним. Зокрема, спостерігається швидке зменшення кореляційного зв'язку при ракурсних викривленнях, наприклад, при поворотах зображень та при різній освітленості. Присутність викривлень зазвичай вже не дозволяє використовувати кореляційні методи виявлення [5-8].

У зв'язку з недостатньою стійкістю кореляційних алгоритмів до можливих спотворень вони не знаходять широкого застосування при конструюванні алгоритмів виявлення складних структурованих об'єктів. З іншого боку, активно розвиваються методи виявлення і розпізнавання, які ґрунтуються на вилученні з об'єктів їх унікальної структури, представленій у вигляді характерних рис об'єкта.

При вирішенні задачі виявлення і розпізнавання об'єктів можуть бути використані характерні особливості зображень. Наприклад, при ієрархічній кореляційній обробці у схемах порівняння обчислюється міра близькості поточного і еталонного зображень, що визначається таким чином:

$$\rho = \sum_{i=1}^m a_i \rho_i (F_{i_T} - F_{i_{AC}}), \quad (3)$$

де  $\rho_i$  – міра близькості між алгоритмом векторної функції  $F_{i_T}$   $i$ -ої характерної риси поточного зображення і векторної функції  $F_{i_{AC}}$   $i$ -ої характерної риси еталонного зображення;  $a_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -ої характерної риси.

Характерні риси на зображенні мають такі види атрибутів:

1. Положення: кінці відрізка, центр відрізка, центр ваги області, вершини багатокутників.
2. Геометричні атрибути: орієнтація, довжина, кривизна, площа, периметр, ширина лінії, мінімальний і максимальний діаметр області, осі симетрії, число і положення особливих точок, показник компактності.
3. Радіометричні атрибути: контраст, статистика розподілу яскравості, знак і величина краю, автокореляція.
4. Текстерно атрибути: матриця суміжності, показник однорідності, енергія, ентропія, статистика градієнтів текстури, результати застосування текстурних фільтрів, моменти.
5. Топологічні атрибути: зв'язність, сусідство, загальні точки, перетин, паралельність, перекриття, включення.
6. Кольорові (багатозональні) атрибути: вектор атрибутів для кожного каналу.
7. Динамічні атрибути: атрибути статичних і рухомих об'єктів.
8. Тимчасові атрибути: функції зміни атрибутів згодом.

Вибір конкретних характерних рис і їх атрибутів для побудови алгоритмів виявлення повинен ґрунтуватися на таких основних критеріях:

1. Присутність (щільність): наявність даних характерних рис на всіх використовуваних зображеннях, достатня щільність характерних рис для покриття району, який цікавить.
2. Рідкість (унікальність): рідкість конкретної з характерних рис на зображенні, унікальність характерних рис в околиці.
3. Інваріантність (стійкість): робастність по відношенню до геометричних і радіометричних спотворень, нечутливість до шуму.
4. Локалізація: можливість точної локалізації.
5. Інтерпретація: можливість швидкого розпізнавання й інтерпретації.
6. Швидкість: час виділення даного класу характерних рис з вихідного зображення.

Висока якість щільності характерна для точок, оскільки імовірність того, що область буде повністю присутня на досліджуваному зображенні, вкрай мала. Однак, можна встановити наявність об'єкта на зображенні в тому випадку, якщо будуть знайдені деякі характерні для цього об'єкта точки.

Високу якість унікальності мають області, що описують весь об'єкт. У разі знаходження характерних точок об'єкта ймовірність похибки розпізнавання більше, оскільки знайдені лише деякі точки, відповідні об'єкту.

Точки є найбільш інваріантними до повороту і зміни масштабу, в той час як області при повороті і масштабуванні піддаються істотній деформації. З іншого боку, області найбільш

чутливі до шуму, оскільки особливі точки можуть бути відсіяні при проведенні фільтрації як шуму.

Точки мають найбільшу точність локалізації, ніж області, оскільки їх розташування визначається єдиною парою координат, в той час як розташування центру області сильно залежить від того, яка частина області присутня на зображенні і чи правильно визначені її межі.

Знаходження точок здійснюється швидше, ніж знаходження областей, оскільки операція їх пошуку не вимагає рішення задачі зв'язування.

Найвні розриви, одержувані в результаті втрат при фільтрації, спотворюють геометричну форму й інші параметри області, в той час як для точок вони відкидають характерну ознаку цілком.

Лінії можна розглядати як сукупність особливих точок або як контур областей, тому значення критеріїв якості для них є середніми між значеннями критеріїв якості точок і критеріїв якості областей.

При роботі з реальними зображеннями розглянуті критерії є суперечливими. Тому конкретний вибір характерних рис і їх атрибутів залежить від доступної обчислювальної потужності і від мінімально необхідної робастності опису характерних рис.

На даний час існують різні алгоритми виділення характерних (особливих) точок зображень. Особливими точками (ключовими точками, точковими особливостями) називаються точки, які містять основну інформацію про зображення [5]. Людське око знаходить особливі точки автоматично. Особливі точки зазвичай розташовуються в місцях сильного перепаду яскравості пікселів, на кордонах і краях об'єктів. Точковою особливістю  $x'$  зображення називається точка, чия околиця відрізняється від околиць прилеглих точок по обраній мірі  $\Omega x$ , тобто  $\forall x \mid x' - x \mid < r \Rightarrow \rho(\Omega x, \Omega x') > \varepsilon$  – околиця точки  $x$ , а  $\rho(\Omega x, \Omega x')$  – функція близькості околиць по деякій мірі. Всі точкові оператори засновані на обчисленні деяких атрибутів і визначенні, чи перевищують значення цих атрибутів поріг. Поріг визначає число виявлених точок. Він може визначатися адаптивно або фіксуватися заздалегідь. Альтернативним способом (без використання порога) є сортування значень атрибутів і вибір  $n$  кращих точок.

Окремо в ряду методів виявлення кордонів – вартий метод Кенні [5]. Автор визначив набір вимог до методу виявлення кордонів і описав оптимальний спосіб їх досягнення.

Реалізація методу Кенні складається з 4 послідовних кроків: згладжування, диференціювання, придушення в точках відсутності максимуму (Non-maximum Suppression) і порогової сегментації. Загальна складність методу Кенні, в порівнянні з іншими, описаними вище, є використання декількох стадій. У той же час це дає кращу якість сегментації зображення. Крім цього, слід врахувати, що він являє собою набір різних послідовно виконуваних алгоритмів.

Перевагами методу Кенні можна назвати стійкість до шуму завдяки використанню методу Гаусса і те, що він являє собою налагоджене комплексне рішення. Недоліками є висока складність обчислень, некоректне розпізнавання Y-розгалужень через застосування порогової сегментації на основі спостереження.

Не дивлячись на різноманіття методів, на практиці застосування контурних методів можливо тільки для виділення протяжних об'єктів (дороги, будівлі, русла річок), оскільки їх контури менше схильні до спотворень. Таким чином, ці підходи здатні виділяти лише обмежений перелік об'єктів, можливих для спостереження з БПЛА.

Завдання виділення характерних областей представляє собою завдання сегментації зображень. Сегментація виконує розбиття зображення на безліч областей, однорідних відповідно до заданих критеріїв. У результаті сегментації формується карта областей (або сегментів) зображення. Серед підходів до побудови алгоритмів сегментації можна виділити наступні чотири класи:

1. Розбиття зображення проведенням контурів за допомогою застосування відомих контурних операторів (операторів Робертса, Прюїтт, Собеля, Лапласа та ін.), алгоритмів

виявлення так званих точок переходу через нуль другої похідної і алгоритмів простеження контурів.

Для вирішення завдання сегментації такий підхід має ряд переваг, серед яких: можливість отримання карти з безперервними контурними лініями; простежування лінії в разі невеликих порушень контурних перепадів (розривів); проведення контурних ліній мінімальної товщини. З недоліків можна відзначити наступні: сильна залежність від шумів на зображенні, необхідність попереднього вибору початкових точок простеження контурів, певні складності в точках перетину або розгалуження контурів, необхідність додаткового аналізу і фільтрації отриманої карти контурів [5-10].

2. Морфологічний підхід. З подібних методів найбільш відома сегментація по вододілах. Вона полягає в інтерпретації гладких областей як локальних басейнів, а контурів між ними як вододілів. При цьому визначаються локальні мінімуми як центри нарощування і до них поступово додаються пікселі, що знаходяться навколо і слабо відрізняються за заданими критеріями. У кінцевому підсумку з'являються області з центрами в локальних мінімумах і перегородки (вододіли) між ними. Головним недоліком даного підходу для застосування у системі технічного зору БПЛА є необхідність в попередньому визначенні центрів нарощування областей, що зазвичай проводиться вручну.

3. Розбиття зображення на однорідні області. До них відносяться порогові методи, які використовують як глобальні, так і адаптивні пороги. Граничне перетворення може розглядатися як операція, при якій проводиться порівняння з функцією

$$T = T(x, y, p(x, y), f), \quad (4)$$

де  $f$  – зображення,  $p(x, y)$  – локальна характеристика точки  $(x, y)$  зображення, наприклад, середня яскравість в околиці з центром у цій точці. Зображення, що отримується в результаті порогового перетворення, визначається наступним чином:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T, \\ 0, & f(x, y) < T. \end{cases} \quad (5)$$

Пікселі, яким присвоєно значення 1, відповідають об'єктам, а пікселі зі значенням 0 – фону. Граничне перетворення може бути багаторівневим. У цьому випадку використовується кілька порогів.

Методи порогової обробки добре зарекомендували себе при використанні в системах технічного зору БПЛА при визначенні контрастних об'єктів, якими зазвичай і є штучні об'єкти на природному тлі. Однак, результат порогової сегментації залежить від правильного вибору порогу, вибір значення якого залежить від умов зйомки та характеру спостереження місцевості фону.

Крім порогових методів до даного класу відносяться методи розбиття і злиття областей і методи вирощування областей. Методи злиття і поділу областей засновані на первинному розбитті зображення на безліч малих непересічних областей і здійсненні подальшого їх злиття і поділу. Методи вирощування областей складаються в угрупованні елементів зображення в більші області, починаючи з певних центрів кластеризації.

Кластеризація в просторі ознак полягає у виборі відображення набору вхідних даних у деякий багатовимірний простір ознак і подальшому рішенні класичної задачі кластеризації – розбитті обраного простору на класи, базуючись на щільності розподілу в ньому. Існують методи, засновані на знаходженні максимальної правдоподібності, на основі обчислення гістограм і опорних векторів, на основі представлення зображення у вигляді графа, широко використовується кластеризація за кольором та інші методи. Методи кластеризації особливо зручні, коли заздалегідь відомо кількість класів об'єктів, що містяться в зображенні. Також, як правило, передбачається, що виявлені в просторі ознак кластери відображають зв'язкові області. Класична процедура кластеризації може дати невірні результати, якщо відображення

різних областей вихідного зображення в просторі ознак помітно перекриваються. Для подолання даної проблеми пропонується розширення простору ознак, наприклад, шляхом додавання значень координат зображення. Крім того, для коректної роботи алгоритму необхідне попереднє завдання кількості кластерів. У разі завдання сегментації зображення, що спостерігається БПЛА, кількість кластерів заздалегідь невідомо, що ускладнює використання даного методу сегментації.

Як при порівнянні зображень методом кореляційного аналізу, так і при зіставленні їх характерних рис зазвичай в мобільних системах потрібно рішення задачі виділення об'єктів переднього плану на постійно нерухомому тлі. У випадку інформаційно-вимірювальних систем БПЛА відбувається постійна зміна як об'єктів, так і фону, тому в цьому випадку говорять про виділення інформативних ділянок на зображенні. Розгляд меншої кількості інформативних ділянок при виявленні і розпізнаванні об'єктів зменшує вимоги до продуктивності областей інформаційно-вимірювальної системи БПЛА. З іншого боку, у процесі відсіювання неінформативних ділянок можуть бути виключені з розгляду області, що містять об'єкти. Таким чином, виникає задача застосування методів визначення ступеня інформативності ділянок зображення і відбору найбільш інформативних ділянок для подальшого розгляду. Однак, таке завдання не отримало до теперішнього часу остаточного рішення.

Математична постановка задачі полягає в наступному. Нехай необхідно знайти відповідність деякої точки  $(x_0, y_0)$  поточного зображення з еталонним. Позначимо  $f(x, y)$  як вихідне еталонне зображення. Розглянемо лише певну частину цього зображення з центром в  $(x_0, y_0)$  і розміром  $(2N + 1) \times (2N + 1)$  пікселів. Введемо функцію інформативності даного фрагмента  $I(x_0, y_0, N)$ .

Необхідно визначити:

- 1) чи є даний фрагмент інформативним;
- 2) якщо фрагмент не є інформативним, то чи можна змінити його розміри так, щоб він став інформативним.

Відповісти на ці питання можна за допомогою простого критерію, заснованого на порівнянні функції інформативності  $I$  з числовим порогом  $T$ . Якщо  $I < T$ , то фрагмент вважається неінформативним. У цьому випадку розмір фрагмента збільшується на деяку константу  $n$  до тих пір, поки або не виконається зворотна умова, або розмір фрагмента не досягне деякого максимального значення  $N_{\max}$ .

Існує кілька методів вирішення даної задачі.

1. Обчислення дисперсії сигналу. Чим більше неоднорідним є сигнал яскравості області, тим більше інформативною є ця область.

2. Відношення сигнал/шум. Використання відносин сигнал/шум для визначення інформативності області зображення полягає в припущенні, що чим більше однорідна область, тим менше коливань сигналу і, відповідно, менше коливань шумів.

3. Радіус кореляції сигналу. Радіус кореляції сигналу показує, на якій відстані відліки сигналу можна вважати статистично незалежними. Чим більш однорідною є область зображення, тим більше для неї радіус кореляції.

4. Аналіз наявності сигналу на фрагменті зображення. Метод заснований на аналізі оптичного клина, який розбивається на області. Для кожної області обчислюється функція середньої яскравості і середнє відхилення. Потім здійснюється отримання функції залежності середньоквадратичного відхилення шуму від яскравості. На підставі аналізу цієї функції робиться висновок про наявність сигналу на зображенні.

Розглянуті підходи мають істотний недолік: необхідно ітеративно змінювати (збільшувати) розміри аналізованого вікна для кожної точки зображення.

У цьому випадку найбільш ефективним є використання кратномасштабного представлення зображень, або піраміди зображень. Піраміда зображень являє собою послідовність зображень таку, що кожне наступне зображення виходить із попереднього шляхом фільтрації і проріджування в два рази. Послідовність дій полягає в наступному.

1. Є вихідне зображення.
2. Здійснюється високочастотна фільтрація зображення з ядром.
3. Зображення зменшується в два рази.

У даний час найбільш часто для побудови піраміди зображень в якості ядра використовується функція Гаусса

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2\sigma^2}. \quad (6)$$

На даний час найбільш перспективною та актуальною науковою задачею є розроблення методу виявлення і розпізнавання зображень СТЗ в інформаційно-вимірювальних системах БПЛА на основі використання просторово-спектральних портретів об'єктів місцевості, за допомогою яких навігаційна система БПЛА орієнтується шляхом попередньо завантажених бібліотек орієнтирів на місцевості. У випадку використання малої кількості орієнтирів (опорних точок) їх можна сфальсифікувати чи знищити. З метою підвищення ефективності навігаційної системи БПЛА при використанні великої кількості об'єктів з урахуванням не тільки їх геометрії а і спектрального портрету їх фальсифікація принципово ускладнюється. З цієї причини просторово-спектральна навігація є одним з пріоритетних напрямів щодо удосконалення методів аналізу зображень в системах технічного зору БПЛА з метою підвищення ефективності застосування навігаційної системи в умовах РЕБ. При використанні найбільш розповсюджених та дешевих спектральних сенсорів оптичного діапазону СТЗ відеокадри просторово-спектральних портретів об'єктів на ділянках місцевості порівнюються із закладеними спектральними портретами ділянок маршруту, у разі їх «впізнавання» визначаються точні координати та орієнтація БПЛА. Застосування цього методу пов'язане з необхідністю врахування впливу змін освітлення на спектральні показники об'єктів та ділянок місцевості. Виходячи з цих міркувань, виникає необхідність у розробці методологічного підходу щодо корекції по освітленню для визначення спектральних портретів об'єктів в оптичному діапазоні. Для оцінки ефективності запропонованої СТЗ дослідження проводились в лабораторних умовах та безпосередньо на дослідному польовому стаціонарі. В лабораторних умовах поряд із розробленими під БПЛА (FC200) цифровими фотоапаратами досліджувались і смартфони (Apple iPhone 5s та Lenovo s660). Вибір смартфонів для досліджень пояснюється тим, що є можливість використання саме такого обладнання в якості модуля керування при зборці БПЛА навіть в побутових умовах.

Дослідження щодо встановлення залежності інтенсивності складових кольору від величини Light Value здійснювалися на прикладі шаблону сірого кольору (насиченість 69%), надрукованому на лазерному принтері на офісному папері білого кольору та зразків пшениці (для ділянки пшеничного поля), розміщених на шаблоні (рис. 1).



Рисунок 1 – Зразок оптичного шаблону із зразком пшениці (для ділянки пшеничного поля)

В процесі проведення досліджень використовувались наступні параметри налагодження фотоапарату: «баланс білого» – ясна погода. Змінення величини Light Value враховувалась шляхом корекції експозиції в діапазоні  $ev = -2.0 \dots 2.0$ . Обробка результатів здійснювалась за допомогою програмного середовища та методики, представлених в роботі V.Lysenko та інші (2016) в [12]. Отримані результати наведені на рис. 2.

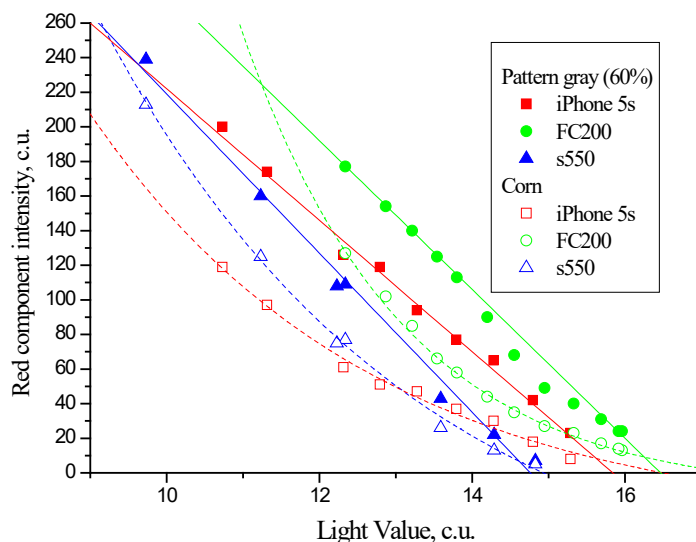


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності червоної складової кольору від величини Light Value для різних моделей цифрових фотоапаратів

При обробці експериментальних даних було встановлено, що характер залежності для фотоапаратів є неоднаковим. Для зразку сірого кольору при апроксимації у виді лінійної залежності коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) для фотоапаратів iPhone 5s, FC200 та s660 становив 0.957, 0.931 та 0.989 відповідно, для експоненціальної залежності 0.989, 0.996 та 0.996 відповідно [9]. Для кукурудзяного поля по аналогії при лінійній залежності  $R^2$  становив 0.993, 0.989 та 0.989 відповідно, та для експоненціальної 0.992, 0.991 та 0.986 відповідно [10].

Виходячи з отриманих даних можна засвідчити, що характер залежності в певній мірі визначається об'єктом моніторингу. Для штучного шаблону він більш точно описується нелінійною залежністю, проте, такі рівняння більш складні ніж лінійні для проведення калібрування при різному освітленні за запропонованою в роботах [11, 12] методикою V.Lysenko та інші (2017, 2016). Встановлено, що характер показаної вище залежності буде індивідуальним для кожної моделі камери, що необхідно враховувати при їх використанні для просторово-спектральної навігації. Було зроблено припущення, що більш точно корекцію щодо змін освітлення для практичних потреб можна зробити, отримавши експериментальну залежність для об'єктів в польових умовах.

Експериментальні **дослідження в польових умовах** було здійснено на дослідному стаціонарі кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва, де були розглянуті пшеничне поле з ділянками з різним станом мінерального живлення, а також ґрунтова дорога (рис. 3). Перед дослідженнями впродовж 3-х днів опадів на ділянці не було і дорога перебувала в повітряно-сухому стані.



Рисунок 3 – Дослідний стаціонар кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України від 17.05.23, висота польоту БПЛА 100 метрів

Досліди проводились 17.05.23 з 15 до 21 години і було розглянуто діапазон освітлення від 41500 до 500 люкс. При вимірах люксметр було розміщено таким чином, щоб він лежав на горизонтальній поверхні без випадкової тіні, не обумовленої хмарами. При наявності хмар під час зйомки візуально оцінювалась рівномірність освітлення всіх об'єктів в кадрі, нерівномірне освітлення не допускалося. В якості об'єктів досліджень обирались: ґрунтова дорога (road) та 2 ділянки з посівів пшениці озимої в стадії вегетації колосіння (0 – фон, 1 – штучно внесена нормована доза мінеральних добрив).

Отримані результати по залежності інтенсивності складових кольору об'єктів від величини Light Value представлені на рис. 4.

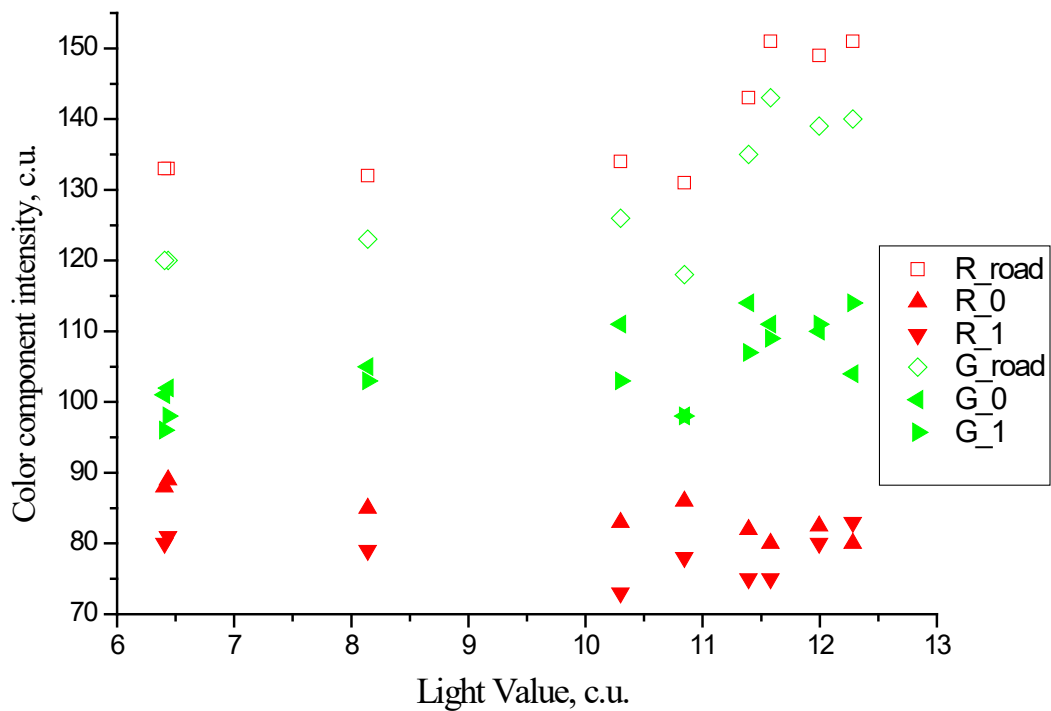


Рисунок 4 – Залежність червоної та зеленої складових кольору ґрунтової дороги та ділянок посівів пшениці озимої від величини Light Value де: road – ґрунтова дорога, 0 – без штучного внесення добрив, 1 – нормована доза

Результати досліджень показали, що на початку фази колосіння, за хмарності чи вечірнього освітлення (Light Value в діапазоні 6-11), при зйомці без корекції експозиції ( $ev=0$ ) залежність інтенсивності складових кольору від рівня мінерального живлення (вмісту азоту) рослин виражена максимально.

При використанні способу калібрування із додатковим зенітним сенсором, який було представлено люксметром, не лінійність залежності також спостерігалась. Так, різниця в мінеральному живленні має найбільший вплив на інтенсивність складових кольору в діапазоні освітленості 1000-20000 люксів (рис. 5).

Як показують результати експериментальних досліджень для розглянутих об'єктів найменший вплив освітлення було зафіксовано для ділянки пшеничного поля без штучного внесення добрив, а максимальний – для ґрунтової дороги. Таким чином, при побудові системи навігації на базі просторово-спектральних портретів необхідно орієнтуватися на об'єкти із стабільними характеристиками.

При виявленні і розпізнаванні об'єктів на фоні місцевості представляють інтерес лише ті точки зображення, які не належать до фонових змін яскравості. Оскільки фон за визначенням є відносно однорідним (без яскраво виражених перепадів), детальні зміни щодо яскравості фону виявляються тільки на невеликих масштабах розкладання [9].

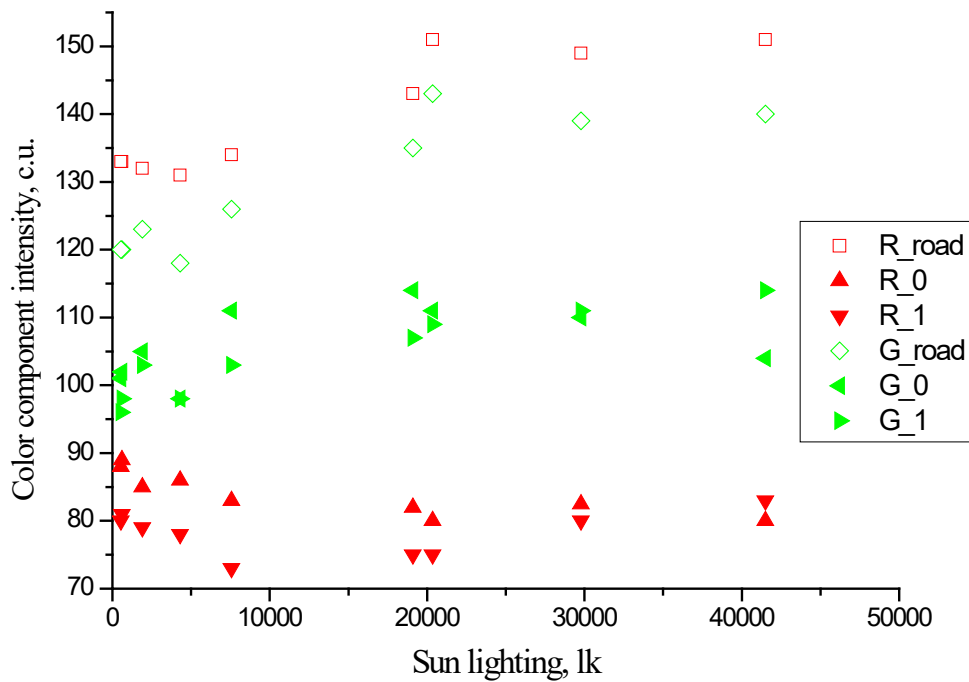


Рисунок 5 – Залежність інтенсивності складових кольору об'єктів від величини сонячного освітлення

Отже, необхідне уточнення значущості кожної точки для більших масштабів розкладання. У запропонованій модифікації алгоритму відсікання незначущих точок відбувається тільки на останній стадії після зважування всіх точок зображення на всіх аналізованих масштабах.

### Висновки

1. Для прийняття рішення при виконанні більшості основних цільових завдань навігаційна система БПЛА здійснює виявлення і розпізнавання об'єктів на зображеннях, що надходять від бортового оптико-електронного модуля БПЛА. Від швидкості отримання і точності цих даних безпосередньо залежить правильність прийнятого рішення, тому підвищення точності і зменшення часу завдань виявлення і розпізнавання об'єктів за допомогою системи технічного зору БПЛА є актуальним завданням.

2. Існуючі в даний час автоматизовані системи технічного зору БПЛА використовують для аналізу зображень людину-оператора, який знаходиться на наземному пункті управління, що за рахунок втрати на передачу даних (а іноді і повної відсутності можливості передачі) істотно знижує час аналізу зображення і, як наслідок, час прийняття рішення. Альтернативним напрямком розвитку інформаційно-вимірювальних систем БПЛА є автоматичні системи виявлення та розпізнавання об'єктів на зображеннях бортового оптико-електронного модуля.

3. Наявні автоматичні інформаційно-вимірювальні системи виявлення та розпізнавання об'єктів на зображеннях в системах технічного зору БПЛА не володіють достатньою точністю і швидкістю обробки інформації для того, щоб повністю замінити людину-оператора і виробляти всі обчислення на борту БПЛА. Підвищення точності і швидкості обробки інформації в автоматичних інформаційно-вимірювальних системах виявлення і розпізнавання об'єктів на зображеннях бортового оптико-електронного модуля БПЛА є напрямком постійних досліджень.

4. Точність і швидкість виявлення об'єктів в навігаційних системах БПЛА може бути підвищена за рахунок розробки нових алгоритмів виявлення і розпізнавання об'єктів на зображеннях бортового оптико-електронного модуля БПЛА з використанням просторово-спектральних портретів місцевості. При виявленні і розпізнаванні об'єктів на фоні місцевості представляють інтерес лише ті точки зображення, які не належать до фонових змін яскравості.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Tianmiao Wang, Chaolei Wang, Jianhong Liang, Yang Chen<sup>1</sup> and Yicheng Zhang (2013) Vision-Aided Inertial Navigation for Small Unmanned Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Int J Adv Robotic Sy, 2013, Vol. 10, 276: pp. 1-12.
2. Guoquan (Paul) Huang (2019). Visual-Inertial Navigation: A Concise Review. A Preprint - June 7, 2019, pp. 1-16.
3. E. Mueggler, G. Gallego, H. Rebecq, and D. Scaramuzza, (2018) "Continuous-time visual-inertial odometry for event cameras," *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 1–16.
4. Kotvitsky R.S., Saryboga G.V. (2016) System of technical vision in problems of stabilization of a pilotless vehicle. «Young Scientist», № 5 (32), pp. 234-238.
5. Автоматизована система управління процесами збирання та переробки енергетичних культур у біогаз: Монографія / [Лисенко В.П., Шворов С.А., Комарчук Д.С., Лукін В.Є., Книжка Т.С., Чирченко Д.В.] – К.: Видавництво "Науковий світ", 2017. – 244 с.
6. Ángel Manuel Guerrero-Higueras (2018) Detection of Cyber-attacks to indoor real time localization systems for autonomous robots // Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Noemí DeCastro-García, Vicente Matellán. *Robotics and Autonomous Systems* Vol.99, pp. 75-83.
7. Tao L, Matuszewski B.J. Robust deformable shape reconstruction from monocular video with manifold forests. *Machine Vision and Applications*. 2016. vol. 27. Issue 6. pp. 801–819. 20.
8. Pu Y.-R., Chen Y.-J., Lee S.-H. Fire recognition based on correlation of segmentations by image processing techniques. *Machine Vision and Applications*. November 2015. vol. 26. Issue 7. pp. 849–856.
9. Shvorov S. A., Komarchuk D. S., Pasichnyk N. A., Opryshko O. A., Gunchenko Y. A. and Kuznichenko S. D. (2018) IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain," 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kiev, Ukraine, 2018, pp. 68-71, doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576304.).
10. V.Lysenko, (2016) Drones camera calibration for the leaf research // V.Lysenko, O.Opryshko, D. Komarchuk, N. Pasichnyk. *Scientific Journal NUBiP*, Vol. 252, pp. 61-65.
11. Vitalii Lysenko (2017) Usage of Flying Robots for Monitoring Nitrogen in Wheat Crops / Vitalii Lysenko, Oleksiy Opryshko, Dmytro Komarchuk, Nadiia Pasichnyk, Nataliia Zaets, Alla Dudnyk // The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September, 2017, Bucharest, Romania. Vol.1. pp. 30-34.
12. Lysenko V., Opryshko A., Komarchuk D. & Pasichnyk N. (2016). The use of UAVs for remote sensing of crops during harvest programming *Scientific Journal NUBiP Ukraine*, 256, 146-150.

#### REFERENCES:

1. Tianmiao Wang, Chaolei Wang, Jianhong Liang, Yang Chen<sup>1</sup> and Yicheng Zhang (2013) Vision-Aided Inertial Navigation for Small Unmanned Aerial Vehicles in GPS-Denied Environments. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Int J Adv Robotic Sy, 2013, Vol. 10, 276:2013, pp. 1-12.
2. Guoquan (Paul) Huang (2019). Visual-Inertial Navigation: A Concise Review. A Preprint - June 7, 2019, pp. 1-16.
3. E. Mueggler, G. Gallego, H. Rebecq, and D. Scaramuzza, (2018) "Continuous-time visual-inertial odometry for event cameras," *IEEE Transactions on Robotics*, pp. 1–16.
4. Kotvitsky R.S., Saryboga G.V. (2016) System of technical vision in problems of stabilization of a pilotless vehicle. «Young Scientist», № 5 (32), pp. 234-238.

5. Automated management system for harvesting and processing energy crops into biogas: Monograph / [V.P. Lysenko, S.A. Shvorov, D.S. Komarchuk, V.E. Lukin, T.S. Knyzhka, D.V. Chirchenko. ] – K.: Naukovyi svit Publishing House, 2017. – 244 p.
6. Ángel Manuel Guerrero-Higueras (2018) Detection of Cyber-attacks to indoor real time localization systems for autonomous robots // Ángel Manuel Guerrero-Higueras, Noemí DeCastro-García, Vicente Matellán. Robotics and Autonomous Systems Vol.99, pp. 75-83.
7. Tao L, Matuszewski B.J. Robust deformable shape reconstruction from monocular video with manifold forests. Machine Vision and Applications. 2016. vol. 27. Issue 6. pp. 801–819. 20.
8. Pu Y.-R., Chen Y.-J., Lee S.-H. Fire recognition based on correlation of segmentations by image processing techniques. Machine Vision and Applications. November 2015. vol. 26. Issue 7. pp. 849–856.
9. Shvorov S. A., Komarchuk D. S., Pasichnyk N. A., Opryshko O. A., Gunchenko Y. A. and Kuznichenko S. D. (2018) IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain," 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kiev, Ukraine, 2018, pp. 68-71, doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576304.).
10. V.Lysenko, (2016) Drones camera calibration for the leaf research // V.Lysenko,O.Opryshko, D. Komarchuk, N. Pasichnyk. Scientific Journal NUBiP, Vol. 252, pp. 61-65, 2016.
11. Vitalii Lysenko (2017) Usage of Flying Robots for Monitoring Nitrogen in Wheat Crops / Vitalii Lysenko, Oleksiy Opryshko, Dmytro Komarchuk, Nadiia Pasichnyk, Nataliia Zaets, Alla Dudnyk // The 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 21-23 September, 2017, Bucharest, Romania. Vol.1. pp. 30-34.
12. Lysenko V., Opryshko A., Komarchuk D. & Pasichnyk N. (2016). The use of UAVs for remote sensing of crops during harvest programming Scientific Journal NUBiP Ukraine, 256, 146-150.

Ph.D. **Pasichnyk N.A.**, Ph.D. **Опришко О.О.**, D.Sci.Tech., prof. **Shvorov S.A.**  
D.Sci.Tech., prof. **Vasilenko V.V.**, **Teplyuk V.M.**, **Glugan F.V.**

*The paper analyzes modern methods of terrain image analysis in UAV navigation systems and presents experimental results of UAV navigation method research based on the use of spatial-spectral portraits of objects in terrain areas. In the conditions of radio-electronic suppression of the UAV navigation system by EW means, there is an urgent need for the development and application of new jam-proof UAV navigation methods. The purpose of the work is to substantiate the method of terrain image analysis in UAV technical vision systems. To achieve this goal, the following tasks were announced in the work: an analysis of the possible use of existing methods and systems of technical vision on UAVs was carried out; the substantiation of the method of image analysis using spatial-spectral terrain portraits in UAV technical vision systems was carried out.*

*The method of calculating the traveled path based on the analysis of the flow of video data coming from the optoelectronic surveillance devices, the method of accurate mapping on the terrain based on the stereo effect that occurs during camera movement, and the method of accurate mapping based on reference photographs are analyzed. In order to improve the efficiency of the UAV technical vision system, it is proposed to use spatial-spectral portraits of objects in areas of the terrain. At the same time, the video frames are compared with embedded spectral portraits of the route sections, in the case of "recognition", the exact coordinates and orientation of the UAV are determined. The application of this method is connected with the need to take into account the impact of lighting changes on the spectral indicators of objects and areas of the terrain. The research examines existing techniques for correcting lighting changes for various cameras in laboratory and field conditions. It is proposed to use experimentally obtained dependencies for specific brands of sensor equipment to carry out corrections for changes in natural lighting. When organizing navigation systems based on spectral portraits of the terrain, it is recommended to use objects and areas with the most stable optical characteristics in relation to changes in lighting.*

**Keywords:** UAVs, navigation systems, technical vision, image analysis, portraits, objects.

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ БЕЗПІЛОТНИХ ЛЕТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРОВІДНИХ КРАЇН СВІТУ

*В даній роботі проаналізовані можливості безпілотних летальних апаратів (БПЛА) провідних країн світу. Відмічено, що з появою середніх та малих безпілотних летальних апаратів задачі протидії їм суттєво актуалізувалися. Починаючи з середини 2000-х років у засобах масової інформації почали з'являтися повідомлення про небезпеку використання малих безпілотних летальних апаратів у районах аеропортів, а з середини 2010-х років їх почали використовувати для ведення несанкціанованого стеження за важливими об'єктами військового призначення, проведення терористичних актів та диверсій, для транспортування заборонених вантажів (зброї, наркотиків та різноманітної контрабанди). В даній роботі відмічено, що в провідних країнах світу почалися активні наукові розробки данного напрямку дослідження. При цьому дана проблематика є відносно новою, тому що одна з перших праць про використання безпілотних летальних апаратів відноситься до 2008 року. А масові наукові публікації по їх використанню відносяться до 2016-17 років. В сучасній науковій літературі провідних країн світу були введені основні напрямлення досліджень. Розроблені та впроваджені в наукових публікаціях спеціальні терміни. На початку епохи використання БПЛА (на початку 2000-х років) з'явилася задача аналізу їх можливостей та протидії їм. Задача протидії БПЛА вирішувалася виключно засобами ураження зенітно-ракетних комплексів протиповітряної оборони (ЗРК ППО). В теперішній час військові науковці з'ясували, що пряме знищення масованого нальоту БПЛА засобами ЗРК ППО економічно недоцільне, за рахунок невиправдано високої вартості засобів ураження ЗРК, та веде до швидкого витрату бойового ресурсу ЗРК. У зв'язку з цим в теперішній час широко досліджуються нові засоби протидії БПЛА, а саме: використання засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ), використання засобів направленої випромінювання енергії - лазерної зброї, а також сумісного використання засобів РЕБ та ЗРК.*

*Ключові слова: безпілотний летальний апарат, ймовірність, розвідка, маскування, протидія, виявлення, ефективність, терористичні угруповання, провідні країни світу.*

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку новітніх технологій виготовлення провідних країн світу з'явилася можливість використовувати їх для вирішення широкого спектру задач: спостереження (розвідки), нанесення ударів, транспортування вантажів, коригування інших засобів ураження, передача даних розвідки, а також проведення автономних дій по заделегідь закладеної програмі [1]. Терористичні угруповання, які проводять протизаконну діяльність, використовують БПЛА для вирішення слідуючих задач: доступ за периметр охороняємих об'єктів та ведення там спостереження; знищення особового складу; транспортування саморобних вибухових пристроїв; нанесення ураження об'єктам інфраструктури; транспортування заборонених засобів та закидання їх на військові об'єкти; перешкоджання повітряному руху в аеропортах. Основними перевагами БПЛА провідних країн світу, які ускладнюють задачу їх виявлення та протидії, є: можливість віддаленого виконання завдання по знищенню озброєння та військорвої техніки, із забезпеченням інформацією оператора про хід виконання завдання у реальному масштабі часу; використання широкого спектру малогабаритних цільових навантажень на сучасній елементній базі; можливість тривалого баражування над зоною бойових дій, а також самостійного ураження засобів ППО; низка можливості виявлення БПЛА у радіолокаційному та оптичному діапазонах, за рахунок малих массогабаритних характеристик, у порівнянні з пілотуємою авіацією; можливість здійснювати маневри з високими перевантаженнями та використання

режимів польоту, які знижують ефективність їх виявлення існуючими та перспективними засобами ППО; малі геометричні розміри БПЛА, що забезпечують малу ймовірність ураження снарядами зенітної артилерії, та зенітними керуємими ракетами; забезпечення відносною несподіваністю їх з'явлення в зоні боєвих дій, за рахунок низького рівня шуму роботи їх двигунів, а також за рахунок польоту в режимі "радіомовчання" до виходу їх у зону безпосереднього бойового використання [2].

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз публікацій в області розкриття можливостей використання та протидії БПЛА показує, що серйозних робіт по даному науковому напрямку доволі мало. Основні дослідження роблять оптимістичні висновки відносно успішності ураження всіх видів БПЛА провідних країн світу існуючими засобами протиповітряної оборони, але це не завжди відповідає дійсності. Існують наукові твердження авторів про високі можливості боротьби з БПЛА засобами РЕБ [1-4]. Існують також багато авторів, які стверджують, що задачі протидії БПЛА засобами ППО та РЕБ недостатньо ефективні. Разом з цим, проблема протидії БПЛА, особливо з малими БПЛА, є дуже складною, багатогранною та до сьогоднішнього часу ефективно не вирішеною [5-9].

**Мета статті.** В роботі проведено аналіз різноманітних можливостей використання БПЛА провідних країн світу та пошук шляхів ефективної боротьби з ними. Актуальність розгляду завдання протидії БПЛА підтверджується великою кількістю наукових робіт за даним науковим напрямком.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні БПЛА провідних країн світу розглядають по їх масогабаритним характеристикам, швидкістю польоту, а також по призначенню і цільовому використанню. Американська класифікація БПЛА представлена в табл. 1. Західноєвропейська класифікація, у табл. 2. Російська класифікація представлена в табл. 3.

Таблиця 1.

Американська класифікація БПЛА

| Класифікаційний тип | Маса, кг  | Висота польоту, км | Швидкість, км/год | Приклади                                                                        |
|---------------------|-----------|--------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| I                   | 0-9       | До 0,365           | До 185            | RQ-11 Raven, RQ-20 Puma, Wasp III, RQ-16 T-Hawk                                 |
| II                  | 9,5-25    | До 1,7             | До 460            | ScanEagl                                                                        |
| III                 | Більш 600 | До 5,5             | Не визначено      | RQ-2 Pioneer, RQ-5 Hunter, RQ-7 Shadow, RQ-21 Blackjack                         |
| IV                  | Більш 600 | До 5,5             | Не визначено      | RQ-1/MQ-1 Predator, MQ-1C Grey Eagle, X-47, YMQ-18 Hummingbird, MQ-8 Fire Scout |
| V                   | Більш 600 | Понад 5,5          | Не визначено      | RQ-4 Global Hawk, MQ-9 Reaper                                                   |

Таблиця 2

Західноєвропейська класифікація БПЛА

| Класифікаційний тип                                                                   | Середня висота польоту | Середній радіус дії, км | Середня дальність польоту | Приклади               |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Micro-UAV (мікро-БПЛА)                                                                | 0,6                    | 2                       | До 1                      | EMTAIdin (Німеччина)   |
| Mini-UAV або Close-Range UAV (міні-БПЛА або БПЛА ближнього радіусу дії)               | До 2                   | До 10                   | Дор 2                     | Bird Eye 400 (Ізраїль) |
| Short-range UAV (БПЛА середнього радіусу дії)                                         | До 3                   | 50-150                  | До 6                      | Speiower (Франція)     |
| Medium-range UAV (БПЛА середнього радіусу)                                            | До 6                   | 100-300                 | До 12                     | Hermes 450 (Ізраїль)   |
| MALE (Medium-altitude, long-endurance) (середньовисотний БПЛА довготривалого польоту) | 5-15                   | 200-500                 | До 24                     | Patroller (Франція)    |

|                                                                             |           |            |          |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|----------|-------------------|
| HALE (High-altitude, long-endurance) (висотний БПЛА довготривалого польоту) | Понад 9,1 | глобальний | Понад 24 | Global Hawk (США) |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|------------|----------|-------------------|

Примітка: класи Short-range UAV та Medium-range UAV часто об'єднують в загальний клас TUAV (Tactical unmanned aerial vehicle) — тактичні БПЛА

Таблиця 3

#### Російська класифікація БПЛА

| Класифікаційний тип                        | Взльотна маса, кг | Дальність дії, км |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Нано-БПЛА ближнього радіуса дії            | До 0,25           | До 2              |
| Мікро- та міні- БПЛА ближньоготрадіуса дії | До 5              | 25-40             |
| Легкі БПЛА малого радіуса дії              | 5-50              | 10-70             |
| Легкі БПЛА середнього радіуса дії          | 50-100            | 70-150 (до 250)   |
| Середні БПЛА                               | 100-300           | 150-1000          |
| Середні важкі БПЛА                         | 300-500           | 70-300            |
| Важкі БПЛА середнього радіуса дії          | 500               | 70-300            |
| Важкі БПЛА великої тривалості польоту      | 1500              | 1500              |
| Беспілотні бойові літаки (ББС)             | 500               | 1500              |

У зв'язку з великою значимістю швидкості польоту БПЛА, при його знищенні засобами ППО, пропонується розглядати наступні типи БПЛА в залежності від їх швидкості польоту: малошвидкісні БПЛА - зі швидкістю польоту до 20 км/год, середньшвидкісні БПЛА - зі швидкістю польоту 150-400 км/год, швидкісні БПЛА - зі швидкістю 350-800 км/год. За призначенням розглядають наступні БПЛА багаторазового використання: розвідувальні, розвідувально-ударні, транспортні, носії засобів озброєння, розширюючі функціональні можливості носія, БПЛА, що розділюються, БПЛА - перехоплювачі; БПЛА одноразового використання: БПЛА - хибні цілі, барожуючі БПЛА (БПЛА-камікадзе), розвідувально-ударні (БПЛА-камікадзе), БПЛА перехоплювачі [3]. У відповідності до кількості одночасового використання БПЛА, вони підрозділяються для одиночного та групового використання. У відповідності з рівнем військового управління БПЛА розглядаються як стратегічні, оперативно-тактичні та тактичні. За досвідом військових вчених найбільш складними по відношенню до протидії їм є малі БПЛА (малогабаритні та малошвидкісні) [4]. До додаткових факторів, що заважають ефективній протидії, відносяться такі БПЛА: БПЛА, що використовують змінну траєкторію польоту, БПЛА, в конструкцію яких закладені пластикові та композиційні матеріали, що слабо відбивають електромагнітне випромінювання та мають малу ефективну відбиваючу поверхню; БПЛА, що використовують для управління не окремі засоби зв'язку, а існуючі мережі зв'язку мобільних операторів та точок доступу Wi-Fi [5].

Застосування малих БПЛА використовується у військових підрозділах та терористичних угрупованнях. До складу БПЛА входять наступні основні системи: планер (несуча конструкція), установка двигуна, система електропостачання, система управління, навігаційна система, телеметрична система, система радіозв'язку. В залежності від задач, що вирішуються, на борту БПЛА можуть бути встановлені додаткові системи та пристрої: системи оптико-електронної, телевізійної, радіолокаційної, радіо- та радіотехнічної, радіаційної, хімічної, бактеріологічної та інших видів розвідки з малогабаритними накопичувачами розвідданих; засоби постановки активних радіоелектронних перешкод; засоби наведення і корекції керуємої зброї (підсвічування цілей); засоби ураження різних типів; засоби управління та зв'язку з наземним пунктом керування; відповідач системи розпізнавання; апаратура автономного польоту з автоматичною посадкою; транспортні касети. Двигуни малих БПЛА літакового типу представляють з себе турбовинтовий двигун. Разом з тим, в останній час почали застосовуватися у БПЛА двигуни елікоптерного типу, так звані “мультикоптери”, “квадрокоптери”, “дрони”. Для даних БПЛА характерно використання установки принципово нового типу на основі використання чотирьох, шести або більшої кількості двигунів. Керування двигунами здійснюється за допомогою завдання напруження та швидкості обертів гвинтів через

підключені до них електронних регуляторів швидкості. На вход регуляторів подається напруга з акумулятору та керуючі сигнали з мікроконтролера [6]. Збільшення числа оберту гвинтів в одиницю часу забезпечує взліт, зменшення кількості обертів - посадку. Для стабілізації руху БПЛА одна пара гвинтів завжди обертається за ходом годинної стрілки, друга пара - проти. Цим компенсується обертовий момент. По засобам управління БПЛА розрізняють на автономні, напіваавтономні та керовані. В теперешній час отримали широке впровадження схематичні рішення, в яких бортовий комп'ютер та основні контролери системи керування виконані на єдиній платі у закритому захисному корпусі [7]. При цьому бортовий комп'ютер представляє з себе мікропроцесор, а окремі контролери - мікросхеми, що можуть бути запрограмовані з урахуванням особливостей функціонування конкретного зразка бортового радіоелектронного обладнання. Дуже важливим для більшості БПЛА є те, що основні функції про прийняття рішення реалізуються не на борту, а на пульті управління людиною-оператором. Це рішення про профіль польоту, варіантах досягнення цільового завдання, обробка розвідувальних даних від бортового обладнання. Разом з тим, сучасний розвиток теорії штучного інтелекту та теорії управління групами БПЛА, збільшення можливостей обчислювальних засобів привело до того, що з'явилися проекти, націлені на створення бібліотек з відкритим спеціальним кодом в області машинного зору та штучного інтелекту, що самі вирішують напрямок подальшого удосконалення БПЛА [8]. Сучасна навігаційна система БПЛА може мати різний рівень складності та враховувати декілька сигналів для визначення місця знаходження БПЛА. Ці сигнали поступають від датчиків різної фізичної природи. Таким чином, на сучасному етапі розвитку навігаційних систем малих БПЛА, для розрахунку траєкторії польоту з необхідною точністю, вимагається використання багатьох сигналів. Додатковими засобами підвищення автономності та точності навігаційних систем БПЛА є встановлення барометрів та лазерних висотомірів. Це обладнання дозволить значно підвищити точність визначення координат за рахунок використання додаткових каналів комплексування навігаційних даних, а також сформулювати профілі автономного польоту БПЛА по електронним картам місцевості, що мають барометричні дані та висотні профілі. Треба відмітити, що швидкий розвиток БПЛА провідних країн світу прискорює удосконалення їх навігаційного обладнання. Системи радіозв'язку БПЛА проєдставляє з себе сукупність різноманітних ліній, за допомогою яких передаються дані різного типу та рівня важливості. Ці лінії зв'язку можуть працювати в різних частотних діапазонах, використовувати різні режими з ретрансляцією та без неї, використовувати різні сигнальнокодові конструкції, що спеціально адаптовані до типу та важливості передаваної інформації. Характеристики системи радіозв'язку БПЛА дуже важливі для організації протидії ним шляхом радіоелектронної боротьби [9]. Для підвищення ефективності використання БПЛА провідних країн світу їх застосовують великими групами. Розробка теоретичних основ групового використання є логічним продовженням ідеї досягнення більш потужних результатів малими витратами сил та засобів. Основними завданнями використання групи БПЛА є: підвищення ймовірності та ефективності виконання бойового завдання за рахунок багатократного доблювання функції і спеціалізації окремих БПЛА в групі; виснаження ресурсів засобів ураження, за рахунок примусу її до протидії великій кількості цілей в умовах, що перевищують їх бойові можливості; маскування напрямку і засобів нанесення основного удару; дезорганізація системи управління, виявлення і цілерозподілення за рахунок відволікання засобів ураження на багато другорядних однотипних цілей; імітація масованого використання основних засобів озброєння, формування віртуальної повітряної обстановки; деморалізація та підірив волі особового складу противника. З метою відпрацювання технологій використання груп БПЛА проводяться наукові дослідження на математичних моделях і натуральних макетах, і в реальних бойових діях [10].

**Висновки та напрямки подальших досліджень.** Таким чином, аналіз можливостей використання БПЛА провідних країн світу та протидії їм показав, що більшість їх застосовуються для вирішення задач розвідки. У зв'язку з цим особу увагу необхідно приділити засобам, направленим на підвищення маскування озброєння та військової технікою. Дані засоби носять пасивний характер та орієнтовані не на протидію безпосередньо БПЛА, а

на введення в оману засобів розвідки розташованих на БПЛА, шляхом використання різноманітних видів маскуванню, застосування маскуючих димов та аерозолів, використання системи хибних позицій вмілим та розумним використанням захисних властивостей місцевості [11]. Подальші наукові дослідження повинні бути присвячені підвищенню ефективності протидії розвідувальній апаратурі БПЛА з метою недопущення отримання об'єктивних даних аерофотозйомок, розвідки частотно-технічних характеристик випромінюючої радіоелектронної апаратури, ведення оптичного спостереження та передавання відеозображення, а також вони повинні знаходитись в площині розробки теоретичних матеріалів та методик обґрунтування необхідності створення загальної системи боротьби з БПЛА, при цьому особливу увагу необхідно звернути на удосконалення складу сил та засобів загальної системи боротьби, визначення порядку взаємодії часткових систем та розробкою критеріїв оцінки ефективності роботи загальної системи боротьби з небезпечною зброєю сучасних війн [9]. Особливу увагу необхідно приділити використанню інженерного обладнання позицій військових частин та підрозділів, підвищити ефективність використання маскувальних властивостей місцевості з метою забезпечення таємності переміщення військ, своєчасно готувати маршрути руху з урахуванням природних особливостей, та полів невидимості, утворених складками місцевості або місцевими предметами, екранування зразків ОВТ металевою сіткою (для розсіювання кумулятивної струї) [12]. Обов'язково обладнувати хибні позиції на відстані 1-3 км від реальних. На місцях хибних позицій періодично здійснювати вогневу діяльність, ведення радіообміну з використанням різних засобів зв'язку, залишати сліди життєдіяльності, періодично переміщувати макети ОВТ, активно застосовувати табельне аерозольне маскуванню, вогонь з ОВТ вести виключно із посадок, галявин лісу, щоб ускладнити пряме влучання, після кожної стрільби здійснювати внутрішньо-позиційний маневр, здійснювати скритне підвезення боєприпасів та переміщення підрозділів, у разі виявлення БПЛА залишити бойову машину.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дудуш А.С., Тютюнник В.О., Резніченко О.А., Гогонянц С.Ю. «Сучасний стан та проблеми протидії маловисотним, низькошвидкісним та малорозмірним БПЛА» – <http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>
2. Меньшаков Ю.К. Теоретические основы технических разведок. М.: Изд- во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
3. Евтодьева М. Г., Целицкий С.В. «Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства» - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09)
4. Alexeev Alex. «Настоящее и будущее беспилотной авиации» [https://topwar.ru/89642-Часть 1 Военное обозрение.](https://topwar.ru/89642-Часть-1-Военное-обозрение.-2016) – 2016.
5. Растопчин В.В. «Ударные беспилотные летательные аппараты и противовоздушная оборона – проблемы и перспективы противостояния»; «Стандарт NATO AJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS. 2016»;
6. Корольов Р.В., Растопчин. В.В. «Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів», [Електронний ресурс] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>
7. Алімпієв А.М., І. Кушнір І., Васюта К.С. «Застосування досвіду АТО для підготовки фахівців зв'язку РТЗ та ІС:», навчальний посібник. Харків: Університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. 2016. С. 322-324.
8. Білецький І.Г, Андронов В.В. «Особливості застосування безпілотної розвідувальної авіації в сучасних воєнних конфліктах»: Навчальний посібник. Системи озброєння і військова техніка. Харків: Університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. 2010. С. 118-124.
9. Мосов С.П., Хорошилова С.Й. «Особливості застосування оперативно-тактичної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах ХХ століття»: Збірник наукових праць. Київ: Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняховського. 2018. № 2(63). – С. 104-109.

10. Мосов С.П., Хорошилова С.Й. «Особливості застосування стратегічної безпілотної розвідувальної авіації у воєнних конфліктах ХХІ століття»: Збірник наукових праць. Київ: Центр воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. І. Черняхівського. 2018. № 3(64). С. 97-102.

11. Шулежко В.В., Доска О.М., Рогуля О.В. «Основні напрямки розвитку та застосування безпілотних літальних апаратів»: Збірник наукових праць. Харків: Харківський національний університет Повітряних Сил, 2010. № 4(26). С. 56-60.

12. Жарик О.М. «Досвід створення і застосування ударних БПЛА багаторазового використання»: Збірник наукових праць. Київ: Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2013. № 1(10). С. 30-38.

#### REFERENCES:

1. Dudush A.S., Tyutyunnyk V.O., Reznichenko O.A., Hogonyants S.Yu. "Current state and problems of countering low-altitude, low-speed and small-sized UAVs" - <http://sit.nuou.org.ua/article/download/159095/158399>

2. Menshakov Yu.K. Theoretical foundations of technical intelligence. M.: Izdvo MGTU named after N.E. Bauman, 2008.

3. Evtodyeva M. G., Tselitsky S.V. "Military drones: trends in development and production" - [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09)

4. Alexeev Alex. "Present and future unmanned aviation" <https://topwar.ru/89642-> Part 1 Military review. - 2016.

5. Rastopchyn V.V. "Strike unmanned lethal devices and anti-aircraft defense - problems and prospects of confrontation"; "NATO standard AJP-3.3.1(8). ALLIED JOINT DOCTRINE FOR AIR AND SPACE OPERATIONS. 2016";

6. Korolev R.V., Rastopchyn V.V. "Analysis of modern means of destroying unmanned aerial vehicles", [Electronic resource] <https://www.ukrmilitary.com/2017/>

7. Alimpiyev A.M., I. Kushnir I., Vasyuta K.S. "Application of ATO experience for the training of RTZ and IS communication specialists", training manual. Kharkiv: Air Force University named after I. Kozheduba. 2016. pp. 322-324.

8. Biletsky I.G., Andronov V.V. "Features of using unmanned reconnaissance aircraft in modern military conflicts": Training and manual. Weapon systems and military equipment. Kharkiv: Air Force University named after I. Kozheduba. 2010. 118-124 p. with.

9. Mosov S.P., Khoroshilova S.Y. "Features of the use of operational-tactical unmanned reconnaissance aircraft in military conflicts of the 20th century": Collection of scientific works. Kyiv: Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovskyi. 2018. No. 2(63). – pp. 104-109.

10. Mosov S.P., Khoroshilova S.Y. "Features of the use of strategic unmanned reconnaissance aircraft in military conflicts of the 21st century": Collection of scientific papers. Kyiv: Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after I. Chernyakhovskyi. 2018. No. 3(64). pp. 97-102.

11. Shulezhko V.V., Doska O.M., Rogulya O.V. "Main directions of development and application of unmanned aerial vehicles": Collection of scientific papers. Kharkiv: Kharkiv National University of the Air Force, 2010. No. 4(26). pp. 56-60.

12. Zharyk O.M. "Experience in the creation and use of multi-use shock UAVs": Collection of scientific papers. Kyiv: Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. 2013. No. 1(10). pp. 30-38/

## ANALYSIS OF THE OPPORTUNITIES OF UNMANNED LETHAL VEHICLES OF THE LEADING COUNTRIES OF THE WORLD

*This work analyzes the capabilities of unmanned aerial vehicles (UAVs) of the leading countries of the world. It was noted that with the appearance of medium and small unmanned lethal vehicles, the tasks of countering them became significantly more relevant. Starting from the mid-2000s, reports began to circulate in the mass media about the danger of using small unmanned aerial vehicles in airport areas, and from the mid-2010s they began to be used to conduct unauthorized surveillance of important military objects, to conduct terrorist attacks, acts and diversions, for the transportation of prohibited goods (weapons, drugs and various contraband). In this work, it is noted that in the leading countries of the world, active scientific development of this direction of research has begun. At the same time, this problem is relatively new, because one of the first works on the use of unmanned aerial vehicles dates back to 2008. And mass scientific publications on their use refer to the years 2016-17. In the modern scientific literature of the leading countries of the world, the main directions of research in these scientific directions of research were introduced. Special terms were developed and implemented in scientific publications. At the initial stage of using UAVs (in the early 2000s), the task of analyzing their capabilities and countering them appeared. The task of countering UAVs was solved exclusively by means of defeating anti-aircraft missile systems of air defense (air defense air defense systems). Currently, military scientists have found out that the direct neutralization of a massive UAV raid by means of anti-aircraft defense systems is economically impractical, due to the unreasonably high cost of anti-aircraft defense means. This leads to the rapid consumption of the combat resource of the air defense system. In this regard, new means of countering UAVs are being widely researched, namely: the use of electronic warfare (ERW), the use of directed energy radiation — laser weapons, as well as the combined use of EW and air defense systems.*

*Key words: unmanned lethal vehicle, probability, intelligence, camouflage, countermeasure, detection, effectiveness, terrorist groups, leading countries of the world.*

## ЗАСТОСУВАННЯ РАДАРНОЇ ІНТЕРФЕРОМЕТРІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ

*Передовий досвід підготовки та ведення бойових дій показав, що рельєф є одним з найважливіших елементів змісту будь-якої карти, яка визначає особливості ландшафту певної території. Цифрові моделі рельєфу використовуються при актуалізації цифрових топографічних карт і планів різного масштабу, проведення різного роду інженерних вишукувань, геологічних, біологічних та географічних досліджень.*

*У статті розглянуто наявні моделі та методи побудови цифрових моделей рельєфу з метою їх порівняльного аналізу на основі комплексування відкритих, загальнодоступних джерел інформації. Наведено підходи побудови цифрових моделей рельєфу та розглянуто інформаційне забезпечення для їх створення. Продемонстровано можливість використання різних джерел даних, призначених для створення цифрової моделі рельєфу: для моделювання задач землеустрою, моделювання гідрологічної мережі, аналізу зони покриття радіочастотних вишок, моделювання задач будівництва, моделювання зон затоплення внаслідок повеней та паводків. За рахунок удосконалювання цифрової моделі рельєфу можливе вироблення нових підходів для їх створення або інтеграція наявних. На сучасному етапі розвитку ЗС України для побудови цифрової моделі рельєфу доцільно використовувати радарну інтерферометрію як відносно швидкий і точний метод побудови цифрової моделі рельєфу. Інтерферометрія – це технологія вилучення висоти рельєфу по фазовій інформації двох знімків. Інтерферометричну обробку проводять на основі використання радіолокаційних даних. Метод передбачає, що одна і та сама територія повинна бути відзнята зі зміщенням у просторі приймальної антени радіолокатора. Таким чином, за рахунок застосування радарної інтерферометрії можливе швидке вироблення нових підходів для створення цифрової моделі рельєфу або поєднання декількох.*

*Ключові слова: цифрова модель рельєфу, інтерполяційні методи, геометрична модель, крігінг, система радіотехнічного знімання місцевості.*

**Вступ та постановка задачі.** На різних етапах розвитку Збройних Сил завдання аналізу місцевості вирішувалися різними методами. Тривалий час основними джерелами отримання даних про місцевість слугували топографічні карти, дані рекогносрування та розвідки (наземної та авіаційної), опитування місцевих жителів та інші джерела [1, 2]. На сучасному етапі розвитку Збройних Сил форма і зміст документів про місцевості суттєво змінилися. Поряд з паперовими картами, які продовжують застосовуватися до теперішнього часу, використовуються дані дистанційного зондування, також з'явилися цифрові та електронні карти місцевості, які суттєво прискорили розвиток геоінформаційних технологій (ГІТ) в автоматизованій системі управління Збройних Сил України (ЗСУ).

Дані про рельєф місцевості є одним з найважливіших елементів змісту будь-якої карти, що визначає особливості ландшафту. Характер рельєфу враховується при освоєнні та заселенні територій, розвитку транспортних мереж, промисловості, сільського господарства і будівництва, веденні і плануванні бойових дій (визначення можливостей відкритого пересування, маскування, умов прохідності, невидимості тощо). Дані про рельєф місцевості є необхідною складовою при створенні і реалізації геоінформаційних проектів різного призначення, ортотрансформуванні даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) [3].

Джерелом даних про рельєф зазвичай виступають цифрові моделі місцевості (ЦММ), які містять точні дані про висоту земної поверхні (рослинність та інші висотні антропогенні

об'єкти) і цифрові моделі рельєфу (ЦМР), по англ. Digital Elevation Model (DEM)), що містять дані про висоту безпосередньо над поверхнею землі.

ЦММ містять в собі цифрові шари (моделі) рельєфу, вектори (об'єкти з атрибутивними характеристиками), щільність населення, контингентів військ (адміністративні межі, межі населених пунктів баз зосередження військ і техніки тощо), перешкод (висоти будівель, рослинності та інженерних споруд).

ЦММ створюються в прийнятих для карт проекціях, розграфці, системах координат і висот, з урахуванням законів картографічної генералізації і встановленням необхідних топологічних відношень між об'єктами. Це картографічна модель, що містить дані про об'єкти місцевості та їх характеристики. Вона будується таким чином, щоб була можливість виділення з неї незалежні моделі в прийнятих для топографічних планів умовних знаках рельєфу місцевості, фортифікаційних споруд, комунікацій, будівель і споруд, гідрографії, рослинного покриву тощо.

ЦММ, які використовуються в геоінформаційних системах (ГІС) дозволяють здійснювати різні розрахунки по поверхні рельєфу. Серед них можна виділити:

- обчислення ухилів і експозиції схилів, що дуже важливо при будівництві доріг, наведенні переправ і розрахунку часу їх подолання;
- одержання морфометричних та інших даних про рельєф місцевості;
- аналіз поверхневого стоку на території;
- моделювання затоплення територій під час руйнування дамб, гребель артилерією або авіацією;
- аналіз видимості, при плануванні комунікаційних мереж та ряді інших військових завдань;
- ортокоррекцію зображень;
- вимір площ і обсягів, отримання профілів поверхні;
- перегляд даних у трьох вимірах, створення віртуальних польотів над місцевістю;
- інших обчислювальних операціях і графоаналітичних побудовах.

Під ЦМР розуміють тривимірну математичну модель відображення земної поверхні, що подається у вигляді масиву точок з визначеною висотою по всій області їх простягання. Найчастіше як приклад, наводять рельєф, проте поверхнями можна подати температуру, концентрації забруднення території тощо.

ЦМР необхідна для одержання максимально детальної інформації про рельєф місцевості, певної території, при актуалізації цифрових топографічних карт і планів різного масштабу, проведення різного роду інженерних вишукувань, геологічних, біологічних та географічних досліджень.

Найбільш поширеними застосуваннями ЦМР на сучасному етапі є такі:

- визначення особливостей місцевості;
- побудова профілів, горизонталей та розрізів рельєфу;
- прогнозування безпечності будівництва фортифікаційних споруд, аеродромів, портів, інженерних споруд;
- прогнозування змін рельєфу місцевості при нанесенні ударів військової авіації, балістичних і крилатих ракет, застосуванні ядерної зброї;
- моделювання радіовидимості;
- моніторингу стратегічно важливих територій і об'єктів.

**Аналіз попередніх досліджень і публікацій.** Одним з напрямків розвитку сучасних ГІС є автоматизація процесів отримання ЦМР. Дослідженням рельєфу місцевості і розробкою алгоритмів створення ЦМР займалися Бурштинська Х.В., Городинський І.В., Дорожинський О.Л., Костін А.В., Ласточкін О.М., Рудий Р.М., Хромченко А.І., Черваньов І.Г., Poul Frederiksen, Ole Jacobi, Kurt Kubik та інші. Ними розроблені методики побудови ЦМР та різні способи створення 3D моделей.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що проблема оцінки можливостей цих алгоритмів щодо точності і швидкодії ще далека від свого завершення і потребує глибокого системного опрацювання.

**Метою статті.** Є задача проведення порівняльного аналізу існуючих методик побудови максимально коректних ЦМР на основі комплексування відкритих, загальнодоступних джерел інформації, до яких перед усім відносяться супутникові дані – AsterGDEM (Global Digital Elevation Model) та SRTM (Shuttle radar topographic mission); топографічні карти масштабу 1:200000, 1:100000.

**Виклад основного матеріалу.** Сьогодні тривимірне подання рельєфу засобами сучасних ГІТ є одним із напрямків у геоінформатиці при ситуативному моделюванні (тренажери, командні навчання тощо), аналізі проектів і рішень (дорожнє будівництво та архітектура), розвитку транспортної і інженерної інфраструктури, в промисловості і сільському господарстві, моніторингу надзвичайних ситуацій, в моделюванні родовищ корисних копалин, як засіб найбільш ефективної просторової організації різночасових даних, для виконання аналітичних розрахунків і як інструмент підтримки прийняття управлінських рішень, який дуже швидко розвивається.

Сукупність основних задач, що можуть розв'язуватись за допомогою ЦМР представлена на рис.1. Список розглянутих задач, де можуть використовуватися глобальні ЦМР не є вичерпним і він потребує подальшого розширення і аналізу. Оскільки рівень вимог щодо точності цифрового опису рельєфу, як системоутворюючого фактора місцевості, багато в чому визначається типом наукової або інженерно-технологічної задачі, методами її розв'язання, вартістю, наявним програмним забезпеченням то перед споживачем стоїть задача вибору джерел даних, які багато в чому визначають розрізнення моделі і алгоритмами створення ЦМР [3].

Джерелами даних для створення ЦМР можуть слугувати дані ДЗЗ, аерофотознімки, фотограмметричні виміри, дані систем супутникового позиціонування, наземні геодезичні зйомки, дані промірних робіт і ехолотування, лазерного сканування місцевості, картографічні дані тощо [3]. Висока швидкість проведення вимірів і ефективність зйомки забудованих площ, таких як міські території надають повітряному лазерному скануванню низку переваг порівняно з іншими видами побудови ЦМР. Отриманий в результаті 3D масив точок високої щільності і точності фактично є цифровою моделлю рельєфу, яка може бути основою для ортофотопланів, цифрових топографічних планів масштабів 1:500 і дрібніше, тривимірних моделей рельєфу і об'єктів місцевості [3, 4].

ЦМР для великих територій можна отримати різними способами, зокрема при радіометричному зніманні місцевості, яке було зроблене на всю територію поверхні Землі (крім полюсів) радаром, запущеним у космос за допомогою космічного корабля Shuttle американським космічним агентством NASA – CGIAR. Створити ЦМР можна і на основі фотограмметричних способів. Застосування методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і фотограмметрії, де існує велика кількість напрацювань і перевірених методик дозволяють створювати досить точні і достовірні цифрові моделі місцевості, точність результатів яких є переконливою. Проте, використання матеріалів ДЗЗ передбачає велику кількість контрольних вимірів, застосування спеціалізованого сертифікованого програмного забезпечення [5, 6].

На сьогодні популярним є створення ЦМР на основі ДДЗ та SRTM. SRTM (Shuttle radar topographic mission) – міжнародна місія з отримання даних цифрової моделі рельєфу території Землі. В результаті цієї міжнародної програми були отримані топографічні дані для бази даних Землі у майже глобальному масштабі від 56° південної широти до 60° північної широти [7, 8].

Можливість використання SRTM та ASTER GDEM для території України досліджена в праці [9], де засвідчено що для території України дані SRTM та ASTER GDEM забезпечують точність по висоті 3-8 метрів. ASTER GDEM – інструмент здатний здійснювати спостереження з високою роздільною здатністю в інфрачервоній, видимій і тепловій областях електромагнітного спектру.

ЦМР створюються на основі нерегулярних триангуляційних мереж TIN та регулярних сіток GRID (рис. 2).

У тій чи іншій мірі глобальні ЦМР можуть забезпечити розв'язання поставлених задач, навіть без залучення додаткових даних. Традиційний підхід до 3D-модельювання рельєфу місцевості полягає в реалізації технологічної схеми TIN (Triangulated Irregular Network) моделі ЦМР, яка включає етапи (рис. 3).

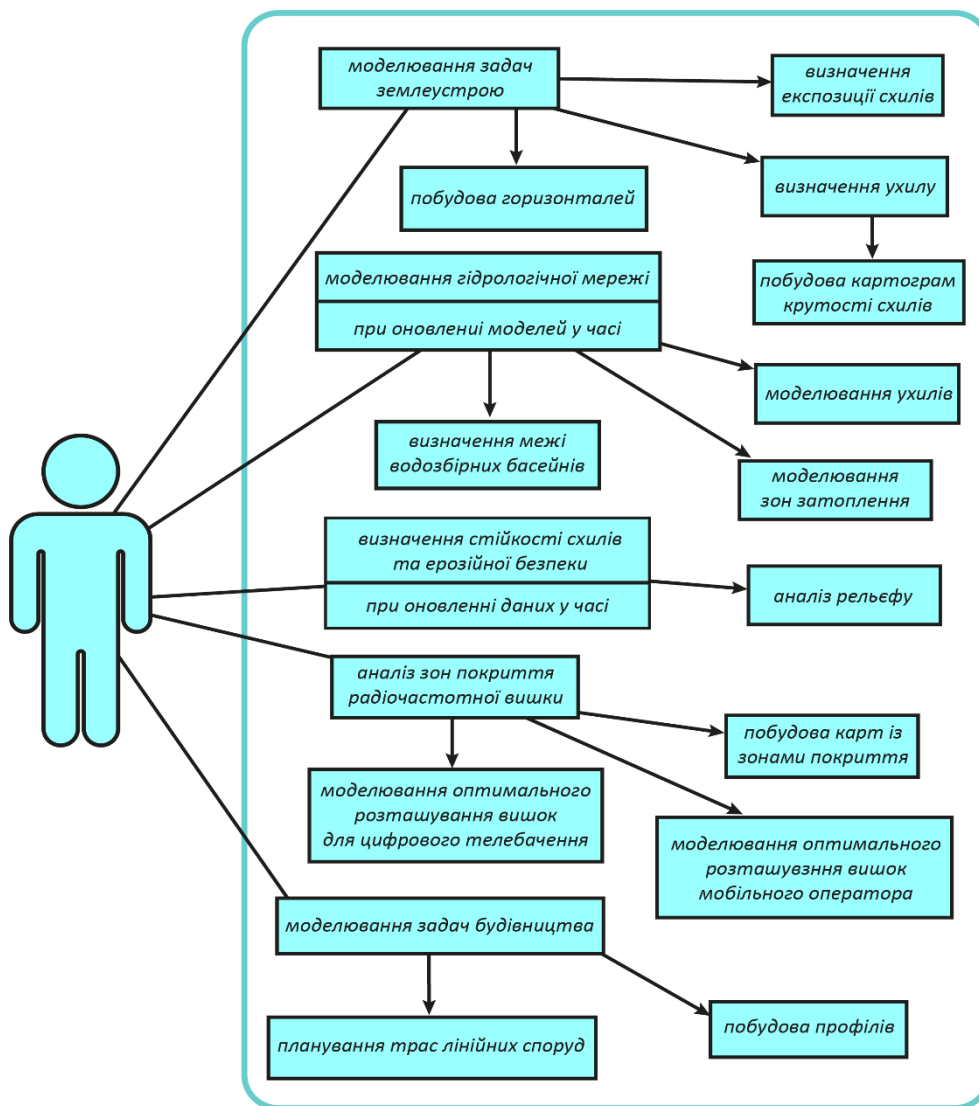


Рисунок 1 – Сукупність задач, що можуть розв'язуватись за допомогою ЦМР

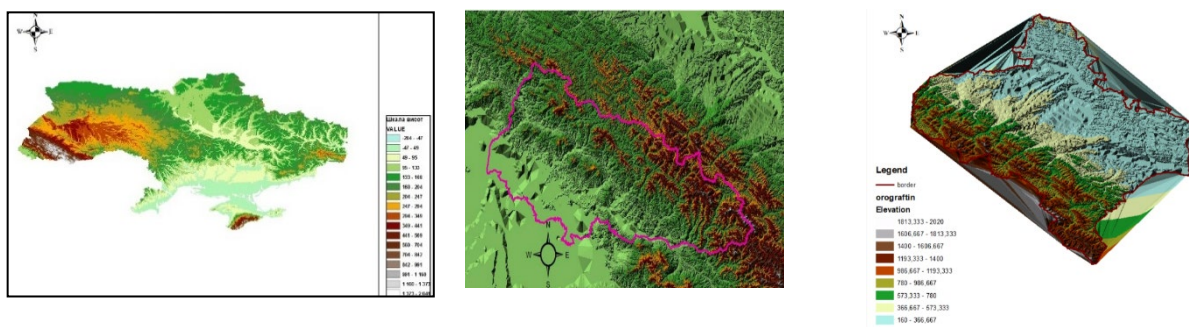


Рисунок 2 – Карта рельєфу України, Закарпатської та Івано-Франківської областей



Рисунок 3 – Технологічна схема традиційного створення ЦМР на основі TIN-моделі

В основі методів моделювання (побудови) безперервних поверхонь на основі дискретних (точкових) масивів просторово-координованих даних лежать процедури просторової інтерполяції. При цьому використовуються як стохастичні, так і детерміновані дані. На сьогодні існує багато методів, які дозволяють розв'язувати цю задачу. Серед них – інтерполяція на основі тріангуляції Делоне, метод зворотно зважених відстаней, метод природної околиці, методи сплайн-апроксимації, трендів, радіальних базисних функцій, кригінг, метод “Топо в растр” та ряд інших. Кожен з методів просторової інтерполяції має свої переваги і недоліки, які доцільно врахувати при виборі того чи іншого методу при побудові ЦМР. Крім того вибір методу інтерполяції наявних даних також залежить від кількості вихідних точок даних і рівномірності їх розподілу в області інтерполяції. На сучасному етапі розвитку ЗС України доцільно використовувати для побудови ЦМР радарну інтерферометрію, як відносно швидкий і точний метод побудови ЦМР.

Інтерферометрія – це технологія вилучення висоти рельєфу по фазовій інформації двох знімків. Інтерферометричну обробку проводять на основі використання радіолокаційних даних. Метод розуміє, що одна і та сама територія повинна бути відзнята зі зміщенням у просторі приймальної антени радіолокатора [10]. Інтерферометричний SAR (InSAR) технологія яка використовує різницю фаз принаймні двох комплексних зображень SAR, отриманих з різних позицій на орбіті та/або в різний час. Інформацію, отриману з цих наборів інтерферометричних даних можна використовувати для вимірювання кількох геофізичних величин, однією з яких є рельєф [11].

Проміжок часу отримання даних декількох фаз становить від кількох до десятків днів, залежить від плану польотів супутників. Використовуючи повторні супутникові нальоти, озброєні спеціалізованими передавальними і приймальними пристроями SAR (Synthetic Aparature Radar) дозволяє сканувати поверхню Землі на площі в багато тисяч км<sup>2</sup> практично одночасно. Ефект сканування, що здійснюється за допомогою радіолокаційної хвилі, спрямованої на Землю, є так званою радарограмою (растровим зображенням). Під час запису в окремих пікселях зображення зберігається інформація про інтенсивність відбиття радіолокаційної хвилі від поверхні Землі та фазу цього сигналу в момент його повернення на приймач.

При проведенні інтерферометричної обробки можливе отримання цифрової моделі рельєфу (у разі використання інтерферометричної пари), а також отримання даних про зміщення поверхні при використанні методів диференціальної інтерферометрії, які передбачають сумісну обробку різночасової зйомки. Основними етапами виконання робіт для побудови ЦМР є формування інтерферограми, фільтрація, розрахунок когерентності та розвертка фази. Дані операції в результаті дають можливість використовувати зв'язок інтерферограми з рельєфом і створити ЦМР. Інтерферометричний метод має теоретично високу точність результатів, що поєднуються з довжиною хвилі використовуваного джерела випромінювання. Для побудови високоточної цифрової моделі рельєфу за радіолокаційним зніманням, необхідно два проходження по одній і тій же території радарними супутниками (наприклад, Sentinel-1), при цьому для підвищення точності моделі необхідне використання орбітальних даних про положення супутника на момент зйомки (Sentinel-1 надає такі дані).

Технологія диференціальної інтерферометричної обробки полягає у формуванні інтерферограми, яка у спрощеному вигляді являє собою результат перемноження пари

комплекснозначних радарних зображень однієї й тієї самої місцевості, отриманих ідентичними знімальними SAR-системами з близько розташованих точок орбіти. При цьому різниця значень фазових циклів у межах кожного пікселя на інтерферограмі - це величина відносної зміни відстані між відбивачем (поверхня, що зондується) і антеною радара SAR [12].

Супутники SAR випромінюють радіолокаційні хвилі та вимірюють амплітуду та фазу (частку повної хвилі) відбитих хвиль для кожного пікселя зображення. Інформація про фазу може бути дуже точно виміряна супутником і є основою для радіолокаційної інтерферометрії. У своїй найпростішій формі InSAR об'єднує два (точно вирівняних) зображення SAR однієї сцени в «інтерферограму», обчислюючи різницю у фазі радіолокаційних хвиль [13].

Складання двох радарограм однієї області знятих за певний інтервал часу дозволяє розрахувати різницю фаз радіолокаційних сигналів у відповідних пікселях. Це значення зі знанням довжини хвилі обробляється чисельно, отримуючи інформацію про висоти поверхні місцевості. Цю інформацію несе інтерферограма – продукт комп'ютерної обробки пари радарограмм.

Результуюча різниця фаз, інформація про яку міститься в інтерферограмі, є функцією рельєфу місцевості, зміщення земної поверхні, атмосферних ефектів і помилок вимірювань [14]:

$$\varphi = \varphi_{top} + \varphi_{dis} + \varphi_{atm} + \varphi_{err} . \quad (1)$$

де  $\varphi_{top}$  – зміна фази, що пов'язана з рельєфом місцевості (за рахунок огляду місцевості під двома різними кутами);

$\varphi_{dis}$  – зміна фази за рахунок зміщення відбиваючої поверхні в період між знімками;

$\varphi_{atm}$  – виникає за рахунок відмінності довжини оптичних шляхів із-за переломлення в атмосфері;

$\varphi_{err}$  – зміна фази в результаті електромагнітного шуму, помилок моделювання, тощо.

Комплексна інтерферограма обчислюється за формулою:

$$I = M \cdot S^* , \quad (2)$$

де  $M = |M|e^{i\varphi_M}$  – комплексний сигнал основного знімку;

$S = |S|e^{i\varphi_S}$  – комплексний сигнал додаткового знімку, «зірочка» означає комплексне сполучення.

Тоді формулу (2) можна переписати у вигляді:

$$I = |M| \cdot |S| e^{i(\varphi_M - \varphi_S)} = |M| \cdot |S| e^{i\Delta\varphi} . \quad (3)$$

В подальшому, із  $\Delta\varphi$ , отриманого за формулою (3) у відповідності з попередньою (1) необхідно вирахувати зміну фази, що не пов'язані зі зміщенням Землі. Позначаються ці зміни через  $R = e^{i\varphi_R}$ .

В результаті формула (2) має вигляд:

$$I = M \cdot S^* \cdot R^* , \quad (4)$$

А зміна фази розраховується за формулою:

$$\Delta\varphi = \varphi_M - \varphi_S - \varphi_R . \quad (5)$$

Цикли різниці фаз в інтерферограмі називаються «смугами» і викликані згортанням фази, оскільки спостережувана частка хвилі ніколи не перевищує один цикл хвилі. Залежно від напрямку огляду супутника, кожна смуга відповідає зменшенню або збільшенню діапазону

на половину довжини хвилі SAR вздовж лінії видимості супутника. Ці згорнуті різниці фаз часто придатні для цілей візуалізації, але багатьом програмам потрібна розгорнута (безперервна) інформація про різницю фаз, яку можна отримати шляхом застосування передових математичних алгоритмів розгортання фаз [13].

Інтерферограма показує у відповідно обраній колірній шкалі різницю фаз радіолокаційних сигналів у відповідних пікселях встановленої пари радарограмм. Зони різних висот поверхні Землі (наприклад, западини) на інтерферограмі виглядають у вигляді характерних кольорових смуг із повторюваною послідовністю кольорів. Залежно від використовуваної колірної палітри та довжини хвилі радара, що використовується для сканування місцевості, кожен колір відповідає вертикальній зміні висоти з певним фіксованим значенням. Довжини хвиль радара, які зараз використовуються для сканування поверхні Землі, можуть виявляти зміни висоти в субміліметровому діапазоні [11].

Основою правильної побудови ЦМР зареєстрованих методом InSAR є хороша якість інтерферограм. Це залежить головним чином від когерентності використовуваних радіолокаційних зображень. Зафіксована на інтерферограмі фаза знаходиться в інтервалі від  $-\pi$  до  $\pi$ , але її дійсно значення може далеко виходити за ці межі. Відновлення фази (phase unwrapping, інакше — розгортання фази) дозволяє відновити справжнє її значення за допомогою додавання або вирахування кратного  $2\pi$  числа до фази таким чином, щоб зробити відповідну фазову картину максимально гладкою [14]. Тимчасові та перпендикулярні базові лінії (у поєднанні з областю інтересу та наявністю даних) встановлюють граничні умови для застосування InSAR. Оскільки ця техніка ґрунтується на порівнянні фази кожного пікселя на двох або більше зображеннях, фази мають бути достатньо когерентними у своєму радарному відбитті, щоб їх можна було порівнювати. Чим більше часу пройшло між двома зображеннями, тим більша ймовірність того, що якийсь об'єкт або елемент, який сприяє відображенню в цьому пікселі, зміниться. Це спричиняє втрату когерентності та зрештою призводить до повної декореляції між двома пікселями. Втрата когерентності також виникає з більшими перпендикулярними базовими лініями.

Інтерферограма з помірною перпендикулярною базовою лінією та невеликою тимчасовою базовою лінією дуже добре покаже локальну топографію території. Використання методу InSAR при дослідженні висотних характеристик місцевості дозволяє отримувати просторову інформацію без необхідності проведення прямих робіт по вимірюванню інформацію про топографію в польових умовах.

**Практична побудова цифрової моделі рельєфу.** Інтерферометричний радар із синтетичною апертурою (InSAR) використовує різницю фаз між двома комплексними зображеннями SAR, отриманими з різних положень датчиків, і витягує інформацію про земну поверхню. Сигнал SAR містить інформацію про амплітуду та фазу. Амплітуда – це потужність відгуку радара, а фаза – це частка одного повного циклу синусоїдальної хвилі (одна довжина хвилі SAR). В першу чергу це визначається відстанню між супутниковою антеною та наземними цілями. Об'єднавши фазу двох зображень після спільної реєстрації, можна створити інтерферограму, інформація якої сильно корелює з топографією зображення, отримані з дещо інших позицій датчика, і витягує інформацію про земну поверхню [15].

Побудувавши таким чином інтерферограму можна обрахувати абсолютні відмітки висот для обраної території і побудувати ЦМР.

Для отримання ЦМР з даних радарної зйомки потрібно виконати ряд кроків і обрахунків. Насамперед потрібно підібрати актуальні дані, які підходять для даного процесу.

Для побудови якісної інтерферограми та визначення з її допомогою висоти або розміщення поверхні необхідно, щоб два зображення мали високу когерентність (умова інтерференції), а також були поєднані геометрично з високою точністю. При підборі пари знімків актуально було дотримуватися таких правил:

- мінімальний часовий проміжок між знімками (в ідеалі до 2 тижнів);
- відповідна базова лінія: відстань між орбітальними положеннями супутників на момент отримання зображення (найкращий варіант, якщо від 150 до 300 метрів).

Для побудови ЦМР було обрано територію Надвірнянського району Івано-Франківської області (рис. 4).

Було завантажено дані радіолокаційного знімання Sentinel-1 інтерферометричного режиму з широкою смугою (IW). Всі дані було завантажено з сервісу [scihub.copernicus.eu](https://scihub.copernicus.eu). Завантажено два набори даних за березень 2021 р., що задовольняє умови в проміжку часу для отримання коректної ЦМР. Перпендикулярна базова лінія більше 150 м.

Для побудови ЦМР з радарних знімків обрано програмне забезпечення SNAP, що має інструментарій для роботи з набором даних Sentinel-1.



Рисунок 4 – Територія Надвірнянського району Івано-Франківської області для побудови ЦМР за даними Sentinel-1 (знімок підтягнуто в ArcGIS з онлайн шару basemap)

Платформа додатків Sentinel або коротко SNAP – безкоштовне та відкрите програмне забезпечення, яке включає в себе набір виконуваних інструментів і інтерфейсів програмування додатків (API), які були розроблені для полегшення використання, перегляду та обробки різноманітних даних дистанційного зондування. Функціональність SNAP доступна через Sentinel Toolbox. Мета Sentinel Toolbox полягає не в тому, щоб дублювати існуючі комерційні пакети, а в тому, щоб доповнити їх функціями, призначеними для обробки продуктів даних із супутників спостереження Землі [16].

Для побудови ЦМР за даними радіолокаційного знімання в SNAP можна виділити таку послідовність кроків, що потрібно зробити:

- попередня обробка даних (завантаження знімків, завантаження точних даних про орбіти і виділення потрібної території);
- об'єднання пари знімків;
- створення інтерферограми;
- розгортання фази;
- переведення радіанних значень в абсолютні висоти території;
- проведення радіометричної корекції.

Насамперед для можливості виконання всіх кроків в SNAP додатково встановлено плагін Snaphu. Даний плагін відповідає за розгортання фази і відповідно отримання даних про абсолютні висоти. Після встановлення плагіну було завантажено датасет в SNAP. Вхідними даними для обробки є інтерферометрична пара, що складається з основного і додаткового радарних знімків (рис. 5).

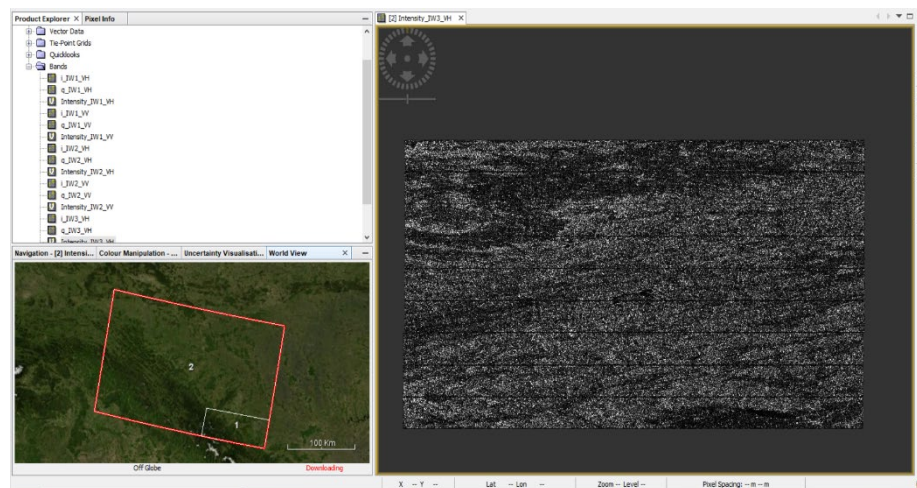


Рисунок 5 – Дані Sentinel-1 з сервісу scihub.copernicus.eu за 20 березня 2021 р. візуалізовані в SNAP

Дані Sentinel-1 покривають велику територію і розрахунок за ними є досить затратними, тому актуально перед обробкою провести відбір даних, що покривають обрану територію. Датасети складається з окремих 27 знімків, для обраної території актуально відібрати 2 із них. Для цього застосовується інструмент S-1 TOPS Split, щоб вибрати лише ті пакети, які потрібні для аналізу. В налаштуванні інструменту вибирається підсмуга IW2 і поляризація VV у параметрах обробки. Дана процедура повторюється для кожного з двох наборів даних (рис. 6).

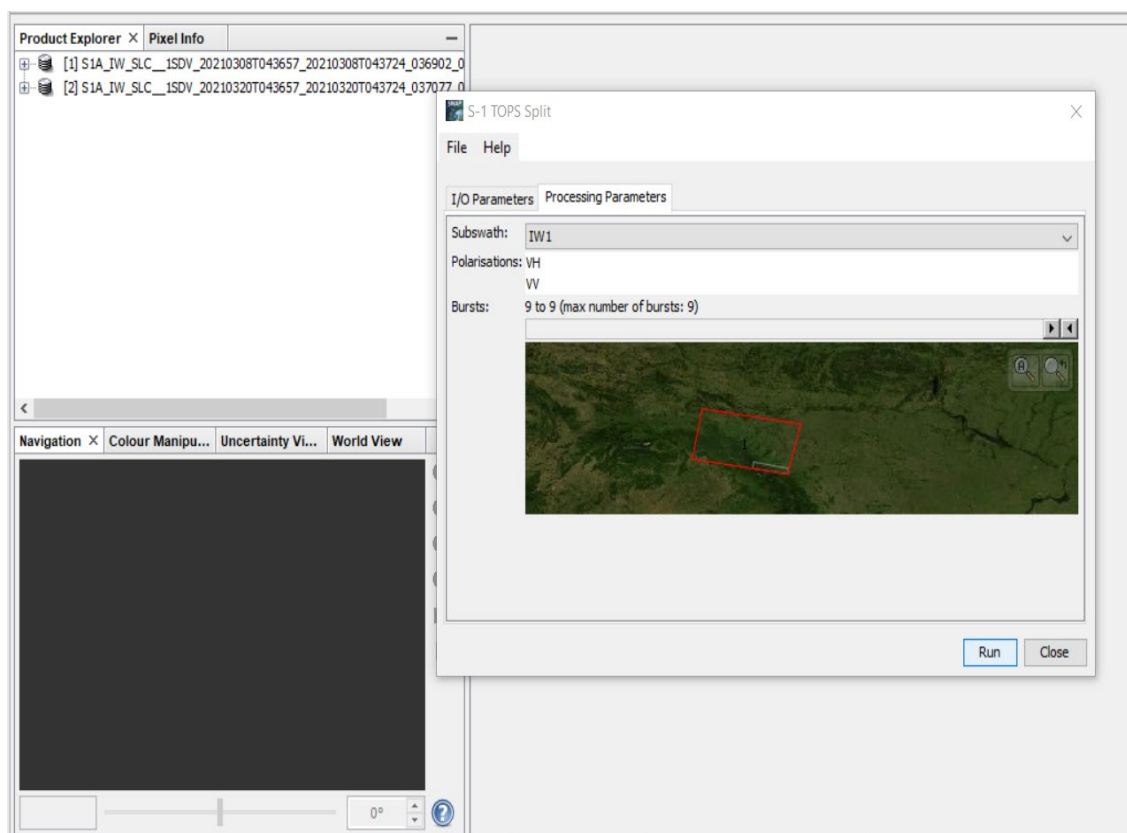


Рисунок 6 – Інструмент S-1 TOPS Split в SNAP для відбору потрібних даних, що покривають обрану територію

Для побудови інтерферограми в подальшому актуально завантажити дані орбіт про точне розташування супутника в просторі під час знімання території за допомогою інструменту Apply orbit file, використання якого повторюється для кожного набору даних.

Після завантаження даних про орбіти потрібно провести об'єднання двох окремих датасетів для їх обробки в комплексі. Даний процес відбувається на основі раніше завантаженого файлу орбіт і автоматично підвантаженого програмою SNAP знімку SRTM (може бути інший за вибором), що відповідає за прив'язку знімків до однієї системи координат. На даному етапі використовується інструмент S-1 Back Geocoding (coregistration > s1 tops coregistration > S-1 Back Geocoding). Також що підвищити якість реєстрації знімків застосовано інструмент S-1 Enhanced Spectral Diversity, для корекції зміщення дальності й азимута (рис. 7).

Наступним етапом є побудова інтерферограми, що формується перехресним множенням еталонного зображення на комплексне сполучення вторинного. Амплітуда двох зображень множиться, а фаза представляє різницю фаз між двома зображеннями. Разом з цим обчислюються смуги когерентності, що показують наскільки схожі пікселі між двома зображеннями за різні дати [15].

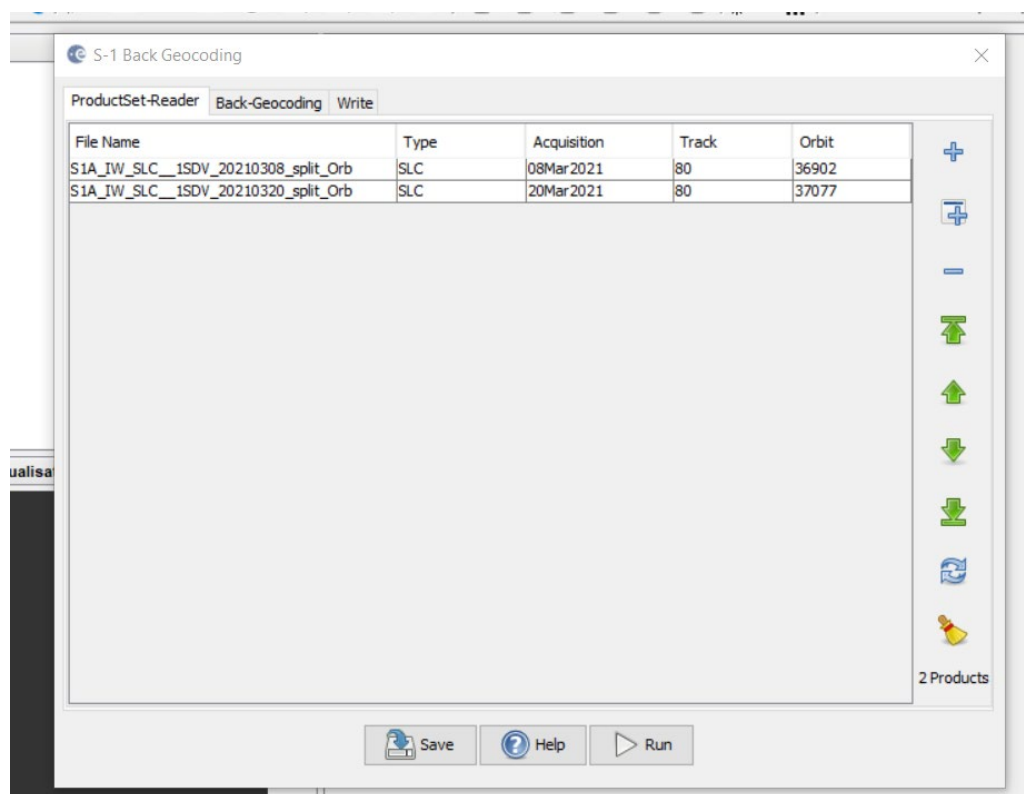


Рисунок 7 – Інструмент S-1 Back Geocoding в SNAP для об'єднання датасетів Sentinel-1 (в інструменті також відображаються дати збору даних і номери орбіт)

Для виконання даного етапу в SNAP використовується інструмент Interferogram Formation operator (under Radar > Interferometric > Products> Interferogram Formation) (рис. 8).

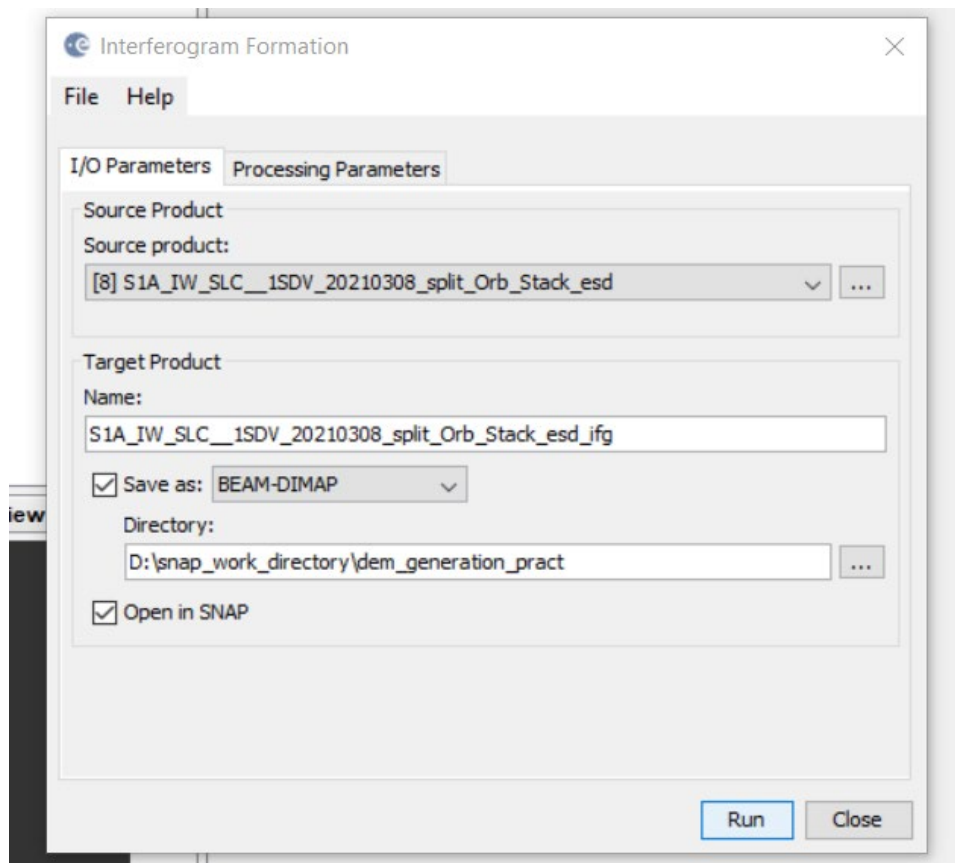


Рисунок 8 – Інструмент Interferogram Formation в SNAP для побудови інтерферограми

В результаті отримуємо інтерферограму і смугу когерентності для відібраних раніше смуг, що покривають досліджувану територію. Інтерферограма відображається в райдужній кольоровій шкалі, що включає в себе рельєф, атмосферу та потенційну деформацію поверхні (вважається нульовою). Ділянки фазової декореляції виглядають на інтерферограмі як шум (рис. 9).

Оскільки дані подані у вигляді одиничних смуг (відібрано два знімки), то між ними можна спостерігати шов, що є недопустимим для подальшої побудови ЦМР. Для видалення швів застосовується інструмент S-1 TOPS Deburst до інтерферограми. На виході отримуємо ж ті самі дані, але вже без швів (рис. 10).

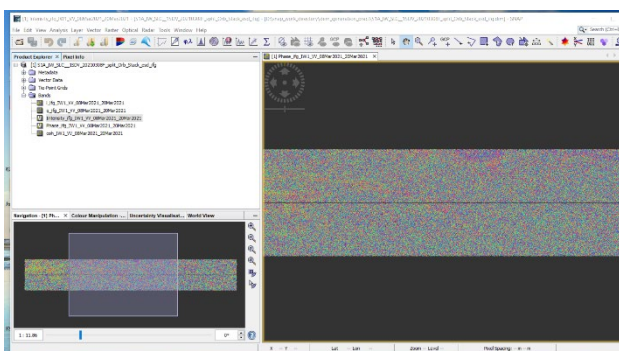


Рисунок 9 – Побудована інтерферограма в SNAP за відібраними даними



Рисунок 10 – Інтерферограма після використання інструменту S-1 TOPS Deburst для видалення швів між смугами (знімками)

Інтерферометрична фаза може бути спотворена шумами часової та геометричної декореляції, об'ємним розсіюванням та іншими помилками обробки. Фазова інформація в областях, пов'язаних з декоруванням, не може бути відновлена, але якість смуг, що існують на інтерферограмі, може бути підвищена шляхом застосування спеціалізованих фазових фільтрів, таких як фільтр Гольдштейна, який використовує швидке перетворення Фур'є для покращення співвідношення сигнал/шум зображення [15].

Для цього застосовується інструмент Goldstein Phase Filtering (under Radar > Interferometric > Filtering). Результатом буде відфільтроване фазове зображення (рис.11).

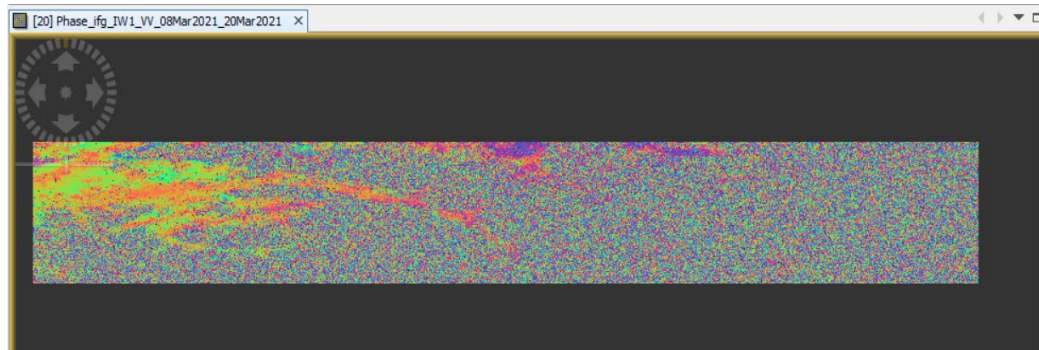


Рисунок 11 – Відфільтроване фазове зображення інтерферограми

Для того, щоб пов'язати інтерферометричну фазу з топографічною висотою її повинно бути спочатку розгорнуто. Невизначеність висоти визначається як різниця висот, що генерує інтерферометричну зміну фази. Розгортання фази розв'язує цю неоднозначність шляхом інтегрування різниці фаз між сусідніми пікселями. Після видалення різниці фаз між двома точками на сплюсненій інтерферограмі можна виміряти фактичну зміну висоти. Відповідно, розгорнуті результати слід інтерпретувати як відносну висоту чи зміщення між пікселями двох зображень. Розгортання фази в SNAP відбувається в три окремі етапи (рис. 12):

1. Експорт згорнутої фази (та визначення параметрів) (interferometric > unwrapping > snaphu export)
2. Розгортання фази (виконується поза SNAP за допомогою snaphu) (interferometric > unwrapping > snaphu unwrapping)
3. Імпорт розгорнутої фази назад в SNAP (interferometric > unwrapping > snaphu import).

Проходження вище описаних 3 кроків в результаті дає зображення розгорнутої фази, що можна використовувати для побудови цифрової моделі рельєфу (рис. 13).

Розгорнута фаза тепер є безперервним растром, але ще не є метричною мірою. Для перетворення радіанних одиниць в абсолютні висоти застосовується інструмент Phase to Elevation.

Він переводить фазу в висоти поверхні вздовж лінії прямої видимості (LOS) в метрах. LOS - це лінія між сенсором і пікселем. Для приведення значень висот до правильного рівня використовується матриця висот.

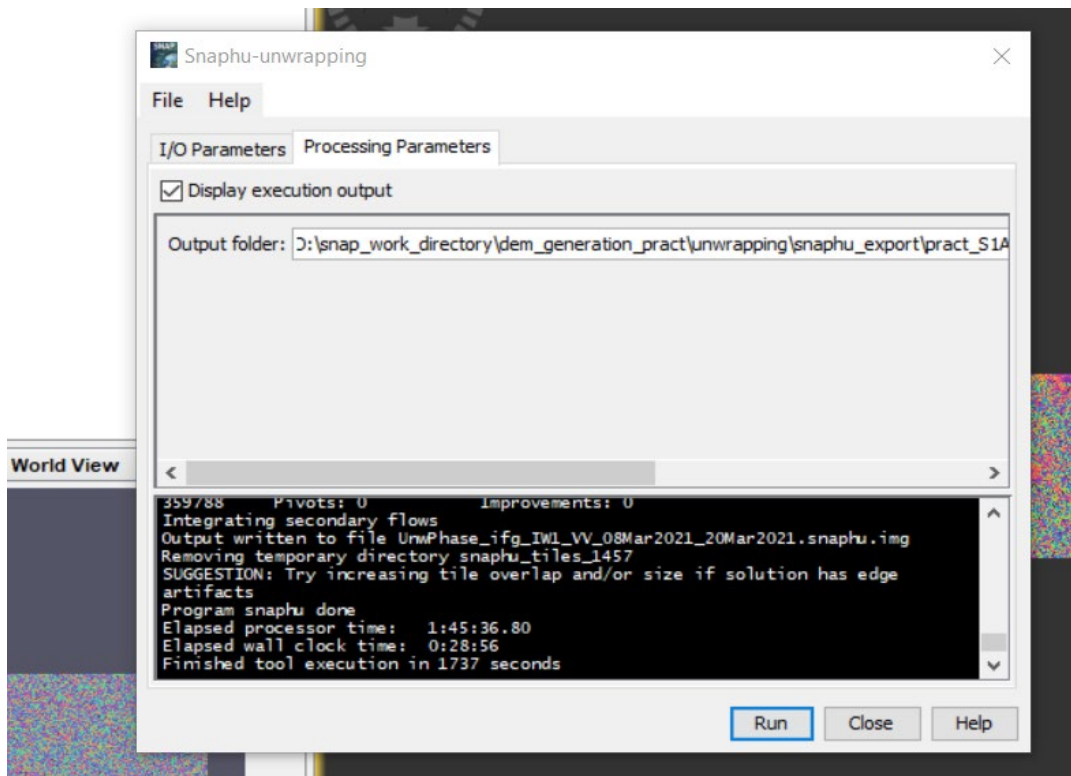


Рисунок 12 – Інструмент Snaphu unwrapping модуля Snaphu для розгортання фази інтерферограми в SNAP

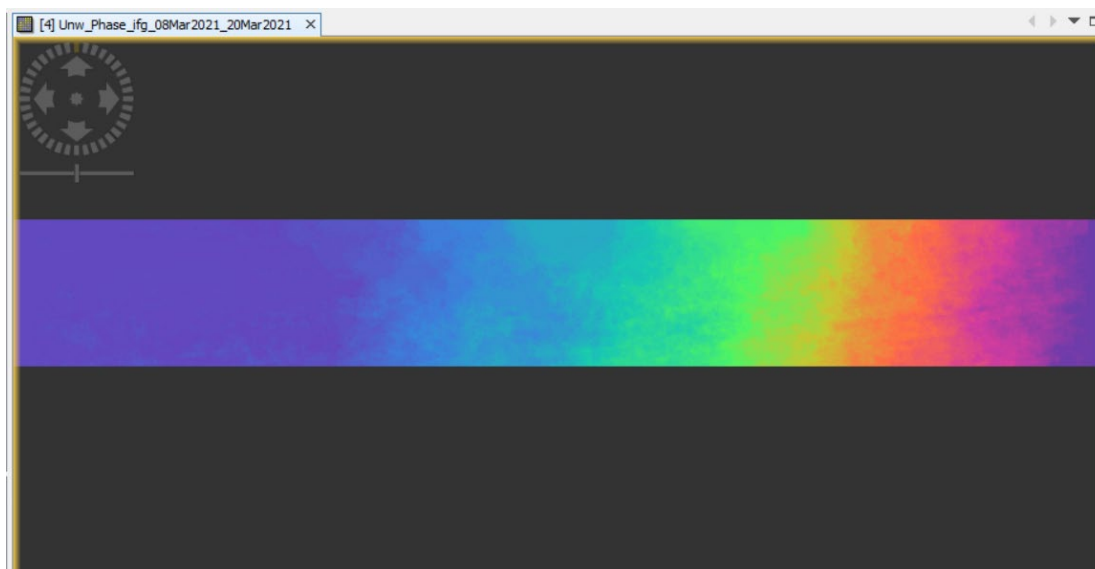


Рисунок 13 – Зображення розгорнутої фази інтерферограми

Він створює результат, який виглядає подібно до розгорнутої фази (дещо інша попередньо визначена кольорова гама), але тепер кожен піксель має метричне значення, що вказує на його висоту над рівнем моря (рис. 14).

На попередніх етапах обробки також могли бути внесені порожні пікселі на краю інтерферограми. Наприклад, в областях, які не вкриті обома вхідними зображеннями. Для обрізання цих ділянок варто використати інструмент Subset (рис.15).

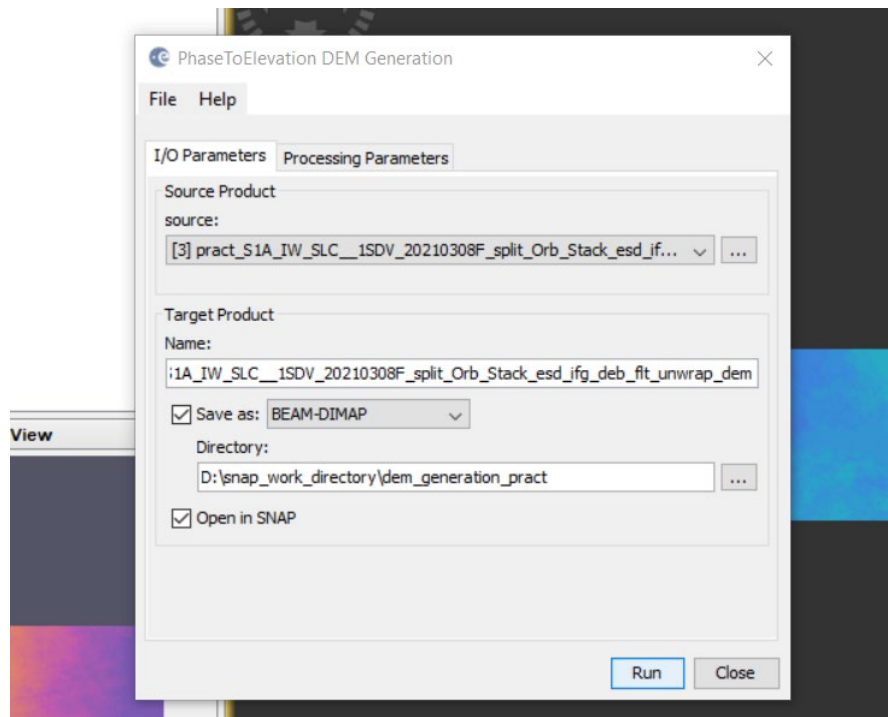


Рисунок 14 – Інструмент Phase to Elevation для отримання абсолютних висот території



Рисунок 15 – Зображення розподілу отриманих даних висот (попередня ЦМР) за допомогою інструментів Phase to Elevation та Subset

Викривлення викликані зображенням, що дивиться збоку (а не прямо вниз або в найнижчу точку) і ускладнюється пересіченою місцевістю. Корекція ландшафту переміщує пікселі зображення в правильне просторове співвідношення один з одним. Радіометрична корекція рельєфу поєднує обидві корекції для отримання чудового продукту для наукових застосувань (рис. 16).

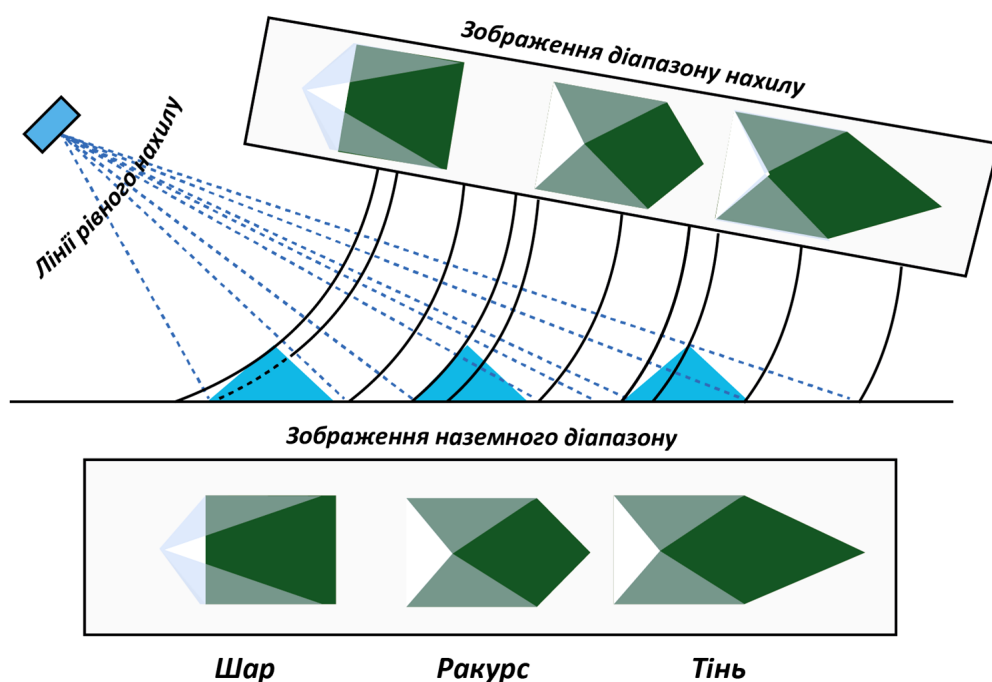


Рисунок 16 – Геометричні спотворення на радіолокаційних знімках

В інструменті Terrain Correction задамо додатково систему координат карти WGS84 і UTM Zone 35, що відповідає даній території (рис.17).

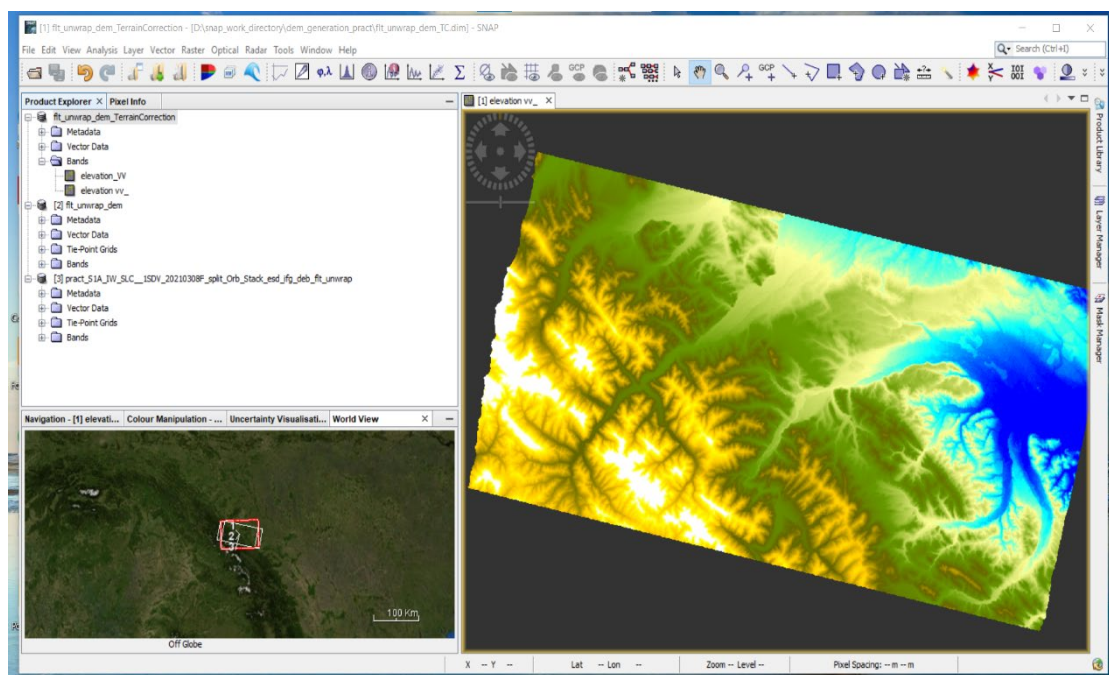


Рисунок 17 – Побудована ЦМР в SNAP за даними радарного знімання Sentinel-1 з проведенням радіолокаційної корекції

Для відображення ЦМР на території для якої вона будувалася її було експортовано в форматі GEOTiff і додано в Агсмар, а далі візуалізовано з напівпрозорістю 45% (рис. 18).

На основі створеної ЦМР можна створити 3D модель рельєфу. Для цього використаний один із додатків ArcGIS, а саме ArcScene. Насамперед підвантажуємо ЦМР в ArcScene.

Заходимо в налаштування знімку і в налаштуваннях «Base Heights» піднімаємо рельєф. В результаті отримано 3D модель рельєфу для даної території (рис. 19).

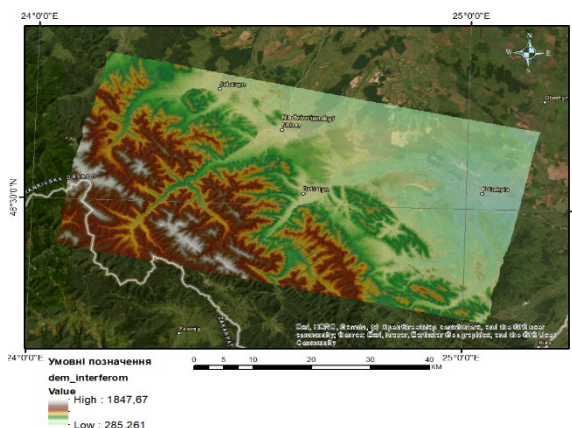


Рисунок 18 – Побудована ЦМР за даними радарного знімання Sentinel-1 в Arcstar на підкладці з підтягнутого онлайн шару basemap

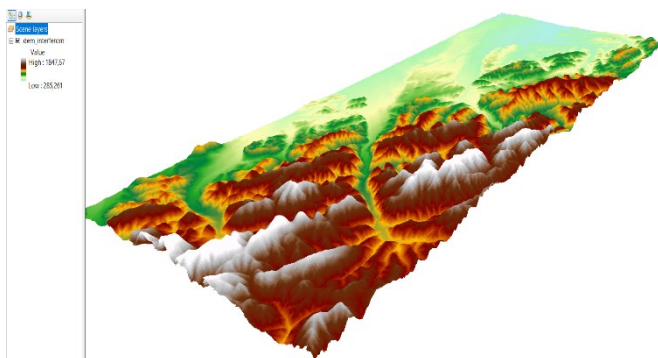


Рисунок 19 – 3D модель рельєфу для обраної частини території Надвірнянського району Івано-Франківської області в ArcScene

**Висновки.** За рахунок застосування радарної інтерферометрії можливе швидке вироблення нових підходів для їх створення ЦМР або поєднання декількох. На даному етапі в умовах відсутності нормативних документів щодо порівняння і створення ЦМР неможливо важко сказати, яка краща, оскільки кожна з них має як позитивні так і негативні сторони. При побудові універсальних ЦМР необхідні не тільки висотні позначки рельєфу, а й дна водойм та урізу води.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Азов В. Роль и место глобальной системы оперативного управления в стратегическом руководстве США / В. Азов // Зарубежное военное обозрение". – 2003. – № 5. – С. 2 – 7.
2. Беяченко В. В., Бобров С. В., Закалад М. А., Утюшев М. К. Обґрунтування функціональних вимог до програмної компоненти системи управління життєвим циклом автоматизованих систем у Збройних Силах України// Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського № 2(72), 2021 С. 97–106
3. Зацерковний В. Аналіз підходів щодо створення цифрових моделей рельєфу/ В. Зацерковний, Н. Руль, Л. Плічко, С. Кривоберець //Технічні науки та технології. – 2017. – №1.– С. 87–97.
4. Андреев А.А. В. Методика построения прецизионных цифровых моделей местности на основе данных спутниковой радарной интерферометрии с использованием ГИС / Андреев А.А., Пестова И. А., Свиденюк М.О., Суханов К.Ю., Титаренко О.В. //Збірник тез доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції (Київ 10 квітня 2019 року). – Київ: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, 2019. – 89 с.
5. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. – Кн.2. / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.
6. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи в науках про Землю : монографія / В.І.Зацерковний, І.В.Тішаєв, І.В. Віршило, В.К. Демидов. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.

7. Часковський О.Г. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання//Електроннийресурс:[http://www.nbu.gov.ua/old\\_jrn/natural/iglpdp/2009\\_35/35-3.pdf](http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/iglpdp/2009_35/35-3.pdf).

8. Что такое SRTM? Данные SRTM, и где скачать SRTM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109-dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.

9. Процик М.Т. Методи фотограмметричного та картографічного супроводу багаторівневої системи моніторингу ерозійних ґрунтових процесів: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.24.01 Геодезія, фотограмметрія та картографія / Процик М. Т. – Львів, 2012. – 26 с.

10. Електронний ресурс – режим доступу: <https://www.scanex.ru/thematic/projects/differentsialnaya-radarnaya-interferometriya/>

11. Електронний ресурс – режим доступу: <https://postminquake.eu/insar-satellite-radar-interferometry/>

12. Електронний ресурс – режим доступу: <https://innoter.com/services/obrabotka-radarnykh-dannykh/obrabotka-dannykh-radiolokatsii/>

13. Електронний ресурс – режим доступу: <https://www.gim-international.com/content/article/satellite-radar-interferometry>

14. Harfenmeister, K.; Spengler, D.; Weltzien, C. Analyzing temporal and spatial characteristics of crop parameters using Sentinel-1 backscatter data. *Remote Sens.* 2019, 11, 1569.

15. Електронний ресурс – режим доступу: <http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20DEM%20generation%20with%20Sentinel-1%20IW%20Tutorial.pdf>

16. Електронний ресурс – режим доступу: <https://seadas.gsfc.nasa.gov/help-8.1.0/general/overview/SnapOverview.html>

17. Електронний ресурс – режим доступу: <https://asf.alaska.edu/how-to/data-recipes/how-to-radiometrically-terrain-correct-rtc-sentinel-1-data-using-s1tbx-script/>

## REFERENCES:

1. Azov V. (2003), *Rol y mesto hlobalnoi systemy operativnoho upravleniya v stratezhicheskoy rukovodstve SShA* / V. Azov // *Zarubezhnoye voennoye obozreniye*. № 5. – pp. 2–7.

2. Biliachenko V. V., Bobrov S. V., Zakalad M. A., Utiushev M. K. (2021), «Obgruntuvannya funktsionalnykh vymoh do prohramnoi komponenty systemy upravlinnia zhyttievym tsyklom avtomatyzovanykh system u Zbroinykh Sylakh Ukrainy» // *Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho* № 2(72), pp. 97 – 106.

3. Zatserkovnyi V. (2017), «Analiz pidkhodiv shchodo stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu/ V. Zatserkovnyi, N. Rul, L. Plichko, S. Kryvoberezhets» // *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii*. № 1. – pp. 87-97.

4. Andreev A.A. V. (2019), "Metodyka postroyeniya pretsyzyonnykh tsyfrovyykh modelei mestnosti na osnove dannykh sputnykovoi radarnoi ynterferometriyy s yspolzovanyem HYS" / Andreev A.A., Pestova Y. A., Svydeniuk M.O., Sukhanov K.Iu., Tytarenko O.V. // *Zbirnyk tez dopovidei IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (Kyiv 10 kvitnia 2019 roku). – Kyiv: Natsionalnyi universytet oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho, 89 p.

5. Zatserkovnyi V.I. (2017), "Heoinformatsiini systemy i bazy danykh: monohrafiia". – Kn.2. / V. I. Zatserkovnyi, V. H. Burachek, O. O. Zhelezniak, A. O. Tereshchenko. – Nizhyn : NDU im. M. Hoholia, 237 p.

6. Zatserkovnyi V.I. (2016), "Heoinformatsiini systemy v naukakh pro Zemliu": monohrafiia – V.I.Zatserkovnyi, I.V.Tishaiev, I.V. Virshylo, V.K. Demydov. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia, 510 p.

7. Chaskovskyi O.H. (2009), "Stvorennia tsyfrovyykh modelei reliefu na osnovi danykh aerofotoznimannia" /Elektronnyiresurs:[http://www.nbu.gov.ua/old\\_jrn/natural/iglpdp/35/35-3.pdf](http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/iglpdp/35/35-3.pdf).

8. Chto takoe SRTM? Данные SRTM, y hde ckachat SRTM [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://mapgroup.com.ua/articles/dzz/109-dannye-srtm-sposoby-polucheniya-dannykh>.
9. Protsyk M.T. (2012), "Metody fotogrammetrychnoho ta kartohrafichnoho suprovodu bahatorivnevoi systemy monitorynhu eroziinykh gruntovykh protsesiv": avtoreferat dys. kand. tekhn. nauk: 05.24.01 Heodeziia, fotogrammetriia ta kartohrafiia / Protsyk M. T. – Lviv, 26 p.
10. lektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://www.scanex.ru/thematic/projects/differentsialnaya-radarnaya-interferometriya/>
11. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://postminquake.eu/insar-satellite-radar-interferometry/>
12. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://innoter.com/services/obrabotka-radarnykh-dannykh/obrabotka-dannykh-radiolokatsii/>
13. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://www.gim-international.com/content/article/satellite-radar-interferometry>
14. Harfenmeister, K.; Spengler, D.; Weltzien, C. Analyzing temporal and spatial characteristics of crop parameters using Sentinel-1 backscatter data. Remote Sens. 2019, 11, 1569.
15. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20DEM%20generation%20with%20Sentinel-1%20IW%20Tutorial.pdf>
16. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://seadas.gsfc.nasa.gov/help-8.1.0/general/overview/SnapOverview.html>
17. Elektronnyi resurs – rezhym dostupu: <https://asf.alaska.edu/how-to/data-recipes/how-to-radiometrically-terrain-correct-rtc-sentinel-1-data-using-s1tbx-script/>

**Bialyi M.O., Ph.D. Savkov P.A.**

#### **APPLICATION OF RADAR INTERFEROMETRY FOR CONSRTUCTION OF DIGITAL RELIEF MODELS**

*Advanced experience in preparing and conducting military operations has shown that terrain is one of the most crucial elements in any map, as it determines the characteristics of the landscape of a specific area. Digital Elevation Models are used in updating digital topographic maps and plans of various scales, conducting various types of engineering surveys, and geological, biological, and geographical research.*

*This article examines existing models and methods for constructing digital elevation models for the purpose of their comparative analysis based on the integration of open, publicly available sources of information. The approaches to building digital elevation models are described, and the information support for their creation is considered. The possibility of using different data sources intended for creating digital elevation model is demonstrated: for land management tasks modeling, hydrological network modeling, analysis of radio tower coverage zones, construction task modeling, and modeling flood and inundation zones. By improving digital elevation model, it is possible to develop new approaches for their creation or integrate existing ones.*

*At the current stage of Ukraine's Armed Forces development, it is advisable to use radar interferometry as a relatively fast and accurate method for constructing digital elevation model. Interferometry is a technology for extracting elevation information from the phase of two images. Interferometric processing is carried out based on the use of radar data. The method assumes that the same area should be imaged with a displacement in space of the radar antenna receiver.*

*Thus, by applying radar interferometry, it is possible to rapidly develop new approaches for creating digital elevation model or combining multiple ones.*

**Keywords:** *digital elevation model, interpolation methods, geometric model, kriging, remote sensing system.*

## КРИТЕРІЙ ISO 21434 ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМНИХ СПЕЦИФІКАЦІЙ У ПРОЦЕСАХ A-SPICE ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ

*Зі зростанням присутності електроніки та автономних систем у сучасних автомобілях кібербезпека стала критично важливою проблемою. Виробники автомобілів та інші зацікавлені сторони активно шукають способи забезпечення надійного захисту від кібератак. Один з підходів полягає у використанні стандарту ISO 21434, який призначений для підвищення кібербезпеки в автомобільній промисловості. Ця наукова стаття досліджує стандарт ISO 21434 та його застосування в галузі автомобільного виробництва, зокрема у розробці програмного забезпечення в рамках стандарту A-SPICE. Публікація описує методи та концепції, які використовуються для покращення кібербезпеки в автомобільній промисловості, та встановлює роль стандарту ISO 21434 в моделі A-SPICE. Висновки дослідження є цінними для компаній та фахівців, які займаються розробкою та впровадженням заходів з кібербезпеки в автомобільному секторі. Впровадження стандарту ISO 21434 може зменшити ризик кібератак та покращити якість та надійність автомобілів, зробивши автомобільну промисловість безпечнішою та надійнішою для споживачів. Стаття надає огляд основних стандартів кібербезпеки в автомобільній промисловості. ISO 26262 визначає процеси та вимоги щодо функціональної безпеки в автомобільних системах, включаючи аспекти кібербезпеки. SAE J3061 акцентує увагу на управлінні кібербезпекою в електронних системах транспортних засобів і широко використовується в галузі. ISO/SAE 21434, введений у 2020 році, замінює попередній стандарт ISO 26262 та встановлює вимоги до кібербезпеки в автомобільній промисловості. Ці стандарти тісно пов'язані, оскільки спрямовані на забезпечення безпеки та захищеності автомобільних виробів.*

*У висновку, включення критеріїв ISO 21434 у процес розробки програмного забезпечення для автомобілів значно впливає на якість та безпеку продуктів. Дослідження показує, що застосування критеріїв ISO 21434 дозволяє здійснювати систематичний та структурований підхід до розробки програмного забезпечення, забезпечуючи надійність, безпеку та відповідність програмних продуктів регулятивним вимогам в автомобільній промисловості. Стаття надає аналіз стандартів, методів та підходів, що використовуються в автомобільній галузі, і висвітлює вплив ISO 21434 на фреймворк A-SPICE, визначаючи його положення в рамках моделі. В цілому, ця публікація сприяє розвитку знань у сфері кібербезпеки автомобілів.*

**Ключові слова:** Автомобільна промисловість, кібербезпека, структура A-SPICE, стандарт ISO 21434, специфікація системи.

**Вступ.** Кібербезпека стає актуальною в сучасних автомобілях, які містять все більше електроніки та автономних систем. У зв'язку з цим, виробники автомобілів та інші зацікавлені сторони шукають способи забезпечення надійного захисту від кібератак [1]. Один з таких способів - використання стандарту ISO 21434 [2], який спрямований на забезпечення кібербезпеки в автомобільній промисловості.

У цій статті проведено дослідження стандарту ISO 21434 та його застосування в галузі автомобільного виробництва, зокрема у виробництві програмного забезпечення за стандартом A-SPICE. Також у публікації описано методи та концепції, що використовуються для забезпечення кібербезпеки в автомобільній галузі, а також встановлено місце стандарту ISO 21434 в A-SPICE моделі.

Результати дослідження можуть бути корисними для компаній та фахівців, що займаються розробкою та впровадженням заходів кібербезпеки в автомобільній галузі. Застосування стандарту ISO 21434 дозволить зменшити ризик кібератак та підвищити якість та надійність автомобілів, що, у свою чергу, зробить автомобільну галузь більш безпечною та довіреною для споживачів [3, 4].

### **Огляд основних стандартів кібербезпеки автомобільної галузі**

Для забезпечення безпеки та надійності автомобільних продуктів, на ринку існує декілька важливих стандартів, що регулюють питання кібербезпеки. Деякі з найбільш важливих стандартів, які пов'язані з кібербезпекою у автомобільній сфері, описані нижче:

- ISO 26262: Цей стандарт описує процеси та вимоги до функціональної безпеки в автомобільній галузі. Він встановлює вимоги до безпеки електронних систем управління в автомобілях та включає в себе вимоги до кібербезпеки [4, 6].

- ISO 26262 став основоположником у визначенні вимог до безпеки електронних систем управління автомобілями [5, 6].

- SAE J3061: Цей стандарт створений для керування кібербезпекою в автомобільній галузі. Він включає в себе рекомендації з управління ризиками та забезпечення кібербезпеки в електронних системах автомобілів. Цей стандарт є широко використовуваним у галузі та є важливим для забезпечення кібербезпеки в автомобільних продуктах [7].

- ISO/SAE 21434: Новий стандарт ISO/SAE 21434, який був запроваджений у 2020 році, встановлює вимоги до кібербезпеки в автомобільній галузі та замінює старий стандарт ISO 26262 [7, 8].

Впровадження заходів з функціональної безпеки є важливим для мінімізації ризику виникнення аварій, спричинених відмовою систем у транспортних засобах. ISO 26262 та ISO 21434 тісно пов'язані, оскільки обидва стандарти мають на меті забезпечити безпеку та захищеність автомобільних продуктів [6].

Крім того, фреймворк Automotive SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) є застосовуваний для оцінки та покращення процесів розробки програмного забезпечення в автомобільній галузі. A-SPICE, конкретний варіант Automotive SPICE, забезпечує фреймворк для покращення процесів розробки програмного забезпечення в організаціях автомобільної галузі. ISO 21434 надає керівництво для діяльності, пов'язаної з кібербезпекою, в рамках фреймворку A-SPICE, підкреслюючи важливість систематичного та стандартизованого підходу до кібербезпеки.

### ***Застосування ISO 21434 для виявлення ризиків проектування та розробки систем автомобіля***

Для ефективної реалізації кібербезпеки у виробі автомобільної галузі, які розробляються відповідно до A-SPICE, важливо враховувати стандарт ISO 21434 та дотримуватись його вимог. Однак, просте дотримання стандарту може бути недостатньо для забезпечення високого рівня кібербезпеки у виробі [7].

Додаткові засоби, такі як методології ризик-аналізу та управління кібербезпекою, також можуть бути використані для забезпечення високої якості кібербезпеки у виробі. Результати ризик-аналізу можуть допомогти виявити слабкі місця в системі безпеки, що дозволить розробити ефективні заходи для їх усунення. Управління кібербезпекою дозволяє забезпечити відповідність вимогам стандарту на кожному етапі розробки виробу.

Стандарт ISO 21434 може бути застосований на різних етапах V-моделі розробки програмного забезпечення, зокрема, на етапах вимог, проектування та тестування.

Так, на етапі формування вимог, визначаються вимоги до кібербезпеки та врахувати їх у специфікації до системи чи програмного продукту.

На етапі проектування, виконується розробка архітектури з урахуванням вимог стандарту по кібербезпеці.

На етапі тестування, вирішується питання виконання вимог кібербезпеки та дослідити ефективність заходів з її забезпечення.

Застосування ISO 21434 показано на рис. 1 відповідно до списку, що наведений вище.

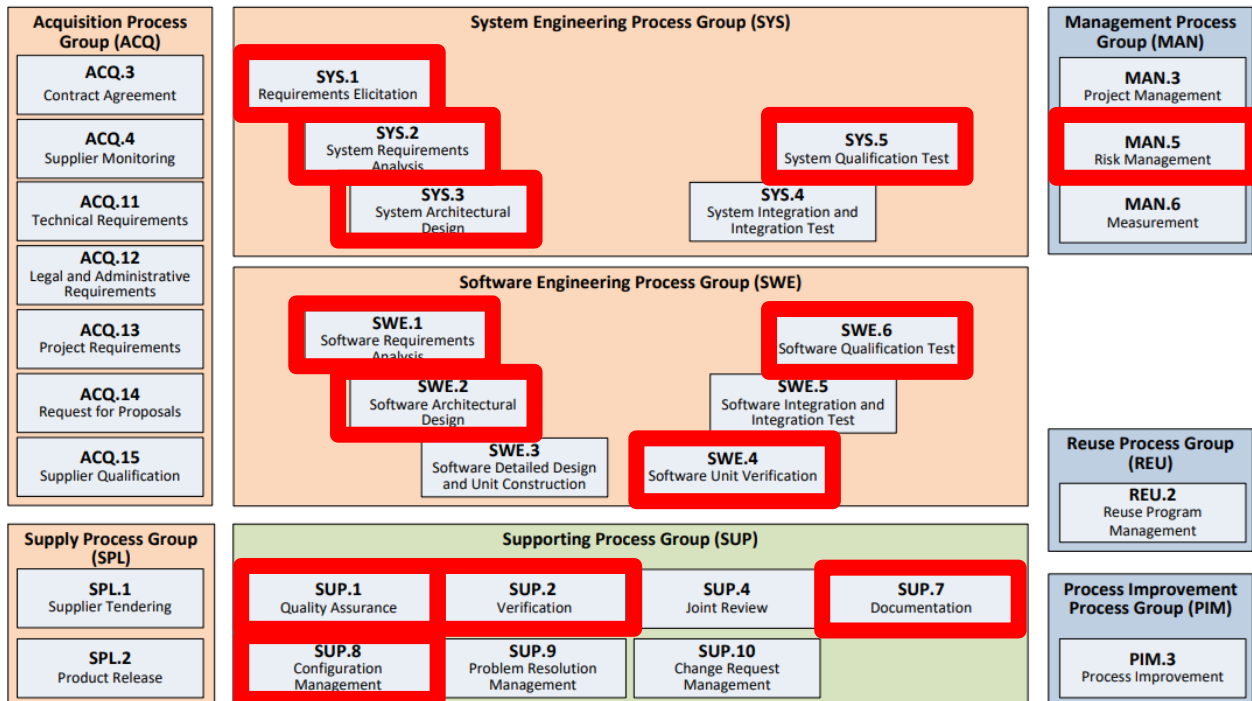


Рисунок 1 - Модифіковані процеси A-SPICE

для забезпечення відповідності до ISO 21434 (на базі Figure 2: Primary Life Cycle Processes, Organizational Life Cycle Processes, Supporting Life Cycle Processes (source: Automotive SPICE process reference model - Overview

З рис. 1 видно, що залучення ISO 21434 до A-SPICE реформує System Engineering Process Group, Software Engineering Process Group, Supporting Process Group, Management Process Group. Детальний опис реформування винесено з публікації.

#### **Методи аналізу загроз для кібербезпеки**

Очевидним є існування низки методів аналізу загроз та методів роботи з цими загрозами. Але, для роботи у автомобільній галузі можуть бути вилучені лише ті методи, що відповідають іншим ключовим вимогам, зокрема ISO 26262. До таких методів належать: Метод Ризик-аналізу, Методологія управління кібербезпекою, та Plan-Do-Check-Act" (PDCA).

#### **Метод Ризик-аналізу**

Ризик-аналіз є одним з ключових елементів управління кібербезпекою [9]. В основі цієї методології лежить процес визначення потенційних загроз безпеці та оцінки ризику, який пов'язаний з цими загрозами [9, 10].

Основні кроки методології ризик-аналізу включають визначення системи, яку необхідно захистити, виявлення потенційних загроз, визначення вразливостей системи, які можуть бути використані зловмисниками для здійснення атак, та оцінку можливого впливу таких атак на систему та її користувачів [11].

Для виявлення потенційних загроз можуть використовуватись різноманітні методи, включаючи аналіз документів, спостереження та тестування системи. Далі, визначені загрози

та вразливості системи оцінюються за допомогою різних метрик, таких як ймовірність виникнення загрози та її потенційний вплив.

Після визначення потенційних ризиків, необхідно визначити заходи, які можуть бути прийняті для зменшення цих ризиків. Ці заходи можуть включати в себе розробку технічних засобів захисту, впровадження політик безпеки, проведення навчання та підвищення свідомості користувачів, а також встановлення механізмів моніторингу та виявлення вторгнень [12]. Важливою частиною методології ризик-аналізу є постійне оновлення та перегляд заходів безпеки з метою забезпечення ефективного захисту системи [13].

#### ***Методологія управління кібербезпекою***

Методологія управління кібербезпекою передбачає комплекс заходів, які забезпечують збір, обробку та аналіз інформації щодо потенційних загроз безпеці інформації та діяльності підприємства в цілому. Передбачається, що ці заходи будуть відповідати вимогам міжнародних стандартів, зокрема, ISO/IEC 27001:2013 [14].

Перший етап управління кібербезпекою полягає у визначенні цілей та завдань, які необхідно досягти для забезпечення безпеки інформації. Для цього використовуються методології SWOT-аналізу, який дозволяє визначити сильні та слабкі сторони підприємства, а також можливості та загрози [14, 15].

Другий етап передбачає визначення кібер безпекових ризиків, які можуть вплинути на безпеку інформації та діяльність підприємства в цілому. Для цього використовуються різноманітні методи ризик-аналізу, такі як аналіз відкритих джерел, оцінка ймовірності та впливу загроз, дослідження сценаріїв загроз та їх взаємозв'язків тощо [15].

Третій етап передбачає визначення стратегій та заходів щодо запобігання кібербезпеці. Для цього використовуються методи стратегічного планування, які дозволяють визначити найбільш ефективні способи захисту інформації та діяльності підприємства від кібератак та інших загроз [16].

Четвертий етап передбачає визначення системи контролю за застосуванням заходів з кібербезпеки та регулярний аудит системи [16].

#### ***Інші методи специфічні для автомобільної сфери***

Для забезпечення ефективного управління кібербезпекою в автомобільній індустрії, використовуються різні методології, що допомагають організаціям забезпечити безпеку своїх продуктів та процесів.

Однією з таких методологій є "Plan-Do-Check-Act" (PDCA) [15, 16], яка є базовою моделлю управління якістю. Застосування цієї методології для управління кібербезпекою передбачає такі етапи:

**Plan** (планування): на цьому етапі здійснюється оцінка ризиків та визначаються заходи для запобігання та/або зменшення впливу можливих кібератак на систему. Основними завданнями на цьому етапі є: визначення обсягу та видів даних, що будуть захищатися; визначення вразливостей системи та визначення методів захисту; визначення потенційних загроз, які можуть виникнути в майбутньому;

**Do** (виконання): на цьому етапі здійснюється впровадження заходів, які були визначені на попередньому етапі;

**Check** (контроль): на цьому етапі здійснюється оцінка ефективності вжитих заходів та виявлення потенційних проблем;

**Act** (вдосконалення): на цьому етапі здійснюються відповідні корективи, з метою поліпшення ефективності системи кібербезпеки та запобігання виникненню нових проблем.

Іншою методологією управління кібербезпекою є "Cybersecurity Framework" (CSF), розроблена Національним інститутом стандартів і технологій США (NIST). CSF є фреймворком, який надає рекомендації щодо управління кібербезпекою. Цей фреймворк

складається з трьох основних елементів: цілей кібербезпеки, керівництва та описів рекомендованих практик.

Цілі кібербезпеки - це загальні цілі, які організації повинні визначити для досягнення оптимальної кібербезпеки. Ці цілі можуть включати забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності даних, захист від кібератак та інші аспекти кібербезпеки.

Керівництво складається з вказівок та рекомендацій для організацій з питань управління кібербезпекою, таких як управління ризиками та інцидентами.

Описи рекомендованих практик - це набір практичних кроків, які організації можуть вживати для забезпечення кібербезпеки. Ці практики включаються у п'ять категорій: ідентифікація, захист, виявлення, відповідь та відновлення.

CSF може бути корисним інструментом для оцінки кібербезпеки виробів, що розробляються в автомобільній галузі згідно з ISO 21434 та відповідними стандартами A-SPICE. Використання цього фреймворку може допомогти визначити кібербезпеки цілі та розробити практичні кроки для їх досягнення, що забезпечує безпеку автомобільних виробів та захист від кіберзагроз [13].

### ***Реорганізація системних специфікацій, вимог та імплементації з урахуванням ISO 21434***

Для досягнення відповідності системних специфікацій, вимог та імплементації згідно з A-SPICE до вимог ISO 21434 необхідно враховувати вплив цього стандарту на три основні складові процесу розробки автомобільних систем:

вимоги та специфікації,

архітектуру,

розробка та тестування.

Зазначений вище список реорганізації представлений на V-моделі як показано на рис. 2 по порядку спадання.

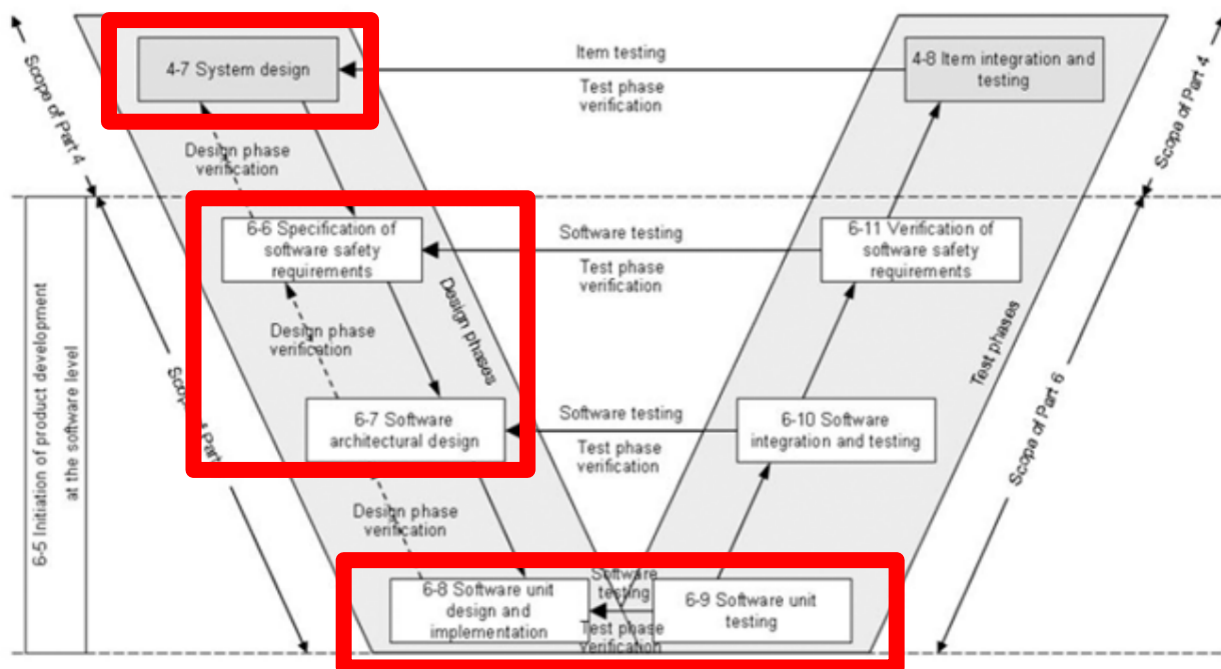


Рисунок 2 - Структурна реорганізація вимог, специфікацій, архітектури та імплементації автомобільного виробу для відповідності ISO 21434

### ***Рекомендації до формування вимог та специфікацій з врахування ISO 21434***

- Використання контексту системи та її інтерфейсів. Необхідно, аби команда проекту визначила контекст системи та всі зовнішні системи та структури, з якими вона має взаємодіяти. Це допоможе зрозуміти всі потенційні загрози та ризики, пов'язані з безпекою та іншими факторами, що впливають на систему.

- Використання структурованих методик розробки. Необхідно використовувати структуровані методики розробки систем для забезпечення якості та безпеки. Рекомендується використовувати процес розробки, який відповідає вимогам ISO 21434.

- Використання методології відслідковування вимог. необхідно використовувати методологію відслідковування вимог, щоб переконатися, що всі вимоги, що встановлені в специфікації, пов'язані з вимогами ISO 21434.

- Визначення стандартів безпеки. Необхідно визначити стандарти безпеки, які необхідні для розроблюваної системи. Необхідно, аби команди проекту дотримуватися цих стандартів та включати їх у системні специфікації.

- Використання інструментів верифікації. Необхідно використовувати інструменти верифікації, щоб переконатися, що всі вимоги специфікації були виконані. Відповідні інструменти мають бути сертифіковані згідно з ISO 21434.

#### ***Рекомендації до зміни у архітектурі програмного забезпечення з урахуванням ISO 21434***

- Визначення основних вимог до архітектури системи згідно з вимогами ISO 21434.

- Використання структурованих методики проектування архітектури, такі як моделювання системи, щоб забезпечити високу якість архітектури та підвищити її пере використання.

- Дотримання принципів безпеки при проектуванні архітектури, зокрема, при взаємодії компонентів системи та інтерфейсів між ними.

- Використання стандартизованих інтерфейсів та протоколів обміну даними між компонентами системи.

- Забезпечення можливості відстеження вимог до архітектури та її змін.

Проведення верифікації та валідації архітектури для підтвердження відповідності вимогам та відповідності стандартам безпеки.

#### ***Рекомендації до розробки та тестування програмного забезпечення з урахуванням ISO 21434***

- Визначення вимоги до безпеки та критичності для програмного забезпечення згідно з вимогами ISO 21434.

- Використання структурованої методики проектування програмного забезпечення, такі як моделювання поведінки, щоб забезпечити високу якість коду та підвищити його перевикористовування.

- Дотримання принципів безпеки при розробці програмного забезпечення, зокрема, при взаємодії функцій та інтерфейсів між ними.

- Використання стандартизованих інтерфейси та протоколи обміну даними між компонентами програмного забезпечення.

- Забезпечення можливість відстеження вимог до програмного забезпечення та її змін.

- Врахування вимог до безпеки при виборі технологій та платформ для розробки та тестування програмного забезпечення.

- Забезпечення можливість валідації та верифікації програмного забезпечення для підтвердження відповідності вимогам безпеки та стандартам.

- Використання автоматизованих засобів тестування, такі як тести безпеки, тести навантаження та тести на відмову, для забезпечення якості програмного забезпечення.

- Забезпечення високої якості коду шляхом використання методів тестування, аудиту коду та іншими методами контролю якості.

- Забезпечення постійного моніторингу та оновлення програмного забезпечення, зокрема, щодо виявлення та усунення вразливостей та помилок.

**Висновки.** У заключенні можна зазначити, що включення критеріїв ISO 21434 до процесу розробки відповідних програмних засобів для автомобільної галузі значно впливає на якість та безпеку виробів. Дослідження показало, що застосування критеріїв ISO 21434 дозволяє більш системно та структуровано підходити до розробки програмного забезпечення. Це забезпечує надійність та безпеку програмних продуктів, а також відповідність регулятивним вимогам автомобільної галузі. У ході статті показаний аналіз стандартів, методів та підходів які використовуються в автомобільній промисловості. Також у статті визначено вплив стандарту ISO 21434 на фреймворк A-SPICE, визначаючи його позицію в моделі. В остаточному підсумку, публікація сприяє розвитку знань в галузі кібербезпеки автомобільної промисловості.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES)

1. ISO 21434 Road vehicles - cybersecurity engineering : of 2021.08. URL: <https://www.iso.org/standard/70918.html>.

2. Synopsys, Inc. What is ASIL (Automotive Safety Integrity Level)? – Overview | Synopsys Automotive. Synopsys | EDA Tools, Semiconductor IP and Application Security Solutions. URL: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-asil.html>.

3. Draft regulatory provisions on Cyber Security and Cyber Security Management System for Vehicles : of 11.03.2021. URL: <https://unece.org/transport/events/wp29-world-forum-harmonization-vehicle-regulations-183rd-session>.

4. Humennyi D., Starovierov K. Preparation of the acceptance criteria for functional safety software. Verification and Qualification of the product according to ISO 26262. *Abstracts of reports of participants of the first international scientific and practical conference " Law and Public Administration-the latest development trends "* : Scientific publication, Kyiv, 30–31 March 2022. Kyiv, 2022. P. 35–36.

5. A systematic review of security and privacy in connected vehicles / A. M. Abad et al. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 21, no. 1. P. 607–631.

6. Humennyi D., Veselska O. Matlab Simulink model testing based on ISO 26262-6. *Abstracts of reports of participants of the first international scientific and practical conference " the latest technological trends in the intellectual industry and the internet of things "* : Scientific publication, Kyiv, 19–20 January 2022. Kyiv, 2022. P. 32–34.

7. Böhme R., Härder T., Köpsell S. Requirements and challenges for a trustworthy vehicle-to-everything communication. In Trustworthy Manufacturing and Utilization of Secure Devices. P. 165–183.

8. Robert Bosch GmbH. Software updates and cybersecurity. Bosch Mobility. URL: <https://www.bosch-mobility.com/en/mobility-topics/software-updates-and-cybersecurity/>.

9. Cyber Situational Awareness / ed. by S. Jajodia et al. Boston, MA : Springer US, 2010. 252 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0140-8>.

10. Kouns J., Pachecco F. Introduction to Risk Analysis in Cybersecurity.

11. Stoneburner G., Goguen A., Feringa A. Risk Management Guide for Information Technology Systems. Washington : Nist special publication, 800(30), 2002. 65 p. URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-30r1>.

12. Peltier T. R., Peltier J., Blackley J. Information Security Fundamentals. New York : Taylor & Francis Group, 2004. 262 p. URL: <https://doi.org/10.1201/9780203488652>.

13. The Art of Service - Cyber Security Risk Management Publishing. Cyber Security Risk Management A Complete Guide. The Art of Service - Cyber Security Risk Management Publishing, 2020. 318 p.

14. Alharbi M. S., Bourini A. G., Shouman M. M. A Survey on Cyber Security Risk Assessment Frameworks. *2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. 2018. P. 1–6.

15. Teng J. H., Chung J. Y. Developing a Strategic Information Security Management Plan Using the ISO 27001 Standard. *Journal of Management and Sustainability*. 2015. Vol. 5, no. 3. P. 120–132.

16. van den Berg P. A., Dhillon G. S. Towards an integrated framework for cyber risk assessment. *Computers & Security*. 2018. No. 78. P. 230–243.

:

Ph.D. Humennyi D.O., Kuzin O.M., D.Sci.Tech., prof. Khlaponin Y.I.,

#### USING THE ISO 21434 CRITERIA FOR GENERATING SYSTEM SPECIFICATIONS IN A-SPICE PROCESSES FOR CARS

*With the increasing presence of electronics and autonomous systems in modern automobiles, cybersecurity has become a critical concern. Automotive manufacturers and other stakeholders are actively seeking ways to ensure reliable protection against cyber attacks. One approach involves the utilization of ISO 21434, a standard designed to enhance cybersecurity in the automotive industry. This research article investigates the ISO 21434 standard and its application in the field of automotive production, specifically in software development under the A-SPICE standard. The publication describes the methods and concepts used to enhance cybersecurity in the automotive industry and establishes the role of ISO 21434 within the A-SPICE model. The study's findings are valuable for companies and professionals involved in the development and implementation of cybersecurity measures in the automotive sector. Implementing the ISO 21434 standard can mitigate the risk of cyber attacks and improve the quality and reliability of automobiles, thus making the automotive industry safer and more trustworthy for consumers. The article provides an overview of key cybersecurity standards in the automotive industry. ISO 26262 sets out processes and requirements for functional safety in automotive systems, including cybersecurity considerations. SAE J3061 focuses on cybersecurity management in electronic systems of vehicles and is widely used in the industry. ISO/SAE 21434, introduced in 2020, replaces the previous ISO 26262 standard and specifies cybersecurity requirements in the automotive industry. These standards are closely related as they aim to ensure the safety and security of automotive products. Furthermore, the Automotive SPICE (Software Process Improvement and Capability Determination) framework is widely employed for evaluating and enhancing software development processes in the automotive sector. A-SPICE, a specific variant of Automotive SPICE, provides a framework for improving software development processes in automotive organizations. ISO 21434 guides cybersecurity activities within the A-SPICE framework, emphasizing the importance of a systematic and standardized approach to cybersecurity.*

*To effectively implement cybersecurity in automotive products developed under A-SPICE, compliance with the ISO 21434 standard is crucial. However, mere adherence to the standard may be insufficient for achieving a high level of cybersecurity. Additional tools such as risk analysis methodologies and cybersecurity management can be employed to ensure robust cybersecurity measures. Risk analysis results can help identify vulnerabilities in the security system, enabling the development of effective mitigation measures. Cybersecurity management ensures compliance with the standard throughout the product development lifecycle. ISO 21434 can be applied at various stages of the V-model software development process, including requirements definition, design, and testing. During requirements definition, cybersecurity requirements are identified and incorporated into the system or software specifications. In the design phase, architectures are developed considering the cybersecurity requirements outlined in the standard. The testing phase addresses the fulfillment of cybersecurity requirements and evaluates the effectiveness of cybersecurity measures. In conclusion, the inclusion of ISO 21434 criteria in the development process of automotive software significantly impacts the quality and safety of products. The research demonstrates that applying ISO 21434 criteria allows for a systematic and structured approach to software development, ensuring the reliability, safety, and compliance of software products with regulatory*

*requirements in the automotive industry. The article presents an analysis of standards, methods, and approaches used in the automotive industry and highlights the influence of ISO 21434 on the A-SPICE framework, defining its position within the model. Ultimately, this publication contributes to the advancement of knowledge in automotive cybersecurity.*

*Keywords: Automotive, Cybersecurity, A-SPICE framework, ISO 21434 standard, System specification*

## НЕГАТИВНІ ВПЛИВИ ДИНАМІЧНОГО ОТОЧЕННЯ НА ПРОГРАМИ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ВІЙСЬКОВОЇ ОСВІТИ

*Досліджені негативні впливи динамічного оточення на програми цифровізації військової освіти. Виділені особливості та розглянуто впливи динамічного оточення на характеристики проєктів та програм цифровізації. Охарактеризовані результати таких впливів. Сформульовано понятійний простір для формального управління впливами на програми цифровізації військової освіти. Розглянуто впливи динамічного оточення на характеристики програм цифровізації. Представлені результати таких впливів. Розглянуто математичну модель оточення впливів, цільову функцію, обмеження та вирішальне правило для визначення управлінських дій по протидії впливам, що призводять до негативних наслідків в програмах цифровізації. Запропоновано використати математичний апарат теорії несилової взаємодії в якості науково-методичного базису для знаходження оптимального рішення по мінімізації витрат на ліквідацію наслідків негативних впливів.*

*Структура, перелік, підпорядкованість та розподіл зобов'язань в процесі реалізації програм програми цифровізації військової освіти залежать від характерних для динамічного оточення джерел впливів, що призводять до відхилень, і визначають можливість реалізації проєктів цих програм. Оскільки кількість таких джерел у програмах цифровізації значна, необхідно реалізувати системний підхід до побудови систем управління програмами цифровізації військової освіти, який буде ефективним в умовах України. А для цього необхідна розробка методів і способів управління організаційної, функціональної структурою ВНЗ, а також технологіями підготовки, планування, бюджетування, які є в основі побудови систем управління в умовах численних впливів, які виникають в ході реалізації програм цифровізації. Вирішенню цієї наукової задачі і присвячена дана стаття. Тому метою роботи є дослідження впливів динамічного оточення на програми цифровізації вищих навчальних закладів та цифровізації військової освіти, та побудова математичної моделі таких впливів, яка може лягти в основу методології управління впливами на проєкти і програми.*

*Ключові слова: впливи, проєкт, програма, інформатизація, негативні впливи, динамічне оточення, управління проєктами, інформаційне середовище, управління впливами.*

**Вступ та постановка завдання.** Останнім часом значна увага в управлінні проєктами присвячена створенню специфічних методів і моделей управління ризиками, змінами, конфліктами і т.п. Виникнення цих «хвороб» пов'язане із значною кількістю різноманітних впливів на проєкти і програми. Тому, для ефективного управління проєктами і програмами треба навчитися управляти різноманітними впливами динамічного оточення. Для цього необхідно не тільки удосконалювати відповідні методи, але й формувати впливи на команду проєкту таким чином, щоб вона приймала найкращі рішення. Особливо це актуально для сфери цифровізації. Оскільки тенденції розвитку суспільства свідчать про підвищення ролі інформації, а відповідно, і до збільшення частки проєктів цифровізації у світі.

Інформатизація освіти є однією з найважливіших складових державної програми розбудови інформаційного суспільства на основі впровадження сучасних новітніх інформаційних технологій [1]. Процес цифровізації освіти пов'язується із широким впровадженням в систему освіти методів і засобів інформаційно-комунікаційних технологій, створенням на цій основі комп'ютерно орієнтованого інформаційно-комунікаційного середовища, з наповненням цього середовища електронними науковими, освітніми та управлінськими інформаційними ресурсами, з наданням можливостей суб'єктам освітнього процесу здійснювати доступ до ресурсів середовища, використовувати його засоби і сервіси

при розв'язуванні різних завдань [2]. Але в недостатній мірі досліджуються питання професійного управління проектами і програмами цифровізації взагалі, і питанням управління впливами на ці проекти і програми зокрема. На сьогодні, коли інформаційне суспільство розвивається достатньо стрімко, є потреба в розробці систем протидії різноманітним негативним впливам на програми цифровізації військової освіти.

Структура, перелік, підпорядкованість та розподіл зобов'язань в процесі реалізації програм цифровізації військової освіти залежать від характерних для динамічного оточення джерел впливів, що призводять до відхилень, і визначають можливість реалізації проектів цих програм [2]. Оскільки кількість таких джерел у програмах цифровізації значна, необхідно реалізувати системний підхід до побудови систем управління програмами цифровізації військової освіти, який буде ефективним в умовах України. А для цього необхідна розробка методів і способів управління організаційної, функціональної структурою військової освіти, а також технологіями підготовки, планування, бюджетування, які є в основі побудови систем управління в умовах численних впливів, які виникають в ході реалізації проектів цифровізації. Вирішенню цієї наукової задачі і присвячена дана стаття. Тому метою роботи є дослідження впливів динамічного оточення на програми цифровізації військової освіти та побудова математичної моделі таких впливів, яка може лягти в основу методології управління впливами на проекти і програми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні процес цифровізації здійснюється згідно з Національною програмою цифровізації, яка визначає стратегію розв'язання проблеми забезпечення інформаційних потреб та інформаційної підтримки соціально-економічної, екологічної, науково-технічної, оборонної, національно-культурної та іншої діяльності у сферах загальнодержавного значення [3]. Прийнята велика кількість законодавчих та нормативно-правових актів. Але більшість з цих актів є недосконалими, бо вони не регулюють усіх процесів, які виникають у сфері інформаційної діяльності.

Проектам цифровізації присвячена значна кількість наукових праць. Приділяється значна увага створенню систем управління проектами в програмах цифровізації [4]. Методам планування програм цифровізації [5]. Управлінню ризиками та інші [6]. Розроблено наукові інструментарії управління проектами в умовах невизначеності, в динамічному оточенні, які потрібно застосувати і в програмах цифровізації [7,8].

Але практично відсутні праці по аналізу впливу динамічного оточення на програми цифровізації. Наукові ідеї, методи, моделі та засоби управління впливами в проектах можна використовувати в програмах цифровізації військової освіти після їх аналізу та оцінки з врахуванням особливостей проектів, що реалізуються в програмах цифровізації [9].

**Понятійний простір управління програмами цифровізації військової освіти.** На відміну від управління ризиками, впливи характеризуються не тільки випадковими подіями (ризиками), а можуть бути постійні (це означає, що їх імовірність дорівнює 1). Хоча можуть бути впливи, пов'язані з ризиковими подіями. В цьому випадку методи управління впливами можуть бути зведені до методів управління ризиками. Але в цілому для управління впливами необхідна розробка спеціальних методів, для реалізації яких необхідно спочатку отримати інформацію про впливи, та оцінити її. Розглянемо це питання.

Коли йде мова про проекти цифровізації військової освіти, то на сучасному етапі розвитку науки і техніки їх потрібно розуміти, як проекти, які пов'язані з створенням кінцевих інформаційних можливостей (послуг), які максимально відповідають потребам військової освіти. Виходячи з цього доцільно дати основні визначення, пов'язані з управлінням впливами в програмах цифровізації військової освіти.

**Визначення 1.** Під проектом цифровізації військової освіти будемо розуміти обмежену в термінах виконання сукупність обов'язків, дій і завдань направлених на створення кінцевих інформаційних можливостей (послуг), які максимально відповідають потребам військової освіти.

**Визначення 2.** Під конфігурацією проекту цифровізації будемо розуміти описаний в технічному завданні продукт проекту та процес його отримання.

**Визначення 3.** Продукт проєкту цифровізації представляє собою сукупність кінцевих інформаційних можливостей (послуг), які максимально відповідають потребам військової освіти.

Під продуктом проєкту цифровізації будемо розуміти: програми, технічні засоби, ремонт та монтаж комп'ютерної мережі в гуртожитках університету, дистанційне навчання в університеті, інформаційний базис автоматизованого контролю за якістю підготовки фахівців в військової освіти, підвищення ефективності і якості підготовки методичних матеріалів, через автоматизацію відповідних процедур, створення інформаційного базису розвитку наукових досліджень в університеті, проходження курсів та ін.

**Визначення 4.** Під середовищем проєкту цифровізації будемо розуміти сукупність політичних, економічних, інформаційних, законодавчих законів, правил і положень, що визначають характер дій учасників реалізації проєкту при створенні програмно-інформаційних засобів.

**Визначення 5.** Під динамічним оточенням проєкту цифровізації (навколишнім середовищем проєкту цифровізації) будемо розуміти сукупність об'єктів зовнішнього середовища, які значною мірою впливають на середовище проєкту, і в незначній мірі залежать від середовищем проєкту.

**Визначення 6.** Під програмою цифровізації військової освіти слід розуміти ряд взаємопов'язаних проєктів цифровізації, які реалізують комплекс заходів по більш ширшому застосуванню інформації (знань) у всіх сферах діяльності військової освіти.

По суті програма цифровізації спрямована на реалізацію єдиного цілісного завдання по поліпшенню рівня комп'ютерного, програмного, методичного, інформаційного забезпечення всіх сфер діяльності військової освіти та пріоритетних напрямів його розвитку за рахунок отримання необхідного фінансування та раціонального використання фінансових, матеріально-технічних та інших ресурсів, виробничого і науково-технічного потенціалу університету, а також шляхом ефективної координації діяльності його структурних підрозділів.

Для того, щоб ефективно управляти програмою цифровізації необхідно навчитись протидіяти негативним впливам на цю програму. Розглянемо це питання.

**Аналіз негативних впливів на програми цифровізації військової освіти.** Реалізація програми цифровізації завжди відбувається в динамічному оточенні. А динамічне оточення завжди «генерує» безліч впливів, які сприяють або заважають її реалізації. Проаналізувавши всі аспекти реалізації програм цифровізації в динамічному оточенні автором класифіковано різноманітні впливи на такі програми. Пропонується їх об'єднати в три класи:

- негативні впливи – впливи, що призведуть до погіршення якості виконання проєктів цифровізації військової освіти. Вони вимагають додаткових витрат ресурсів і часу або призводять до зниження якісних чи кількісних характеристик кінцевого результату;

- позитивні впливи – це впливи, що дають можливість поліпшити якість реалізації проєктів цифровізації та досягти цілей в більш короткий терміни з меншими витратами ресурсів та/або часу;

- непередбачені обставини – це впливи, які неможливо було, або не змогли, передбачити на стадії ідентифікації негативних впливів.

Для управління програмою цифровізації найбільш важливим є клас негативних впливів. Оскільки їх передбачення, планування дії, пов'язаних із протидією цим впливам дозволяє знизити витрати в проєктах. Звичайно, в методології управління проєктами розроблено безліч методів управління ризиками, змінами, конфліктами тощо, які також направлені на зменшення втрат від впливів. Але основна ідея даної роботи полягає в тому, що ефективне управління і ризиками, і змінами, і конфліктами можливе лише тоді, коли здійснюється ефективне управління тими впливами на проєкт, які і призводять до виникнення ризикових подій, змін і конфліктів. Необхідно запобігати негативному розвитку проєкту не тільки через ліквідацію наслідків негативних впливів, а в першу чергу через профілактику цих негативних впливів.

**Визначення 7.** Негативні впливи на програму цифровізації – це **загрози** різного роду витрат: часу, коштів, якості, організації, цінності та інші.

Негативні впливи – це загрози втрати частини своїх ресурсів, недоодержання доходів або затрати додаткових витрат у результаті здійснення програми цифровізації.

Негативні впливи на програму цифровізації можуть призвести до:

- зриву термінів реалізації проєктів;
- перевитрати ресурсів на реалізацію етапів проєктів;
- зниження якості результату визначених цілей;
- загального провалу в досягненні цілей проєктів.

Негативні впливи слід сприймати як потенційну проблему, для якої повинен бути заздалегідь продуманий план дій і визначені розміри ресурсів для цих дій.

**Визначення 8.** Проектні негативні впливи – це усвідомлена і зафіксована можливість виникнення збитку і витрат в окремому проєкті.

Також негативні впливи слід розуміти, як невизначену подію або умову, яка в разі виникнення має вплив, щонайменше, на одну з цілей проєкту та/або на його ресурси. Тому негативні впливи – потенційна, чисельно вимірна можливість несприятливих ситуацій і пов'язаних з ними наслідків у вигляді витрат, збитків у зв'язку з невизначеністю.

Враховуючи всю специфіку програм цифровізації, потрібно зазначити, що негативні впливи на такі програми – це не втрати, яких можна зазнати під час реалізації проєктів, а це ті небезпечні чинники, які можуть в подальшому призвести в більшій чи меншій мірі до відхилення від мети, заради якої приймалися рішення по ініціації проєктів програми цифровізації. Для того, щоб мінімізувати такі впливи, потрібно провести попередній їх аналіз.

Аналіз негативних впливів – це спосіб, що дає змогу визначити, який ступінь загрози існує при прийнятті чи відхиленні від конкретного проєкту цифровізації. Для цього необхідні процедури виявлення факторів негативного впливу і оцінки їх значимості. В рамках яких буде проводитись аналіз ймовірності того, що відбудуться певні небажані події, або існують постійні чинники, які негативно вплинуть на досягнення цілей проєктів цифровізації військової освіти. Крім того аналіз включає підбір методів зниження або зменшення впливів (реалізації антивпливів), чи підбір методів ліквідації несприятливих наслідків впливів. Сама ж оцінка величини впливу полягає у визначенні кількісної або якісної міри величини (ступеня) негативного впливу на програму цифровізації військової освіти.

Метою аналізу негативних впливів є:

- оцінка негативних впливів на проєкти цифровізації військової освіти;
- встановлення можливих шляхів зниження негативних впливів;
- визначення доцільності реалізації проєктів цифровізації військової освіти за наявного рівня негативних впливів.

В цілому управління негативними впливами включає такі основні процедури:

- ідентифікації (виявлення) негативних впливів;
- оцінки негативних впливів;
- вибору методу та інструментів повної чи часткової ліквідації впливу;
- вибору методу та інструментів повної чи часткової ліквідації наслідків впливу (змін в проєкті, викликаних впливом);
- контролю та оцінці результатів управління впливами в програмі цифровізації військової освіти.

Розглядаючи негативні впливи з точки зору його їх оцінки, необхідно вирішити такі завдання:

- описати як можна більше можливих варіантів розвитку подій у майбутньому, в тому числі і як наслідок існування чи ліквідації негативних впливів на програму цифровізації;
- визначити можливості реалізації і витрати на ці варіанти розвитку програми цифровізації.

Аналіз негативних впливів доцільно проводити по схемі:

1. Якісний аналіз має на меті визначити (ідентифікувати) негативні впливи на програму цифровізації.

Підсумкові результати якісного аналізу негативних впливів, в свою чергу, служать вихідною інформацією для проведення кількісного аналізу.

2. Кількісний аналіз негативних впливів, який повинен дати чисельні значення для окремих негативних впливів.

Але здійснення кількісної оцінки зустрічає і найбільші труднощі, пов'язані з тим, що для кількісної оцінки негативних впливів потрібна відповідна вихідна інформація. Яку отримати зазвичай складно, або навіть неможливо [10]. Тому процес прийняття рішень стосовно управління впливами на програму цифровізації відбувається, як правило, в умовах наявності тієї чи іншої міри невизначеності. Під невизначеністю розуміється неповнота або неточність інформації про умови виконання проєктів цифровізації військової освіти. Саме для цього, а також для того, щоб масштабна сукупність проєктів цифровізації досягала успіху необхідно створити методологічні основи управління впливами на програми цифровізації військової освіти. І наведені поняття і визначення є першим кроком в цьому напрямку.

**Основні результати дослідження.** Ефективне управління програмами цифровізації неможливо без передбачення та вирахування різних ситуацій, які можуть виникнути в ході її реалізації [7]. Відповідно, в свою чергу, різні ситуації в програмах цифровізації є наслідком багатьох різних впливів на таку програму. Для того, щоб побудувати математичну модель впливів необхідно спочатку класифікувати основні впливи на програму цифровізації. У кожному впливі, як правило, завжди присутнє певне джерело. Джерело може бути об'єктивне, об'єктивізоване і суб'єктивне. Об'єктивне джерело є пов'язаним з фізичними проявами. Об'єктивізоване –накази, описи, розпорядження, рекомендації, законодавчі акти і т.д. Це вплив, джерелом якого є деякий документ.

Окрім зазначено вище, безпосереднє джерело може знаходитись всередині програми цифровізації. В такому разі, воно буде називатися внутрішнім джерелом впливу. А якщо, воно знаходиться поза програмою цифровізації, його командою, учасниками, тоді воно називатиметься зовнішнім джерелом впливу. Тобто, впливи будуть або внутрішніми, або зовнішніми. Якщо зосередитись на динамічну складову впливів, то можна виділити:

- постійні впливи, викликані соціально-економічною ситуацією в країні та умовами функціонування проєкту чи програми в цілому;
- випадкові впливи, викликані непередбачуваними ситуаціями в процесі реалізації проєктів або програм (наприклад, зміна керівництва);
- впливи, які викликані особливостями проєктів та програм, що відображають специфіку самої предметної області, технологічних процесів формування і функціонування продуктів проєктів тощо.

Впливи, які мають постійний характер, мають актуальність для будь-яких проєктів чи програм. І саме управління даними впливами досить не просте, так як вони в більшості випадків є зовнішніми. Випадкові впливи попередити та виявити досить важко. Адже, нікому ж заздалегідь не відомо, які дії можуть виникнути по ходу реалізації проєктів чи програм, і на які компоненти буде здійснено вплив. Не легко, і дуже не просто передбачити поведінку менеджерів у процесі нарад, консультацій, взаємодій, прийнятті рішень. Більш стабільними, передбачуваними, та такими, які піддаються ідентифікації та управлінню є впливи, пов'язані з особливостями проєктів та програм. Вони абсолютно є індивідуальними і відображають повну специфіку конкретної предметної області.

Майже всі відхилення, які виникають в програмах цифровізації найчастіше є результатами негативних впливів особливостей цих програм, які і формують їх динамічне оточення. Проте, відхилення не є результатами прямого впливу на програму цифровізації. Частіше всього, вплив на програму цифровізації приводить до появи нової інформації, яка виникає по ходу її виконання і може зовсім не відповідати початковій інформації, що в подальшому, призводить до зовсім інакших управлінських дій в проєктах. Враховуючи це, оцінку впливу динамічного оточення на проєкти та програми цифровізації можна

виконувати на основі визначення міри змін в інформаційному середовищі такої програми. Отже, можна виділити універсальну сутність, через яку можна вимірювати будь які впливи на програму цифровізації – інформацію. Оскільки, інформаційне середовище визначає відношення учасників проєктів до їх розвитку, до управлінських рішень в проєктах та програмах цифровізації, то можна застосувати математичний апарат теорії несилової взаємодії для такого вимірювання [8].

Всі впливи на програму цифровізації впливають на прийняття різних управлінських рішень. Позитивних чи негативних. Виходячи з цього, для того, щоб приймати позитивні рішення необхідно не тільки удосконалювати відповідні методи, але й формувати впливи на команду проєкту таким чином, щоб вона приймала найкращі рішення [9] в умовах реалізації проєктів та програми цифровізації, на які здійснюється різний вплив. Формалізуємо цю задачу.

Нехай

$$\Pi = \{\pi_j\}, j = 1, n, \quad (1)$$

де  $\Pi$  – програма цифровізації;

$\pi_j$  – проєкт цифровізації.

$$\overline{V} = \{v_i\}, i = 1, m, \quad (2)$$

де  $V$  – множина впливів на програму цифровізації;

$v_i$  – вплив на програму цифровізації.

В свою чергу серед впливів виділимо підмножини:

$$V = V_c \cup V_z \cup V_o, \quad (3)$$

де  $V_c$  – підмножина постійних впливів, викликаних соціально-економічною ситуацією в країні та умовами функціонування військової освіти;

$V_z$  – підмножина випадкових впливів, викликаних не передбачуваними ситуаціями в процесі реалізації проєктів цифровізації (наприклад, зміна керівництва);

$V_o$  – підмножина впливів, викликаних особливостями реалізації проєктів цифровізації військової освіти.

Впливи з підмножини  $V_c$  є актуальними для будь яких проєктів в сфері військової освіти. Управління саме такими впливами майже неможливе частіше всього (вони, в основному, є зовнішні). Випадкові впливи  $V_z$  передбачити досить важко. Зовсім ніхто не знає точно наперед, які саме впливи з'являться на шляху реалізації проєктів на ті чи інші компоненти проєктів через реалізацію самих процесів формування продуктів проєктів, чи то, безпосередньо, в самій системі управління.

Найсуттєвіше значення для програм цифровізації мають впливи, що пов'язані з особливостями проєктів  $V_o$ . Саме вони і є предметом дослідження авторів. В рамках цих досліджень необхідно визначити зв'язок між особливостями проєктів цифровізації та їх впливом на характеристики цих проєктів. До характеристик проєктів цифровізації можна віднести:

$$\pi_j = \langle P_j, N_j, Z_j, R_j, K_j, L_j, O_j, W_j, t_j \rangle, \quad (4)$$

де  $P_j$  – портфель проєктів;

$N_j$  – назва проєкту;

$Z_j$  – ціль проєкту;

$R_j$  – керівник проєкту;

$K_j$  – команда проєкту;

$L_j$  – необхідні трудові ресурси проєкту;

$O_j$  – необхідні матеріальні ресурси проєкту (обладнання, матеріали, програмні засоби,

інформація);

$W_j$  – продукт проєкту;

$t_j$  – тривалість виконання проєкту.

Всі впливи призводять до змін характеристик проєктів цифровізації. У першу чергу слід відзначити стандартні (очікувані, позитивні) зміни в проєктах цифровізації, які відповідають його нормальному розвитку. До таких змін зазвичай кожен заклад освіти готовий і успішно їх виконує, оскільки вони фіксують нову ступінь готовності продуктів проєктів [1].

Інша група змін є небажаною, але практично неминучою. Вона пов'язана з безліччю змін в характеристиках в проєктах, викликаних визначеними вище впливами. Авторами був проведений аналіз результатів та причин змін в характеристиках по багатьох проєктах цифровізації. Насправді кількість змін в характеристиках в будь-якому проєкті цифровізації величезна, характер їх різноманітний. При цьому, як показав проведений аналіз, традиційні, формальні і орієнтовані на деталі методи управління все частіше виявляються неефективними в процесі «усунення» численних змін в характеристиках в плані, бюджеті, можливості реалізації, конфігурації тощо [2,10].

Перед керівництвом програми цифровізації завжди буде стояти питання, чи зменшити величину негативного впливу на характеристики проєктів цифровізації (витративши на це досить часто значні кошти), чи прийняти їх і змінити характеристики проєктів (дещо втративши в ефективності чи якості) [11,12]. Зрозуміло, що оптимальне рішення повинне забезпечити мінімізацію витрат на програму, та максимізацію її ефективності:

$$k \cdot E(\Pi) - S(\Pi) \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $S(\Pi)$  – витрати на програму цифровізації;

$E(\Pi)$  – цінність програми цифровізації;

$k$  – коефіцієнт приведення ефективності програми цифровізації до міри витрат на програму цифровізації, при обмеженнях

$$S(\Pi) \leq S_0 ;$$

$$\Psi(\Pi),$$

де  $\Psi(\Pi)$  – зв'язок між продуктами/проєктами програми цифровізації;

$S_0$  – бюджет програми цифровізації.

Під *ефективністю програми цифровізації* будемо розуміти корисний результат використання її продуктів.

Як слідує з виразу (5) для отримання максимального значення необхідно:

1. Підібрати в програму цифровізації ті проєкти, які вимагатимуть мінімум витрат при максимальній ефективності (динамічна структура проєктів).

2. Підбирати в програму цифровізації тільки ті проєкти, які використовують раніше розроблені засоби цифровізації, або засоби цифровізації які є продуктами проєктів, що теж входять до програми цифровізації.

3. В процесі реалізації програми цифровізації мінімізувати витрати за рахунок раціонального вибору між альтернативами (динамічні характеристики проєктів): витратити кошти на зменшення впливу особливостей проєктів цифровізації на їх хід чи витратити кошти на ліквідацію наслідків негативного впливу особливостей проєктів цифровізації.

Тоді вираз (5) може бути записаний:

$$\sum [k \cdot E(\pi_j) - S(\pi_j)] - S_u(\Pi^*) \rightarrow \max \quad (6)$$

де  $S(\pi_j)$  – витрати на проєкт цифровізації  $\pi_j$ ;

$E(\pi_j)$  – цінність проєкту цифровізації  $\pi_j$ ;

$\Pi^*$  – частина програми цифровізації, яка буде прийнята до виконання в ВНЗ;  
 $S_u(\Pi^*)$  – витрати на управління проектами цифровізації, що будуть прийняті до виконання, при обмеженнях

$$\sum [k \cdot E(\pi_j) - S(\pi_j)] - S_u(\Pi^*) \geq 0;$$

$$\pi \in \Pi^*$$

$$S(\Pi) \leq S_0$$

$$\Psi(\Pi).$$

Оптимізація виразу (6) полягає в наповненні програми цифровізації найбільш ефективними і найменш вартісними проектами, та в реалізації такої моделі управління кожним з проектів, коли додаткові витрати на ліквідацію наслідків впливів на проект буде мінімальною:

$$S(\pi_j) = S_{np}(\pi_j) + S_{упр}(\pi_j) + S_{вплив}(\pi_j), \quad (7)$$

де  $S_{np}(\pi_j)$  – витрати на створення продукту проекту цифровізації  $\pi_j$ ;

$S_{упр}(\pi_j)$  – витрати на управління проектом цифровізації  $\pi_j$ ;

$S_{вплив}(\pi_j)$  – витрати на ліквідацію впливу динамічного оточення програми цифровізації на проект  $\pi_j$ .

Виходячи з того, що в виразі (7)  $S_{np}(\pi_j)$  і  $S_{упр}(\pi_j)$  є практично константними величинами, мінімізація витрат можлива лише за рахунок зменшення  $S_{вплив}(\pi_j)$ . Значення  $S_{вплив}(\pi_j)$  дорівнює:

$$S_{вплив}(\pi_j) = \sum_{r=1}^k \sum_{v_{ir} \in V_a} S_{ir}^{лікв}(\pi_j),$$

де  $S_{ir}^{лікв}(\pi_j)$  – витрати на ліквідацію наслідків  $i$ -го впливу  $r$  – складової динамічного оточення програми інформатизації на проект  $\pi_j$ ;

$k$  – кількість ідентифікованих складових динамічного оточення програми цифровізації, що впливають на неї.

Для того, щоб  $S_{ir}^{лікв}(\pi_j) = 0$  необхідно в рамках програми інформатизації виконати управлінські дії, які призведуть до ліквідації  $i$ -го впливу  $r$  – складової динамічного оточення на проект. Для цього необхідні додаткові витрати:

$$S_i(\Pi^*) = S_{упр}(\Pi^*) + \sum_{r=1}^k C_r^{лікв}(\Pi),$$

де  $C_r^{лікв}(\Pi)$  – витрати на ліквідацію впливів  $r$ -ї складової динамічного оточення на всі проекти програми цифровізації;

$S_{упр}(\Pi^*)$  – витрати на безпосереднє управління проектами цифровізації, що будуть прийняті до виконання.

Тоді рішення, щодо ліквідації впливу на програму цифровізації (при наявності такої можливості в закладі освіти) приймається на основі наступного вирішального правила: якщо для складової динамічного оточення  $r$ :

$$\sum_{j=1}^{n^*} S_{негат}(\pi_j) \leq C_r^{лікв}(\Pi), \quad (8)$$

де  $n^*$  – кількість проектів, прийнятих до виконання, то допускається негативний вплив на проекти  $r$ -ї складової динамічного оточення з наступною ліквідацією наслідків такого впливу в проектах. В іншому випадку необхідна ліквідація  $r$ -ї складової динамічного оточення в системі управління програмою цифровізації.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** В статті показано, що для побудови систем управління проектами або програмами необхідно відхилитися від традиційної схеми управління ризиками, проблемами і змінами як управління якимось процесом, а перейти до управління їх першоджерелом впливами на проект або програму.

Для цього запропонована математична модель впливів на програми цифровізації, яка включає цільову функцію, обмеження та вирішальне правило для визначення управлінських дій по запобіганню негативним впливам на програми цифровізації військової освіти. Показано, що значна негативна роль динамічного оточення в програмах цифровізації може бути пом'якшена застосуванням спеціальних моделей і методів управління впливами.

Успішне застосування запропонованої математичної моделі впливів на програми інформатизації, може бути досягнуто тоді, коли за аналогічними принципами будуть розроблені спеціальні методи управління впливами. Адже поєднання отриманих в роботі формул (6), (7) і (8) з врахуванням взаємозв'язку продуктів і проєктів інформатизації робить задачу пошуку оптимального управлінського рішення по формуванню портфелю проєктів виходячи з прийняття чи відхилення різноманітних впливів на програму інформатизації досить складною. В подальших роботах авторів буде запропоновано метод управління впливами на програми цифровізації вищих навчальних закладів.

Класифіковано впливи динамічного оточення на програми цифровізації військової освіти. Дано ряд визначень, що безпосередньо створюють понятійний базис програм цифровізації: проєктів, програм, динамічного оточення, середовища проєктів, конфігурації проєктів цифровізації тощо. Запропоновані процедури управління негативним впливами на програми цифровізації військової освіти. Показано, що зважаючи на значні зміни в проєктах, що є наслідком негативних впливів виникає необхідність створення методологічних основ управління впливами, які повинні охоплювати функції, пов'язані з аналізом, плануванням, реалізацією, контролем за реалізацією, а також забезпеченням діяльності з управління впливами на проєкт або програму. Показано, що для цього необхідно відхилитися від традиційної схеми управління змінами як управління якимось процесом, а перейти до управління першоджерелом цих змін - впливами на проєкт або програму. До управління якими можна і потрібно підходити з позицій методології управління проєктами.

Визначена необхідність вирішення завдань аналізу та попереднього виявлення впливів на програми цифровізації. Сформульована задача необхідності розробки методології управління впливами на проєкти та програми, яка буде реалізована в наступних публікаціях авторів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Пойя, Д. Математика и правдоподобные рассуждения /Д. Пойя// - М.: Наука, 1975 - 463 ст.
2. Закон України «Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки» [Електронний ресурс] / 2007. - № 537-V. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.
3. Биков, В.Ю. Проблеми створення системи моніторингу стану цифровізації загальноосвітніх навчальних закладів [Електронний ресурс] / В.Ю. Биков, А.Ю. Пилипчук // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2007. – № 4. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/ITZN/em4/emg.html>
4. Дослідження якості організації освітнього процесу в умовах війни у 2022/2023 навчальному році [Електронний ресурс]/ Державна служба якості освіти України. – Режим доступу: <https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/yakist-osvity-v-umovah-viyny-web-3.pdf>.
5. Тесля, Ю.М. Методи проєктування матричних інформаційних технологій управління проєктами // Радіоелектроніка та інформатика. 1999. - № 2.- ст.111-115.
6. Егорченков, А.В. Применение нового подхода управления ресурсами в информационных системах управления проєктами / Катаева, Е.Ю., Егорченков, А.В., Егорченкова, Н.Ю., Катаев, Д.С. // Тезисы доклада X Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами и проєктами», Харьков 2012 р. – ст. 147-149

7. Науково-методичне забезпечення цифровізації освіти України: стан, проблеми, перспективи. Науково-аналітична доповідь / В.Ю. Биков, О.І. Ляшенко, С.Г. Литвинова, В.І. Луговий, Ю.І. Мальований, О.П. Пінчук, О.М. Топузов / за заг. ред. В.Г. Кременя. Київ: 2022. 96 с
8. Гриценко, В.Г. Шляхи цифровізації університетської освіти / В.Г.Гриценко // Вісник Черкаського університету. Випуск 211. Серія: педагогічні науки.: Збірник. – Черкаси: ЧНУ, 2011. Частина II. – с. 35–39.
9. The Standard For Project Management ANSI/PMI 99-001-2017, США: Project Management Institute, 2017, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.pmi.org/learning/library/ansi-standard-5057>
10. Рач, В.А., Бирюков, О.В. Идентификация компетентности в сфере управления проектами/ Рач, В.А., Бирюков, О.В. // Управління проектами та розвиток виробництва. Збірник наукових праць. Під ред.. В.А. Рач.- 2007. - №1 (21). – С. 143 – 160.
11. Лопушинський І.П., «Цифровізація» освіти в контексті розвитку інформаційного суспільства в Україні. Педагогічний альманах. 2018. Вип. 37. С. 46–55.
12. COLLAZOS, César A., et al. Designing online platforms supporting emotions and awareness. Electronics, 2021, 10.3: 251.

## REFERENCES

1. Polya D. (1975). Mathematics and plausible reasoning. Moscow: Nauka, p. 463 [in Russian].
2. Law of Ukraine "On the Fundamentals of Information Society Development in Ukraine for 2007-2015" № 537-V. - Available at: <Http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.
3. Bykov V., Pylypczuk A. (2007). Problems of Information monitoring system of secondary schools. Information technology and learning tools, 4. Available at: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/ITZN/em4/emg.html> [in Russian].
4. Doslidzhennia yakosti orhanizatsii osvithnoho protsesu v umovakh viiny u 2022/2023 navchalnomu rotsi / State Education Quality Service of Ukraine, link: <https://sqe.gov.ua/wp-content/uploads/2023/04/yakist-osvity-v-umovah-viyny-web-3.pdf>. [in Ukrainian].
5. Teslia I. (1999). Methods of design matrix information technology project management. Electronics and Informatics. - № 2.-P.111-115 [in Ukrainian].
6. Egorchenkov A., Kataeva E., Egorchenkova N. (2012, September 16). New approach to resource management information systems project management: Abstracts of the X International scientific-practical conference "Modern information technologies in economics and business management, programs and projects." Kharkiv. - S. 147-1494 [in Russian].
7. Naukovo-metodychne zabezpechennia tsyfrovizatsii osvity Ukrainy: stan, problemy, perspektyvy. Naukovo-analitychna dopovid / V.Iu. Bykov, O.I. Liashenko, S.H. Lytvynova, V.I. Luhovyi, Yu.I. Malovanyi, O.P. Pinchuk, O.M. Topuzov / za zah. red. V.H. Kremenia. Kyiv: 2022. 96 s [in Ukrainian].
8. Gritsenko V., Hrytsenko V. (2011). Ways informational university education. Journal of University of Cherkassy. 211. Issue Series: teaching science.: Collection. - Cherkasy: CNU, 2011 Part II. - p. 35-39 [in Ukrainian].
9. The Standard For Project Management ANSI/PMI 99-001-2017, США: Project Management Institute, 2017, USA: Project Management Institute [in USA].
10. Rach V., Biriukova O. (2007). Identification of competence in the sphere of management of projects. Project management and production development. - №1 (21). - p. 143 – 160 [in Ukrainian].
11. Lopushynskiy I. (2018). «Tsyfrovizatsiia» osvity v konteksti rozvytku informatsiinoho suspilstva v Ukraini. Pedahohichniy almanakh. Vyp. 37. S. 46–55 [in Ukrainian].
12. COLLAZOS, César A., et al. Designing online platforms supporting emotions and awareness. Electronics, 2021, 10.3: 251 [in USA].

**NEGATIVE INFLUENCE OF DYNAMIC ENVIRONMENT ON PROGRAMS  
DIGITALIZATION OF MILITARY EDUCATION**

*The negative effects of the dynamic environment on digitalization programs of military education have been studied. Specific features are highlighted and the influence of the dynamic environment on the characteristics of digitization projects and programs is considered. The results of such influences are characterized. Conceptual space for formal management of impacts on programs of digitalization of military education is formulated. The effects of the dynamic environment on the characteristics of digitization programs are considered. The results of such influences are highlighted. A mathematical model of the space of influences, an objective function, constraints and a decisive rule for determining management actions to counteract the influences that lead to negative consequences in digitalization programs are proposed. It is proposed to use the mathematical apparatus of the theory of non-force interaction as a scientific and methodological basis for finding the optimal solution for minimizing the costs of eliminating the consequences of negative impacts.*

*The structure, list, subordination and distribution of obligations in the process of implementation of the programs of the digitalization of military education depend on the sources of influence characteristic of the dynamic environment, which lead to deviations, and determine the possibility of implementing the projects of these programs. Since the number of such sources in digitalization programs is significant, it is necessary to implement a systematic approach to the construction of management systems for digitalization programs of military education (MSDP ME), which will be effective in the conditions of Ukraine. And for this, it is necessary to develop methods and ways of managing the organizational and functional structure of higher education institutions, as well as the technologies of preparation, planning, and budgeting, which are the basis of building management systems in the conditions of numerous influences that arise during the implementation of digitalization programs. This article is devoted to solving this scientific problem. Therefore, the purpose of the work is to study the effects of the dynamic environment on the digitalization programs of higher educational institutions and the digitalization of military education, and to build a mathematical model of such effects, which can form the basis of the methodology for managing effects on projects and programs.*

*Key words: impacts, project, program, informatization, negative impacts, dynamic environment, project management, information environment, impact management.*

## ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ТА ЗАГРОЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

*В роботі запропоновано структурну схему інформаційно-аналітична системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки. Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що для вирішення задачі дослідження та розробки інформаційно-аналітичної нечіткої системи для логічного нечіткого виводу про появу вразливостей та загроз інформаційної безпеки, автоматизації проведення аналізу потоку повідомлень тематичних інтернет-ресурсів, про доцільність використання експертних систем прогнозування. Для вирішення задач прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних на основі потоку тематичних повідомлень інтернет-ресурсів, з використанням запропонованих алгоритмів та методу, можуть використовуватися експертні системи прогнозування гібридного типу, призначені для використання на інформаційно - обчислювальній техніці загального призначення.*

*Реалізований в інформаційно-аналітичній системі алгоритм прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації на основі аналізу потоку даних тематичних інтернет-ресурсів дозволяє автоматизувати інформаційний процес виявлення нових вразливостей, загроз, надає фахівцям інформаційної безпеки можливість оцінити своєчасно ступінь захищеності ресурсів та при необхідності вжити відповідних заходів щодо нейтралізації можливих загроз та вразливостей, тим самим підвищити інформаційну безпеку обчислювальних комп'ютерних систем від реалізації нових мережесевих комп'ютерних атак. Проведено аналіз систем нечіткого логічного виводу, сучасних засобів обробки великих об'ємів даних, засобів морфологічного аналізу тексту, редакторів онтологій. Для проведення логічного моделювання інформаційної системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки побудовані UML-діаграми діяльності, послідовності дій, класів. Для фізичного моделювання системи розроблено UML-діаграми розгортання та компонентів. Обґрунтовано можливість реалізації інформаційно-аналітичної системи прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації на основі аналізу текстових повідомлень тематичних інтернет-ресурсів з використанням наступних програмних продуктів: СКБД MySQL, редактор онтологій – Protégé, системи нечіткого логічного виводу – Fuzzy Logic Designer, засобів морфологічного аналізу даних – Mystem. Для проведення оцінки отриманих результатів обчисленні показники MAPE, MAE, RMSE для значень прогнозування виникнення вразливостей та загроз інформаційної безпеки, а також розраховані на їх основі згладжені часові рядки з періодом три та п'ять діб.*

*Ключові слова: інформаційна безпека, тематичні інтернет-ресурси соціальні мережі, джерела повідомлень, вразливості, атаки, інформаційна система.*

**Вступ.** На сучасному етапі, проблеми інформаційної безпеки розвитку суспільства у більшості сфер їх діяльності виходять на передній план. Це пов'язано зі значним зростанням кількості реалізованих проектів інформатизації. Більшість реалізованих проектів інформатизації спрямовані на побудову єдиного телекомунікаційного та інформаційного простору з метою оптимізації процесів обробки різноманітної інформації великих об'ємів, наприклад забезпечення оперативного доступу до інформації, надійного зберігання даних для користувачів інформаційного обміну [1-17].

Проблемою інформаційної безпеки суспільства є шкідлива інформація, злочинні та терористичні угруповання беруть на озброєння засоби інформаційного впливу, розробляють та пишуть стратегії, спрямовані на залучення нових adeptів та розширення сфери впливу через

соціальні мережі. Однією зі складових надійного забезпечення інформаційної безпеки держави є проведення аналізу, виявлення, моніторинг та активна протидія розповсюдженню шкідливої інформації в соціальних мережах [1,2, 5 -7, 9,14,16].

Важливість проблеми пов'язана з наступними факторами: зростанням різноманітності та кількості засобів комп'ютерної техніки та сфер людської діяльності їх застосування; високим рівнем довіри до інформаційно-пошукових систем обробки та управління даними; зростанням числа користувачів інформаційного простору взаємодії; накопиченням великих об'ємів різнотипної інформації, інтенсивним обміном потоком даних в мережі між користувачами, з використанням широкого спектра механізмів доступу до конфіденційних ресурсів, інформаційних процесів; промисловим шпигунством та конкурентною боротьбою у сфері інформаційних послуг суспільства; недостатньою кількістю, на сучасному етапі, фахівців високої кваліфікації в області інформаційної безпеки, ринковими відношеннями в області розробки програмного забезпечення, обслуговування, розповсюдження, виробництва обчислювальної комп'ютерної техніки для реалізації інформаційної безпеки; різноманітністю атак, загроз і різнотипних каналів отримання несанкціонованого доступу до конфіденційних ресурсів та диференціацією негативних наслідків [ 3, 10-12,16,17].

Виникає потреба у проведенні захисту комп'ютерних систем та інформаційних ресурсів від блокування, несанкціонованого доступу до конфіденційних даних, знищення та інших злочинних, небажаних загроз, різноманітності та кількості яких постійно зростає. За оцінками, проведеними експертними організаціями, збитки в інформаційній сфері від злочинів в мережі Інтернет щорічно оцінюються в мільярди доларів [6,8,9,14,15].

**Аналіз останніх досліджень та постановка задачі.** З метою автоматизації широкого спектру вирішення задач застосовуються експертні системи та інформаційні технології. Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що для вирішення задачі дослідження та розробки інформаційно-аналітичної нечіткої системи для логічного нечіткого виводу про появу вразливостей та загроз інформаційної безпеки, автоматизації проведення аналізу потоку повідомлень тематичних інтернет-ресурсів, про доцільність використання експертних систем прогнозування. Для вирішення задач прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки даних на основі потоку тематичних повідомлень інтернет-ресурсів, з використанням запропонованих алгоритмів та методу, можуть використовуватися експертні системи прогнозування гібридного типу, призначені для використання на інформаційно - обчислювальній техніці загального призначення [1-4,7,9,14,16].

Прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційним даним на основі отриманих повідомлень тематичних інтернет-форумів використання онтології предметної області відіграє ключову позицію. Успіх проведення аналізу повідомлень форуму залежить від способу побудови онтології предметної області. Робота з онтологіями передбачає використання методологій та методів їх побудови, із застосуванням прикладних інструментів та спеціалізованих мов програмування, також вирішення задач, пов'язаних з забезпеченням життєвого циклу та їхньою розробкою [1-4,8,9].

В якості основні програмних інструментів для розробки онтологій предметної області виступають редактори онтологій. Основна їхня функція - забезпечення можливостей формалізації знань про предметну область, для якої проводиться аналіз у заданому форматі онтологічної структури. До основних функцій сучасних редакторів онтології відносяться: імпорт онтології із зовнішніх форматів та експорт у потрібний формат; інтерактивна розробка онтології; редагування метаданих онтології (версії формалізації, загального опису, простору імен); робота з елементами онтології: видалення, редагування, створення відношень онтології, аксіом, об'єктів, класів. Функціональні можливості редакторів онтології можуть бути розширені, підключенням додаткових модулів та плагінів для візуалізації онтологій, несуперечності, перевірки логічної цілісності. Сучасні редактори онтологій розрізняються реалізованих у них наборами функцій, форматами представлення та зберігання даних, можливостями проведення модифікації вхідного коду [3,4,11,17].

Результати порівняння характеристик та параметрів сучасних та популярних редакторів онтологій наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Таблиця характеристик редакторів онтологій

| № п/п | Редактор онтології | Модель | Мова ПЗ | Мова представлення | Зберігання онтологій | Розширення |
|-------|--------------------|--------|---------|--------------------|----------------------|------------|
| 1     | Protégé            | Local  | Java    | OKBC               | Файли, СКБД          | Плагіни    |
| 2     | OntoEdit           | Local  | Java    | OXML               | Файли                | Плагіни    |
| 3     | Oiled              | Local  | Java    | DAWL+OIL           | Файли                | -          |

Найбільш популярним редактором онтологій - редактор Protégé. Архітектура редактора Protégé легко розширюється, вільно поширюється, підтримка модулів розширення, має відкритий вихідний код. Редактор Protégé використовується для розробки бази знань (онтологій) вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних, застосовується для проведення обчислення результатів експериментів, які є основою для проведення оцінки ефективності запропонованих алгоритмів та моделей, в основу яких покладено тезаурус інформаційної безпеки, класифікацію вразливостей і загроз [6-8,11,13].

Для реалізації семантичної фільтрації текстових повідомлень тематичних форумів інтернет-ресурсів проведено аналіз сучасних програмних інструментів, які забезпечують функціями семантичного та морфологічного аналізу текстових повідомлень, порівняльна характеристика яких наведена в табл. 2. Морфологічні процесори виконують відповідні функції лематизації словоформ.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика програмних засобів морфологічного аналізу текстових повідомлень

| № п/п | Система   | Відкриті вихідні коди | Швидкість слів в сек. | Підключення словників | Об'єм словника тис. слів |
|-------|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1     | AOT       | Так                   | 60-90 тис.            | Ні                    | 160                      |
| 2     | MyStem    | Ні                    | 100-120 тис.          | Так                   | >250                     |
| 3     | Pymorphy2 | Так                   | 80-100 тис.           | Ні                    | 250                      |

Словник процесора TreeTagger доступний у вигляді бінарного файлу, закритим є словник системи MyStem. Швидкість обробки слів у наведених програмних платформах є достатньо високою. Для роботи з обмеженими предметними областями, особливо важливою задачею є можливість підключення словника даних. Дана функція реалізована у процесорі MyStem. Кожна морфологічна програмна система використовує власну систему морфологічних тегів, таким чином, у зв'язку з цим порівняти результати роботи процесорів на однакових потоках текстів достатньо складно. На рис. 1 наведено етапи нечіткого виводу роботи інформаційно-аналітичної системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки.

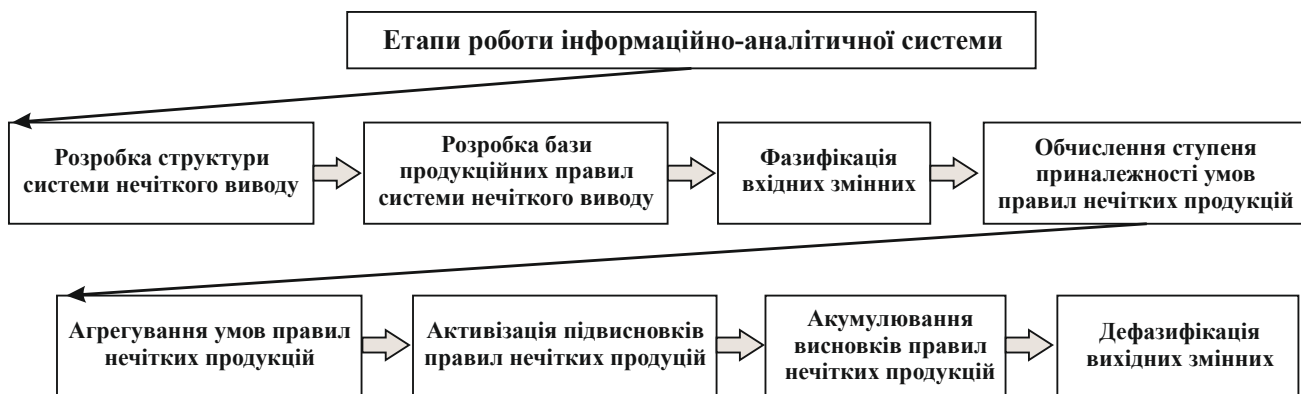


Рисунок 1 - Етапи нечіткого виводу роботи інформаційно-аналітичної системи

**Інформаційно-аналітична система прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки.** На теперішній час існують програмні інструменти, які надають функції збору текстових повідомлень, що розміщуються на тематичних інтернет-сервісах. Їх застосування в практичному використанні дозволяє реалізувати функції нечіткої інформаційно-аналітичної системи формування інтернет - потоку повідомлень різних дискусійних тематичних інтернет-ресурсів. Так як, форуми тематичних інтернет-ресурсів представляють сховища неформалізованих даних, щодо інформаційної безпеки та технологій, містять нечіткі поняття та знання (відсутні будь-які формати викладу текстових повідомлень, учасниками застосовується специфічний сленг, який є у користувачів інтернет-дискусій), доцільно, в даній ситуації використовувати для роботи з даними форумами механізми нечіткої логіки. Обґрунтованість застосування нечітких логічних моделей пов'язана зі значною часткою невизначеності потоку повідомлень, обумовленої складністю предметної області та неповнотою інформації. Як інструмент для досягнення поставленої задачі пропонується використовувати нечітку інформаційно-аналітичну систему прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки, що надає функціональні можливості, які представлені на рис. 2.

Ефективність роботи інформаційно-аналітичної системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки в значній мірі залежить від якості використовуваної у ній бази продукційних правил (бази знань). База знань є сполучною ланкою між ключовими модулями системи та сховищем даних. До бази продукційних правил включено список тематичних форумів та онтологію предметної області [5,6,8,11,16,17].

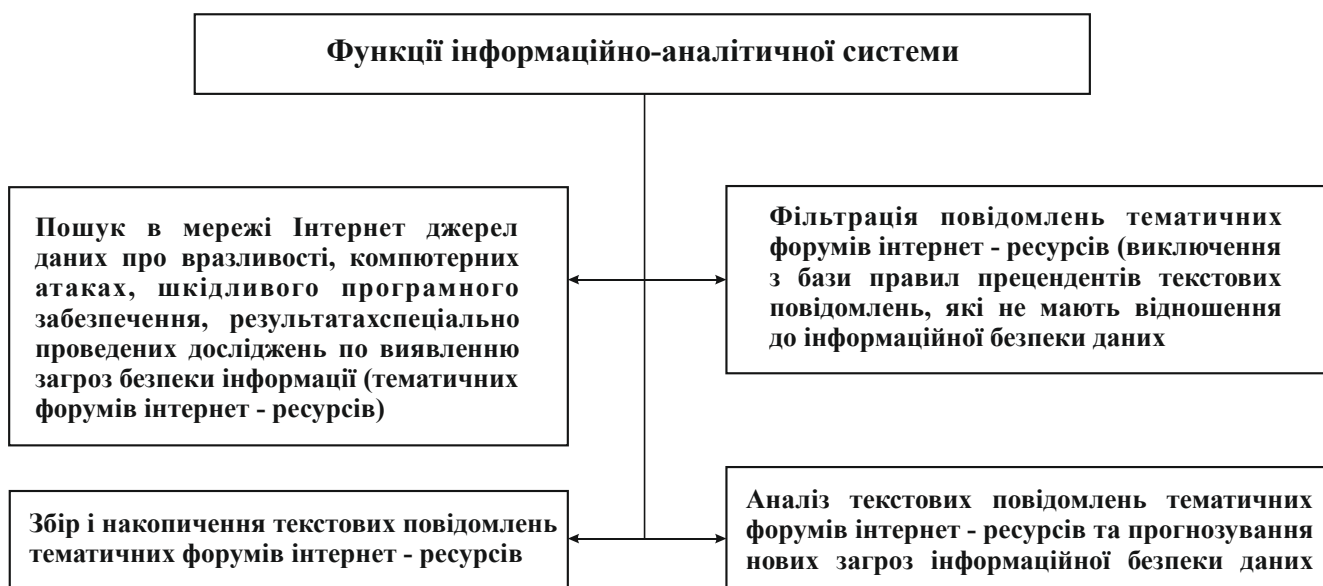


Рисунок 2 – Функції інформаційно-аналітичної системи аналізу потоку повідомлень тематичних інтернет-форумів

Організацію процесу аналізу потоку текстових повідомлень тематичних форумів інтернет-ресурсів та прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних відображає структура нечіткої інформаційно-аналітичної системи, яка представлена на рис. 3. Стрілками темного кольору позначені потоки текстових повідомлень інтернет-ресурсів в процесі пошуку джерел даних тематичних форумів, предметної області що представляє інтерес. Світлими стрілками (рис. 3) позначений потік повідомлень тематичних форумів інтернет-ресурсів у процесі прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційним даним

Список тематичних джерел форумів містить адреси інтернет-ресурсів, на яких розміщуються текстові публікації про шкідливе програмне забезпечення, вразливості та комп'ютерні атаки [7,8,11,15,17].

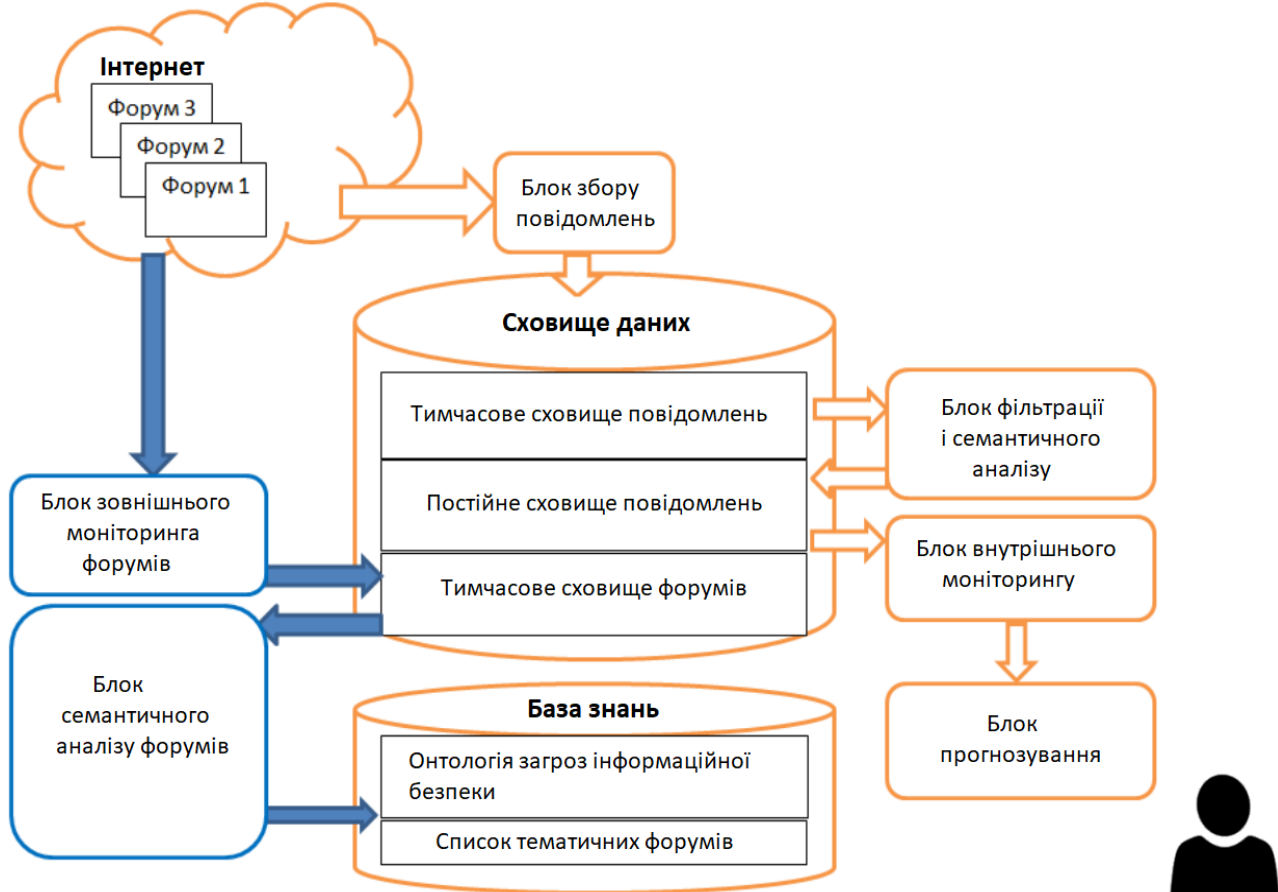


Рисунок 3 - Структура нечіткої інформаційно-аналітичної системи

На початковому етапі роботи інформаційно-аналітичної системи список формується експертним шляхом, із загальної кількості форумів тематичних інтернет-ресурсів виділяються ті, тематика яких дозволяє інтернет-інформацію віднести до хакерських (інформація містить результати спеціалізованих досліджень з виявлення вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних, повідомлення про комп'ютерні атаки, вразливості, шкідливе програмне забезпечення). Автоматизоване виявлення нових форумів тематичних інтернет-ресурсів, в даній ситуації, можливо, шляхом проведення аналізу різноманітних форумів інтернет-ресурсів, з використанням запропонованих критеріїв відбору текстових повідомлень, що належать до заданої предметної області, для якої проводиться аналіз з використання онтології.

На теперішній час для вирішення задачі проектування та розробки інформаційно-обчислювальних систем використовується універсальна мова моделювання UML - дозволяє реалізувати об'єктно-орієнтований підхід до проектування систем, будувати моделі систем із зазначеннями їх основних якостей.

Для розробки концептуальної моделі інформаційно-обчислювальної системи застосовуються моделі бізнес-об'єктів: діаграми діяльності, варіантів використання, послідовностей дій. Під час проектування логічної моделі інформаційно-обчислювальної системи вимоги до системи формуються на основі застосування діаграм варіантів використання. На етапі попереднього проектування інформаційної системи використовуються діаграми послідовностей, станів, класів. На етапі проектування фізичної моделі інформаційної системи детальне проектування виконується із використанням діаграм класів, компонентів та розгортання. Для опису функціонального призначення інформаційної системи застосовуються діаграми UML варіанти використання. Діаграми є концептуальним представленням інформаційної системи (вхідними моделями) у процесі розробки та проектування. В залежності від розв'язуваних задач, роботу з інформаційною системою, можуть здійснювати користувачі двох типів:

1. Експерт, для роботи доступні чотири модулі інформаційної системи: редактор онтології (Protégé) - використовується для формалізації накопичуваних експертних знань в форматі онтології, що відносяться до заданої предметної області; редактор функцій приналежності вхідних та вихідних параметрів, правил логічних нечітких продукцій (Fuzzy Logic Designer) - використовується для здійснення логічного нечіткого виводу про вразливості та загрози інформаційної безпеки конфіденційних даних; підсистема розширення ядра онтології - для вилучення термінології з текстів предметної області, експерту надається можливість оцінювати вилучення на термінологічність і вносити їх до онтології предметної області, розширюючи базу знань правил продукцій; редактор списку тематичних форумів інтернет-ресурсів - використовується для формування потоку текстових повідомлень, що аналізуються.

2. Спеціаліст з інформаційної безпеки - необхідно прийняти рішення про достатність заходів, для здійснення захисту конфіденційних даних. Користувачу надається доступ до підсистеми логічного нечіткого виводу про виникнення вразливостей та загроз безпеки інформації, в основі лежить проведення аналізу текстових повідомлень тематичних форумів інтернет-ресурсів. Під час отримання виводу про виникнення вразливості чи загрози безпеки інформації, користувачу надана можливість оцінити актуальність безпеки для інформаційно-обчислювальної системи, та прийняти відповідні запобіжні заходи усунення негативних чинників. Нечітка інформаційно-аналітична система розробляється для обробки потоку інтернет повідомлень тематичних форумів інтернет-ресурсів, фільтрації текстових повідомлень на основі онтології заданої предметної області, проведення статистичного аналізу, семантичного аналізу потоку даних, логічного нечіткого виводу, базується на результатах потоку текстових повідомлень.

При використанні об'єктно-орієнтованого підходу розробки системи, центральне місце займає розробка моделей, представлених у вигляді діаграм класів. Діаграми класів розглядаються на початкових етапах розробки та моделювання інформаційної системи. Для представлення інформаційно-обчислювальної аналітичної системи задіяно сім класів: Автори повідомлень, Форуми, Онтологія, Теми, Розділи, Інформаційні ресурси, Повідомлення. На рис. 4. наведено діаграму класів інформаційно-аналітичної системи.

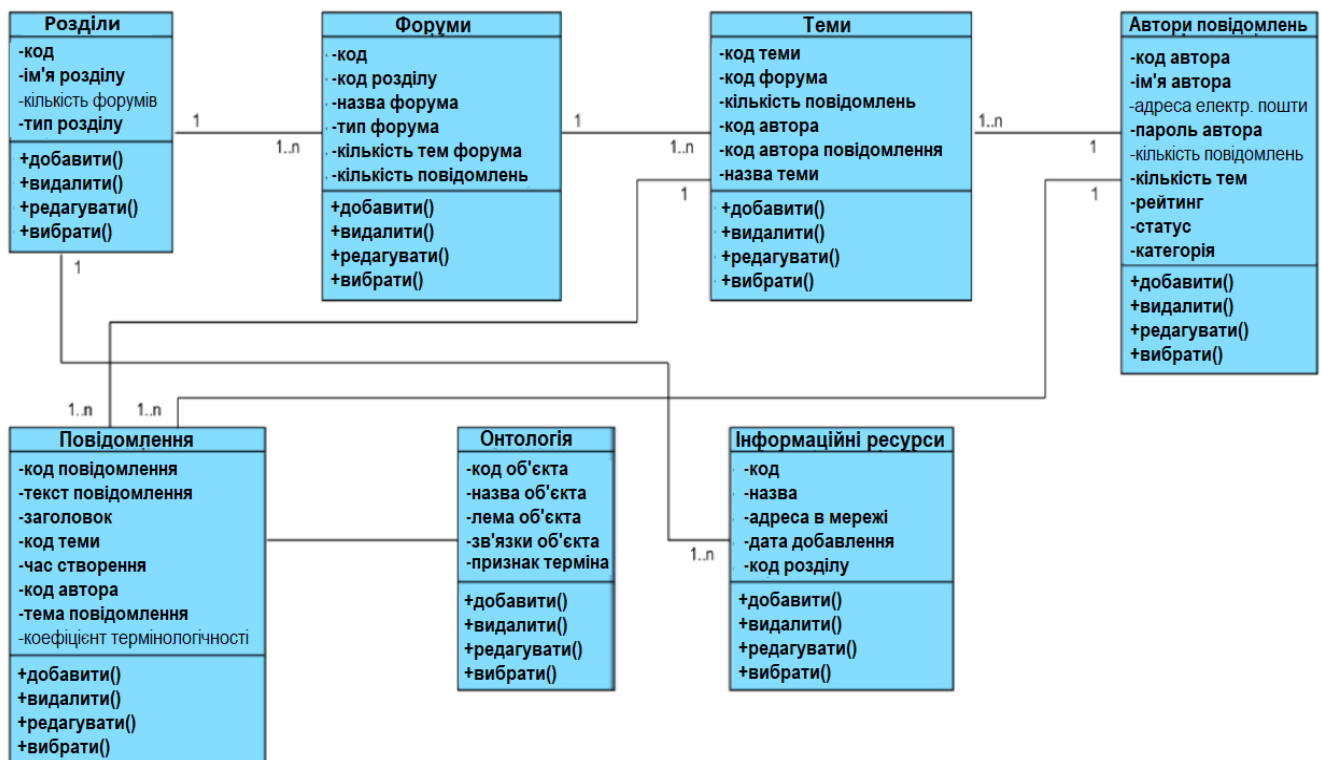


Рисунок 4 – Діаграма класів нечіткої інформаційно-аналітичної системи

Для опису взаємодії інформаційної системи об'єктів використанні діаграми послідовності дій. Діаграми описують послідовності, у яких об'єкти діаграми отримують та надсилають повідомлення на протязі часу. Діаграма діяльності інформаційно-обчислювальної аналітичної системи, наведена на рис. 5.

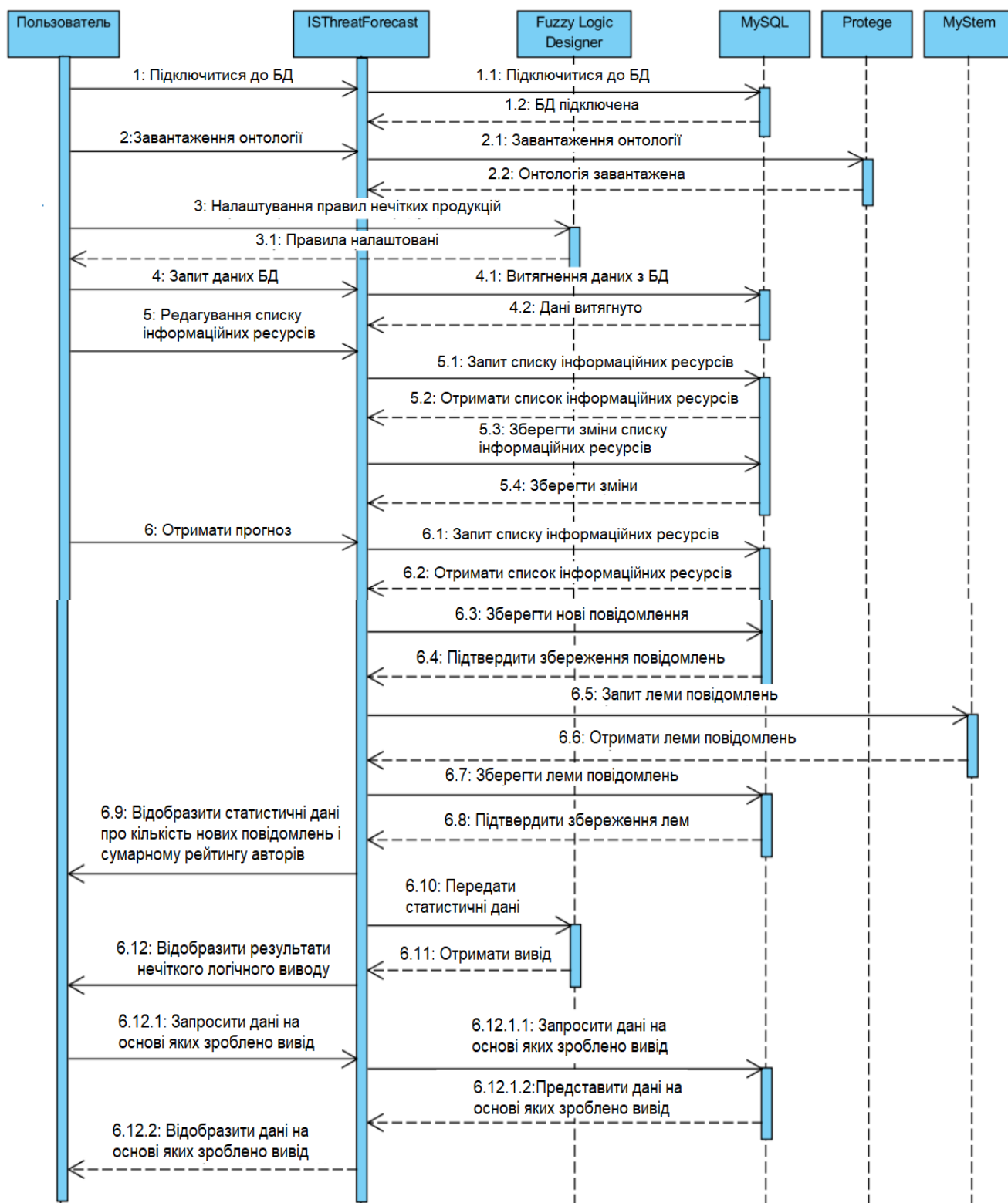


Рисунок 5 – Діаграма діяльності інформаційно-аналітичної системи

Діаграми послідовності визначають основні повідомлення, на які реагують об'єкти, компоненти, відображають динамічну складову інформаційно системи.

Запропонована діаграма описує логічну модель, в якій як засіб для реалізації нечіткого логічного виводу використовується Fuzzy Logic Designer, MySQL, редактор онтології – Protégé, засоби семантичної обробки MyStem.

Розглянуті діаграми реалізують концептуальну сторону побудови моделі інформаційно-аналітичної системи, подання системи здійснюється на логічному рівні. Для реалізації

фізичної системи, потрібно реалізувати в матеріальні сутності всі елементи логічного представлення.

Для фізичного представлення моделі використовується діаграма UML розгортання, відображається загальна топологія та конфігурація інформаційно-обчислювальної системи, а також розподіл за окремими вузлами компонентів. Вузлами діаграми інформаційно-обчислювальної системи є персональний комп'ютер користувача, сервер адміністратора. Вузли пов'язані суцільною лінією - наявність фізичного каналу обмінюватись інформацією, пунктирна лінія - вузли взаємодіють шляхом направлення різноманітних звернень та використання файлів обміну інформацією (рис. 6).

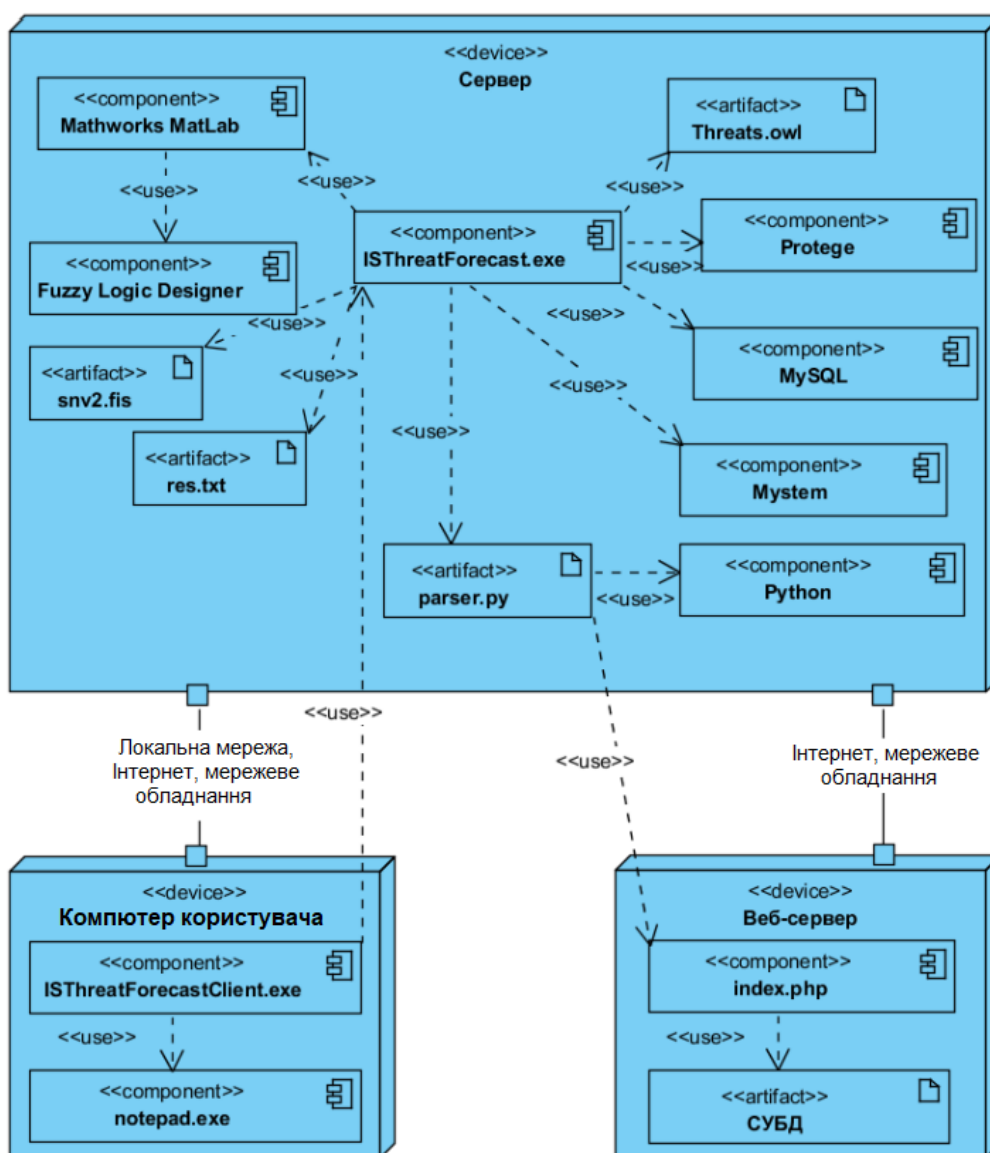


Рисунок 6 – Діаграма розгортання інформаційної системи

Інформаційно-аналітична система використовує онтологію інформаційної безпеки, побудовану на початковому етапі роботи системи, експертним шляхом на основі тезауруса. Розширення онтології здійснюється виявленням нових термінів у потоку текстових повідомлень хакерських термінів відповідно до запропонованих алгоритмів. Для реалізації онтології експертом використовується Protege, результат OWL-онтологія, яка завантажується до бази знань. Тематичні текстові повідомлення інтернет-ресурсів піддаються морфологічному аналізу з використанням Mystem, результати додаються до бази знань.

**Оцінка системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки.** Для оцінки ефективності та адекватності системи прогнозування вразливостей та загроз інформаційної безпеки, а також коректності роботи інформаційної системи, проведено експерименти, під час яких проводився аналіз потоку повідомлень форумів тематичних інтернет-ресурсів. В рамках експерименту проведені наступні дії [4,10,14,16,17]:

1. На основі тезауруса інформаційної безпеки, класифікацій вразливостей і загроз безпеки інформації, отриманої експериментальним шляхом, побудована онтологія вразливостей і загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних.

2. Сформовано набір правил логічних нечітких продукцій - відображають закономірності залежності кількості створюваних на форумі тематичних інтернет-ресурсів текстових повідомлень та середнього рейтингу авторів від ймовірності виникнення вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних. Запропоновано базу правил продукцій та визначено функції приналежності для інформаційної системи.

3. Здійснено збір текстових повідомлень, відібраних експертним шляхом тематичних форумів інтернет-ресурсів.

4. Результати отриманих ймовірностей виникнення вразливостей та загроз інформаційної безпеки співвіднесені зі значеннями кількості записів, включених до бази знань. Проведено розрахунки ефективності запропонованого алгоритму безпеки інформації.

5. Проведено обчислення показників кількості текстових повідомлень форумів тематичних інтернет-ресурсів, середнього рейтингу авторів повідомлень. Отримані результати використані в якості вхідних параметрів інформаційної системи логічного нечіткого виводу, обчисленні значення ймовірності виникнення загроз та вразливостей інформаційної безпеки;

6. Проведено статистичний та семантичний аналіз отриманих текстових повідомлень шляхом фільтрації даних, що не містять термінів заданої онтології інформаційної безпеки конфіденційних даних.

При вирішенні задачі оцінки якості прогнозування інформаційної системи, використовуються показники, що наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Показники якості прогнозування аналітичної системи

| №<br>п/п | Назва, формула, опис                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | <p><i>MAPE</i> – середня абсолютна процентна помилка системи прогнозування</p> $MAPE = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h \left  \frac{f_{T,i} - y_{T+i}}{y_{T+i}} \right  \cdot 100\%,$ <p>(1)</p> <p>де <math>h</math> - довжина інтервалу, на якому проводиться прогнозування загроз; <math>f_{T,i}</math> - прогнозне значення часового ряду, отримане в момент часу <math>T</math> на <math>i</math> кроків наперед; <math>y_{T+i}</math> - значення часового ряду в момент часу <math>T+i</math></p> |
| 2        | <p><i>MAE</i> - середня абсолютна помилка системи прогнозування:</p> $MAE = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^h  f_{T,i} - y_{T+i} ,$ <p>(2)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 3        | <p><i>RMSE</i> - квадратний корінь із середньої квадратичної помилки системи прогнозування:</p> $RMSE = \sqrt{\frac{1}{h} \sum_{i=1}^h (f_{T,i} - y_{T+i})^2},$ <p>(3)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

Для оцінки якості прогнозування загроз зручніше використання середньої абсолютної процентної помилки (*MAPE*), вимірюється у відсотках від значення прогнозованого показника. Показник може бути використаний для порівняння якості прогнозування загроз, систем побудованих із застосуванням різних моделей, також в якості прогнозування конкретних моделей, для яких визначено рівень помилки прогнозування критичний.

Для оцінки ефективності методу прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації на основі проведеного аналізу текстових повідомлень учасників тематичних форумів інтернет-ресурсів проведено експерименти з автоматизованого збору повідомлень інтернет-ресурсів. При обчисленні функцій приналежності вхідних параметрів використовувалися результати проведеного аналізу текстових повідомлень. На основі отриманих результатів із застосуванням запропонованого методу, проведено обчислювальні експерименти щодо формування логічного нечіткого виводу про виникнення вразливостей та загроз інформаційної безпеки конфіденційних даних.

Для оцінки отриманих результатів проведено розрахунки показників *MAPE*, *MAE*, *RMSE* (за формулами 1, 2, 3) для значень прогнозування інформаційно-аналітичної нечіткої системи про виникнення вразливостей та загроз безпеки інформації та кількості виявлених вразливостей та загроз, в період проведення аналізу, а також проведені розрахунки, згладжених часових рядів із інтервалом згладжування три та п'ять діб. Результати представлені у табл. 4.

Таблиця 4

Показники якості прогнозування загроз

| Показник        | Експериментальні дані | Згладжування з періодом 3 доби | Згладжування з періодом 5 діб |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| <i>MAPE</i> (%) | 94,21                 | 147,04                         | 119,73                        |
| <i>MAE</i> (%)  | 26,87                 | 17,82                          | 13,14                         |
| <i>RMSE</i> (%) | 17,14                 | 12,27                          | 10,01                         |

Проведено розрахунок показника точності прогнозування загроз  $\eta$ , для довірчих інтервалів 10, 15, 20%. Результати обчислень наведено у табл. 5.

$$\eta = \frac{p}{p+q}, \quad (4)$$

де  $p$  – число випадків прогнозування, які підтверджені фактичними даними;  $q$  – число випадків, які не знайшли фактичного підтвердження.

Таблиця 5

Показника точності прогнозування загроз

| Довірчий інтервал | Експериментальні дані | Згладжування з періодом 3 доби | Згладжування з періодом 5 діб |
|-------------------|-----------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 10%               | 0,517                 | 0,189                          | 0,114                         |
| 15%               | 0,554                 | 0,559                          | 0,482                         |
| 20%               | 0,683                 | 0,695                          | 0,696                         |

Наведені показники дозволяють зробити висновок, що результати прогнозування інформаційно-аналітичної нечіткої системи в більшості випадків підтверджуються даними бази знань вразливостей та загроз.

Таким чином, спеціаліст із інформаційної безпеки, на основі отриманих результатів прогнозування вразливості або загрози, може оцінити ступінь небезпеки інформаційних ресурсів організації та вжити відповідних заходів щодо нейтралізації загроз та вразливостей.

Покращення якості прогнозування виникнення вразливостей та загроз безпеки інформації з використанням систем логічного нечіткого виводу може сприяти збільшенню кількості вхідних змінних, використанню більш точних нечітких правил продукцій, також велике значення має визначення функцій приналежності вихідних та вхідних параметрів системи логічного нечіткого виводу, необхідно враховувати статистичні показники потоку текстових повідомлень форумів тематичних інтернет-ресурсів.

**Висновки.** Запропоновано структурну схему інформаційної системи для прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації. Для проведення логічного моделювання інформаційної системи побудовані UML-діаграми діяльності, послідовності дій, класів. Для фізичного моделювання системи розроблено UML-діаграми розгортання та компонентів.

Проведено аналіз систем нечіткого логічного виводу, сучасних засобів обробки великих об'ємів даних, засобів морфологічного аналізу тексту, редакторів онтологій.

Обґрунтовано можливість реалізації інформаційно-аналітичної системи прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації на основі аналізу текстових повідомлень тематичних інтернет-ресурсів з використанням наступних програмних продуктів: СКБД MySQL, редактора онтології – Protégé, системи нечіткого логічного виводу – Fuzzy Logic Designer, засобів морфологічного аналізу даних – Mystem.

Реалізований в інформаційно-аналітичній системі метод прогнозування вразливостей та загроз безпеки інформації на основі дослідження потоку даних тематичних ресурсів дозволяє автоматизувати інформаційний процес виявлення нових вразливостей, загроз, надає фахівцям інформаційної безпеки можливість оцінити своєчасно ступінь захищеності ресурсів та при необхідності вжити відповідних заходів щодо нейтралізації можливих загроз та вразливостей, тим самим підвищити інформаційну безпеку обчислювальних комп'ютерних систем від реалізації нових мережових комп'ютерних атак.

Для проведення оцінки отриманих результатів обчислення показники *MAPE*, *MAE*, *RMSE* для значень прогнозування виникнення вразливостей та загроз інформаційної безпеки, а також розраховані на їх основі згладжені часові рядки з періодом три і п'ять діб.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ленков, С.В. Метод прогнозування вразливостей інформаційної безпеки на основі аналізу даних тематичних інтернет-ресурсів / С.В. Ленков, В.М. Джулій, А.М. Берназ, І.В. Муляр, І.В. Пампуха // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2023. – Вип. №78. – С. 123-134.
2. Ленков, С.В. Метод протидії поширенню та виявлення шкідливої інформації в соціальних мережах / С.В. Ленков, В.М. Джулій, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2022. – Вип. №77. – С. 103-117.
3. Ленков, С.В. Модель безпеки поширення забороненої інформації в інформаційно-телекомунікаційних мережах / С.В. Ленков, В.М. Джулій, В.С. Орленко, О.В. Селюков, А.В. Атаманюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2020. – Вип. №68. – С. 53-64.
4. Джулій, В.М. Модель потоку текстових повідомлень тематичних інтернет-ресурсів системи прогнозування інформаційної безпеки / В. Джулій, Н. Петляк, Ю. Хмельницький, О. Пахар // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2022. – № 5. – С. 294-300.
5. Lienkov, S., Podlipaiev, V., Tolok, I., Lisitsky I., Lytvynenko, N., Kuznichenko, S. The Information and Analytical Using of Non-Structured Information Resources CEUR Workshop Proceedings this link is disabled, 2021, 3126, pp. 81–87.
6. Соціальні мережі – реальні загрози віртуального світу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ogo.ua/articles/view/011-02-23/26490.htm>.
7. Ленков, С.В. Методы и средства защиты информации. В 2-х томах / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко – К: Арий, 2008. – 464 с.
8. Остапов С. Е. Технології захисту інформації: навчальний посібник / С.Е. Остапов, С.П. Євсєєв, О.Г. Король – Харків : Вид-во ХНЕУ, 2016. – 476 с.

9. Ленков, С.В. Аналіз існуючих методів та алгоритмів виявлення атак в бездротових мережах передачі даних / С.В. Ленков, В.М. Джулій, Н.М. Берназ, С.О. Божук // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2017. – Вип. № 56. – С.124-132

10. Джулій, В.М. Інформаційно-ознакова модель шкідливої інформації в соціальних мережах/ І.В. Муляр, В.М. Джулій, В. М. Пічура, О.О Зацепіна – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах № 3 (2022), - 73–78 с.

11. Джулій, В.М., Кльоц Ю.П., Муляр І.В., Жилевич М.Л., Джулій А.В. Контроль додатків інтернет-трафіка комп'ютерних мереж методами машинного навчання. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2021. № 5. С. 22-26.

12. Джулій, В.М. Метод класифікації додатків трафіка комп'ютерних мереж на основі машинного навчання в умовах невизначеності / В.М. Джулій, О.В. Мірошніченко, Л.В. Солодєєва // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2022. – Вип. №74. – С. 73-82.

13. Лавров, Є. А. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрік – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.

14. Гончар С. Ф. Оцінювання ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури : монографія. / С. Ф. Гончар. – Київ, 2019. – 175 с.

15. Yemchuk L. Organizational Network Analysis as a Tool for Leadership Assessment in Software Development Team. Zhylynska O.; Chorny A.; Dzhuliy V. – Institute of Electrical and Electronics Engineers (30 September 2020); INSPEC Accession Number: 20008165; DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.

16. Сигнатура атаки. Wikipedia [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сигнатура\\_атаки](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сигнатура_атаки).

17. OPWNAI: Cybercriminals Starting to Use ChatGPT, January 6, 2023 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://research.checkpoint.com/2023/opwnai-cybercriminals-starting-to-usechatgpt>.

#### REFERENCES:

1. Lenkov, S.V.(2023), Metod prohnozuvannya vrazlyvostei informatsiinoi bezpeky na osnovi analizu danykh tematychnykh internet-resursiv / S.V. Lienkov, V.M. Dzhulii, A.M. Bernaz, I.V. Muliar, I.V. Pampukha // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU -. №78. – pp. 123-134.

2. Lenkov, S.V.(2022) Metod protydivi poshyrenniu ta vyivlennia shkidlyvoi informatsii v sotsialnykh merezhakh/ S.V. Lenkov, V.M. Dzhulii, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. №77. – pp. 103-117.

3. Lenkov, S.V. (2020), Model bezpeky poshyrennia zaboronenoї informatsii v informatsiino-telekomunikatsiinykh merezhakh / S.V. Lenkov, V.M. Dzhulii, V.S. ORLENKO, O.V. Sieliukov, A.V. Atamaniuk // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – №68. – pp. 53-64.

4. Dzhulii, V.M. (2022.), Model potoku tekstovykh povidomlen tematychnykh internet-resursiv systemy prohnozuvannya informatsiinoi bezpeky / V. Dzhulii, N. Petliak, Yu. Khmelnytskyi, O. Pakhar // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2022. – № 5. – pp. 294-300.

5. Lienkov, S., Podlipaiev, V., Tolok, I., Lisitsky I., .Lytvynenko, N., Kuznichenko, S. (2021). The Information and Analytical Using of Non-Structured Information Resources CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 3126, pp. 81–87.

6. Cotsialni merezhi – realni zahrozy virtualnoho svitu. [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu : <http://ogo.ua/articles/view/011-02-23/26490.htm>

7. Lenkov, S.V. (2008), Metodyy sredstva zashchyty ynformatsyy. V 2-kh tomakh / S.V. Lenkov, D.A. Perehudov, V.A. Khoroshko –K: Aryi–464 p.

8. Ostapov, S. E. (2016) Tekhnolohii zakhystu informatsii: navchalnyi posibnyk / S.E. Ostapov, S.P. Yevseiev, O.H. Korol–Kharkiv : Vyd-vo KhNEU. – 476 p.

9. Lenkov, S.V. (2017), Anallz Isnuyuchih metodiv ta algoritmiv viyavlennya atak v bezdrotoivh merezhah peredachi danih / S.V. Lenkov, V.M. Dzhuliy, N.M. Bernaz, S.O. Bozhuk // Zbirnik naukovih prats Viyskovogo Institutu Kiyivskogo natsionalnoho universitetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vip. No 56. – pp.124-132.

10. Dzhulii, V.M. (2022). Informatsiino-oznakova model shkidlyvoi informatsii v sotsialnykh merezhakh/ I.V. Muliar, V.M. Dzhulii, V. M. Pichura, O.O Zatsepina – Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh - pp. 373–78.
11. Dzhulii V.M., Klots Yu.P., Muliar I.V., Zhylevych M.L., Dzhulii A.V. (2021), Kontrol dodatkov internet-trafika kompiuternykh merezh metodamy mashynnoho navchannia. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – Khmelnytskyi. – No 5. – pp. 22–26.
12. Dzhulii, V.M. (2022), Metod klasyfikatsii dodatkov trafika kompiuternykh merezh na osnovi mashynnoho navchannia v umovakh nevyznachenosti / V.M. Dzhulii, O.V. Miroschnichenko, L.V. Solodieieva // Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. – K.: VIKNU. – Vyp. No 74. – pp. 73-82.
13. Lavrov, Ye. A. (2017.), Matematychni metody doslidzhennia operatsii : pidruchnyk / Ye. A. Lavrov, L. P. Perkhun, V. V. Shendryk – Sumy : Sumskyi derzhavnyi universytet, – 212 p.
14. Informatsiino-komunikatyvni tekhnolohii v humanitarnii sferi Zbroinykh Syl Ukrainy: dosvid, problemy, perspektyvy: Pidruchnyk. – Kyiv: NAOU, 2007.
15. Yemchuk L. Organizational Network Analysis as a Tool for Leadership Assessment in Software Development Team. Zhylinska O.; Chornyi A.; Dzhuliy V. – Institute of Electrical and Electronics Engineers (30 September 2020); INSPEC Accession Number: 20008165; DOI: 10.1109/ACIT49673.2020.
16. Syhnatura ataky. Wikipedia [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Syhnatura\\_ataky](https://uk.wikipedia.org/wiki/Syhnatura_ataky).
17. OPWNAI: Cybercriminals Starting to Use ChatGPT, January 6, 2023 [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu do resursu: <https://research.checkpoint.com/2023/opwnai-cybercriminals-starting-to-usechatgpt>.

D.Sci.Tech., prof. **Lienkov S.V.**, Ph.D. **Dzhuliy V.M.**  
Ph.D. **Miroschnichenko O.V.**, Ph.D. **Brayn V.O.**, **Prokhorskyi S.I.**

## INFORMATION AND ANALYTICAL FORECASTING SYSTEMS INFORMATION SECURITY VULNERABILITIES AND THREATS

*The paper proposes a block diagram of an information-analytical system for predicting vulnerabilities and threats to information security. The analysis of the conducted research allows us to conclude that in order to solve the problem of research and development of an information-analytical fuzzy system for a logical fuzzy conclusion about the emergence of vulnerabilities and threats to information security, automating the analysis of the message flow of thematic Internet resources, it is advisable to use expert forecasting systems. To solve the problems of predicting vulnerabilities and threats to information security of confidential data based on the flow of thematic messages of Internet resources using the proposed algorithms and method, hybrid-type expert forecasting systems designed for use on general-purpose information and computer technology can be used.*

*The algorithm for predicting vulnerabilities and threats to information security implemented in the information and analytical system based on the analysis of the data flow of thematic Internet resources allows automating the information process of detecting new vulnerabilities and threats, provides information security specialists with the opportunity to assess the degree of security of resources in a timely manner and, if necessary, take appropriate measures for neutralization possible threats and vulnerabilities, thereby increasing the information security of computing computer systems against the implementation of new network computer attacks. An analysis of fuzzy logical inference systems, modern tools for processing large volumes of data, tools for morphological text analysis, and ontology editors was conducted. UML diagrams of activities, sequences of actions, and classes were built to carry out logical modeling of the information system for forecasting vulnerabilities and threats to information security. For the physical modeling of the system, UML-diagrams of deployment and components have been developed. The possibility of implementing an information-analytical system for predicting vulnerabilities and threats to information security based on the analysis of text messages of thematic Internet resources using the following software products is substantiated: DBMS MySQL, ontology editor - Protégé, fuzzy logic inference system - Fuzzy Logic Designer, morphological data analysis tools - Mystem. To evaluate the obtained results, the indicators MAPE, MAE, RMSE for the values of forecasting the occurrence of vulnerabilities and information security threats, as well as smoothed time series calculated on their basis with a period of three and five.*

*Key words: information security, thematic Internet resources, social networks, sources of messages, vulnerabilities, attacks, information system.*

## НЕЧІТКА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДЛЯ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ ТОРГОВЕЛЬНО-РОЗВАЖАЛЬНОГО ЦЕНТРУ

*У статті подано етапи розробки нечіткої експертної системи для оператора теплового пункту торгово-розважального центру. Показано принцип роботи системи повітряного опалення ТРЦ, що реалізується за допомогою комп'ютерно-інтегрованого керування зі SCADA – системою. Для ефективної роботи системи управління температурою повітря у різних зонах ТРЦ розроблено функції належності зон комфорту з погляду відвідувачів та вимог санітарних норм. Вказано, що типові регулятори стабілізації температури повітря не завжди можуть забезпечити заданий режим через вплив великої кількості неконтрольованих збурень на систему управління. У такому випадку за відсутності додаткових блоків адаптації алгоритмів керування доцільним ставати дистанційне керування оператором за допомогою мнемосхеми процесу вентиляції. І для підвищення ефективності процесу дистанційного регулювання тепловим устаткуванням запропоновано експертну систему, що реалізує алгоритм І. Мамдані, з управління клапанами витрати теплоносія. Контролер отримує інформацію від датчиків температури зовнішнього повітря та повітря в зоні контролю ТРЦ. Після обробки сигналів від датчиків контролер передає інформацію на комп'ютер з експертною системою. Залежно від значень температури та пори року програма розраховує оптимальне положення клапана (у відсотках ходу) витрати теплоносія та рекомендує встановити його оператору.*

*Також, показано, що у процесі розробки нечіткої експертної системи рекомендується обирати гаусівський тип функцій належності; мінімальна кількість терм – множин – три функції належності; вагові коефіцієнти кожного правила в базі знань однакові та дорівнюють 100; метод дефазифікації – метод центру тяжіння. Вказано, що введення експертних порад операторам також може призвести до зниження часу реакції на позаштатні ситуації до 90% підвищення надійності роботи обладнання загалом.*

**Ключові слова:** Нечітка експертна система, температура повітря, повітряне опалювання, оператор

**Вступ.** Мікроклімат у торгово – розважальному центрі (ТРЦ) має бути таким, щоб відвідувачеві було комфортно. На практиці існує пряма залежність між комфортністю торгового центру та купівельною активністю його відвідувачів. Чим комфортніше покупцеві в торговому центрі, тим довше він перебуватиме в ньому і тим частіше він його відвідуватиме. Тому одним із важливих факторів, що впливають на ефективність діяльності торгово-розважального центру, є його оснащення сучасними системами вентиляції та кондиціонування, що створюють комфортний мікроклімат в окремих зонах та у приміщеннях ТРЦ [1].

У системах повітряного опалення великих промислових будівель, фітнес та торгових центрів широко поширене використання групи припливних систем, що працюють у режимі підтримки температури повітря, яке надходить до приміщення. Контроль температури повітря у приміщеннях торгового центру здійснюється, як правило, за допомогою системи автоматизованого керування (САК). При цьому головним елементом такої САК є регулятор температури, що реалізує, як правило, типовий (ПІД) закон управління. Як правило, типовий регулятор отримує інформацію від групи датчиків температури повітря встановлених у приміщеннях (термометрів опору) і у разі відхилення температури в зоні контролю від заданої, виробляє керуючий вплив на клапан що регулює витрати теплоносія. Відхилення температури від заданої може становити кілька градусів.

Відповідно до планування та призначення приміщень, параметри повітря в приміщеннях ТЦ відрізняються, також відрізняються і системи підтримки мікроклімату в них. Кліматичне обладнання може керуватися за допомогою індивідуального пульта управління, на якому, залежно від сезону, виставляється температура повітря, швидкість вентилятора, температура повітря припливу та інші параметри.

Крім безпосереднього управління кожним окремим обладнанням, що формує клімат в окремих зонах торгового центру та його приміщеннях за допомогою індивідуального пульта управління, необхідно передбачити єдину комплексну систему управління для вентиляційних установок, обладнання кондиціювання повітря, терморегуляторів, теплої підлоги, котлів та кімнатних радіаторів. Такий комплексний підхід до інженерних систем гарантує цілісність та узгодженість роботи цих систем [2].

Для налаштування синхронної роботи систем мікроклімату в торгових центрах необхідно передбачити системи автоматизації обладнання опалення, вентиляції та кондиціювання та їх диспетчеризації. Зміна температури припливу на припливно-витяжних системах в залежності від сезону та оптимізація роботи холодильного обладнання в цьому випадку здійснюється за допомогою центрального контролера (регулятора).

Можна відзначити, що на САК температури впливає велика кількість неконтрольованих збурень, таких як: зміни температури та вологості зовнішнього повітря, швидкість вітру, сонячна активність, кількість відвідувачів, наявність продуктових магазинів і т.д. У такому разі, у різних приміщеннях торгового центру відхилення температури від заданої (оптимальних умов мікроклімату в приміщеннях торгового центру приймається температура  $+23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) [3]) може суттєво відхилитися. І якщо типовий регулятор не оснащений додатковим алгоритмом адаптивного керування, то функцію корекції температури здійснює оператор диспетчерського пункту за допомогою комп'ютерного керування, реалізованого на мнемосхемі SCADA – системи [4]. І для допомоги оператору в реалізації оптимального впливу, що управляє технічним обладнанням системи клімат-контролю, і зниження помилкових дій при дистанційному куруванні і встановленню заданих температур в приміщеннях ТРЦ, доцільно запропонувати експертну систему.

**Аналіз останніх досліджень та постановка задач.** Відомо, що експертна система (ЕС) – це комп'ютерна система, архітектура якої дозволяє автоматизувати достовірні міркування людини – експерта у конкретній предметній галузі [5]. Існує безліч наукових напрямів у галузі розробки ЕС [6-9]. При цьому для завдань управління технічними об'єктами найбільш прийнятним, з погляду авторів, за ознакою «спосіб уявлення знань» є продукційні системи, у яких знання представлені у вигляді набору правил виду: **ЯКЩО** умови **ТО** дії.

При цьому добре відомо, що досвідченому експерту – оператору зручно передавати свої знання чи ділитися рекомендаціями у формі словесних інструкцій (лінгвістичних змінних). Таким чином, для реалізації досвіду оператора диспетчерського пункту ТРЦ застосовується підхід теорії нечіткої логіки, вперше запропонований Л. Заде [10]. Нечітка експертна система буде використовувати подання знань у вигляді лінгвістичних змінних і нечітких правил, а також алгоритм нечіткого висновку. При цьому базовими компонентами архітектури системи нечіткого управління є: блоки фазифікації та дефазифікації, база правил та механізм (алгоритм) нечіткого виведення І. Мамдані [9].

**Опис технологічного процесу.** Спрощена функціональна схема системи керувангруппою припливних вентиляційних камер представлена на рис. 1. У цій схемі група повітряпідігрівальних установок припливних камер ПК1-ПКп, з'єднаних паралельно по теплоносію, пов'язана з вузлом підготовки теплоносія, що складається з насосів Н1 та Н2 (один резервний), зворотного клапана К1, регулюючого клапана К2 та регулятора тиску Р. На зворотному трубопроводі перед вузлом підготовки встановлено реле протоки теплоносія РПТ.

Виконавчий механізм клапана К2 електрично пов'язаний з регулятором ТС, на входи якого приєднані датчики температури  $D_1$  (ТЕ) у приміщеннях ТРЦ та датчик температури зовнішнього повітря  $D_n$  (ТЕ). Розроблена система забезпечує керування групою припливних камер у ручному та автоматичному режимах. У ручному режимі управління система дозволяє

запустити та зупинити двигун вентилятора будь-якої припливної камери ПК1-ПКп, запустити у відповідному напрямку та зупинити виконавчий механізм регулюючого клапана K2; запустити у відповідному напрямку та зупинити виконавчі механізми будь-якого повітряного клапана. У режимі автоматичного керування система дозволяє здійснити програмний запуск та вимкнення припливних камер ПК1-ПК, автоматична підтримка заданої температури повітря на виході з припливних камер; контроль температури теплоносія на виході з калорифера, температури та швидкості повітря на виході із припливних камер із сигналізацією аварійного режиму.

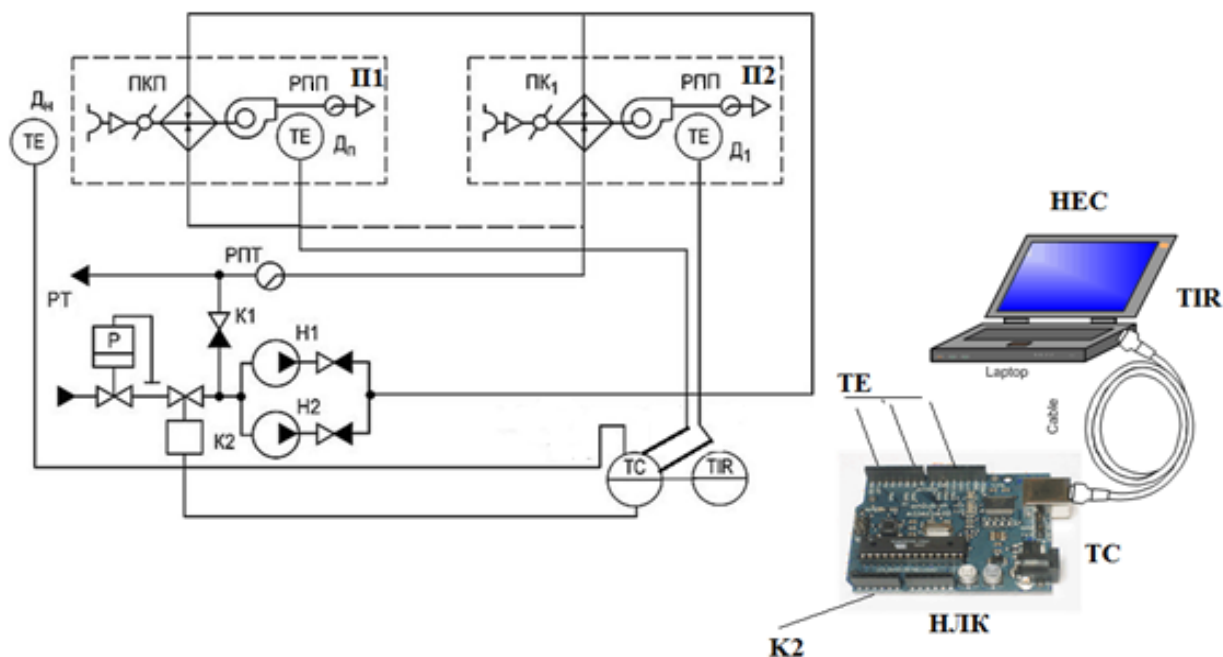


Рисунок 1 – Функціональна схема керування групою припливних камер:

ТЕ – датчики температури; НЛК (TC) – логічний контролер; HEC – експертна система; TIR – комп'ютер з SCADA

Увімкнення системи та вибір режиму «Ручний-Автомат» здійснюється з дистанційного щита або з комп'ютера з SCADA - системою. Після 5-хвилинного прогрівання калориферів автоматично вмикаються електродвигуни вентиляторів та відкриваються повітряні приймальні клапани. Після повного відкриття спрацьовують кінцеві мікроперемикачі, підключаючи до роботи ланцюга сигналізації та контролю припливних камер. За відсутності або зниження витрати теплоносія спрацьовує реле РПТ і знеструмлює проміжне реле, яке, у свою чергу, розмикає контакти для живлення магнітних пускачів вентиляторів.

Вимкнення системи автоматичного керування здійснюється також із дистанційного щита або комп'ютера. При цьому знеструмлюються магнітні пускачі насоса та електродвигунів вентиляторів, закриваються повітряні приймальні клапани та клапан K2 на теплоносії.

**Розробка функцій належності зон комфорту ТРЦ.** Змодельємо систему керування повітряним опаленням приміщення з погляду оператора при роботі у режимі дистанційного керування тепловим пунктом ТРЦ. Як вхідні дані системи виступають значення: температура повітря зовнішнього (навколишнього) середовища та температура повітря приміщення (зал ТРЦ). Як вихідні параметри системи буде відсоток відкриття вентиля (клапана K2) приладу обігрівача для регулювання витрати теплоносія (див. рис.1).

Для відповідності температурним параметрам відповідно до санітарних норм та приміщень різного призначення в ТРЦ використовувався апарат нечітких множин [10]. Рівень прийнятого комфорту (діапазон 20-25.5°C) представлений у вигляді функції належності (ФП) за вимогами нормативних документів та побажань відвідувачів ТРЦ (рис.2). Для рівня

підвищеного комфорту (ресторани, кінотеатри і т.д.) та прийнятної (спортивний та ігровий зали) над значеннями функції належності проведено логічні операції концентрації (зведення у квадрат значень ступенів істинності ФП звичайного комфорту (див. рис.2)) та розмивання (вилучення квадратного кореня значень ступенем істинності ФП).

Для отримання ФП написано програмний продукт мовою програмування C# в середовищі програмування Visual Studio 2022 використовуючи шаблон Додаток Windows Forms (.NET Framework).

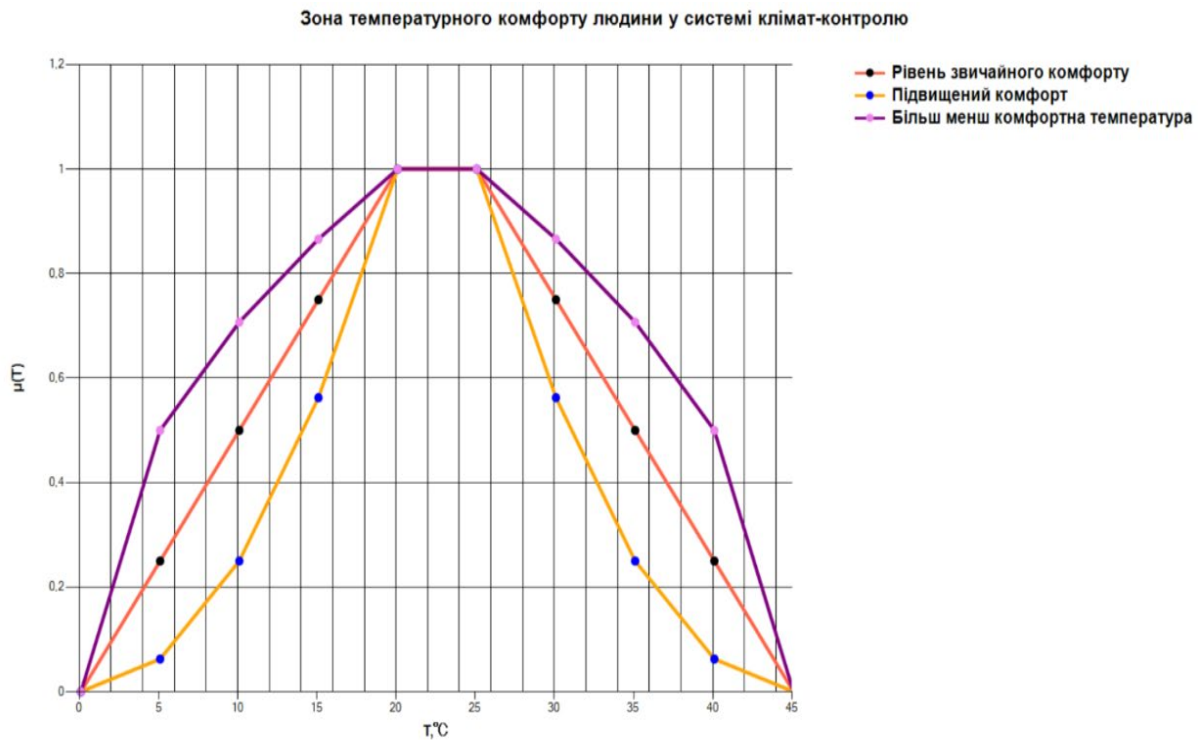


Рисунок 2 – Функції належності температури повітря в приміщеннях ТРЦ

Можна бачити (див.рис.2), що перший графік жовтого кольору «рівень підвищеного комфорту» визначає найкращу температуру для зон кафе та ресторанів. Другий графік червоного кольору - «рівень звичайного комфорту» виділяє більш виразно прийнятну температуру для зон магазинів. Третій графік фіолетового кольору «більш-менш комфортна температура» виділяє температуру для зон заняття спортом. Це функції можливо використовувати для подальший розробки нечітких експертних систем управління температурою повітря по зонах ТРЦ.

**Розробка нечіткої експертної системи (НЕС).** Розробимо програму для нечіткої системи порад оператору системою повітряного опалення ТРЦ. Розробка НЕС здійснена у програмному середовищі Fuzzy TECH [11].

Хід етапів створення НЕС у програмі Fuzzy TECH:

1) Спочатку розробляється база знань або правил по ручному куруванню обладнанням вентиляції. На погляд експерта – оператора база знань має наступний вид:

Опишемо всі експертно-створені правила у вигляді наступних виразів:

Правило 1. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні низька", ТО "становище вентиля відкрито високе".

Правило 2. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні середня", ТО "становище вентиля відкрито високе".

Правило 3. ЯКЩО "температура повітря в приміщенні низька" І "температура повітря зовні висока", ТО "становище вентиля середнє".

Правило 4. Якщо «температура повітря в приміщенні середня» та «температура повітря зовні низька», то «становище вентиля середнє».

Правило 5. ЯКЩО «температура повітря в приміщенні середня» та «температура повітря зовні середня», ТО «становище вентиля середнє».

Правило 6. ЯКЩО «температура повітря в приміщенні середня» І «температура повітря зовні висока», ТО «положення вентиля низьке».

Правило 7. Якщо «температура повітря в приміщенні висока» та «температура повітря зовні низька», то «становище вентиля низьке».

Правило 8. Якщо «температура повітря в приміщенні висока» та «температура повітря зовні середня», то «становище вентиля низьке».

Правило 9. ЯКЩО «температура повітря у приміщенні висока» І «температура повітря зовні висока», ТО «положення вентиля низьке».

Другий етап.

2) Створимо вищеописані параметри (змінні) системи та задамо діапазони вимірювань даних для вхідних та вихідних змінних. А також скоригуємо функції належності власності цих змінних.

Для вхідних лінгвістичних змінних (рис.3):

1) Лінгвістична змінна "Air\_Temperature\_Inside":

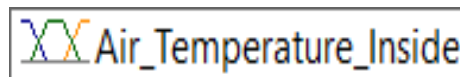


Рисунок 3 – Змінна температура повітря в середині приміщення у програмі Fuzzy TECH

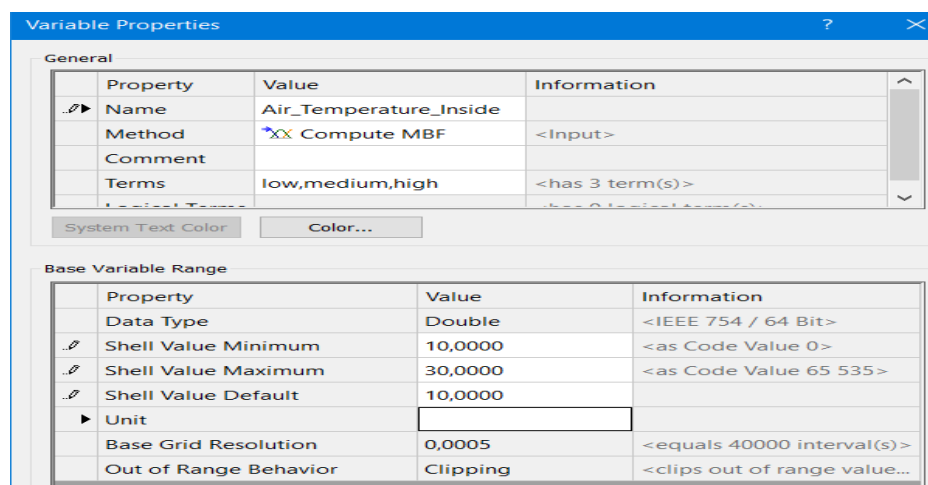


Рисунок 4 – Налаштування параметрів змінної температури повітря в середині приміщення ТРЦ

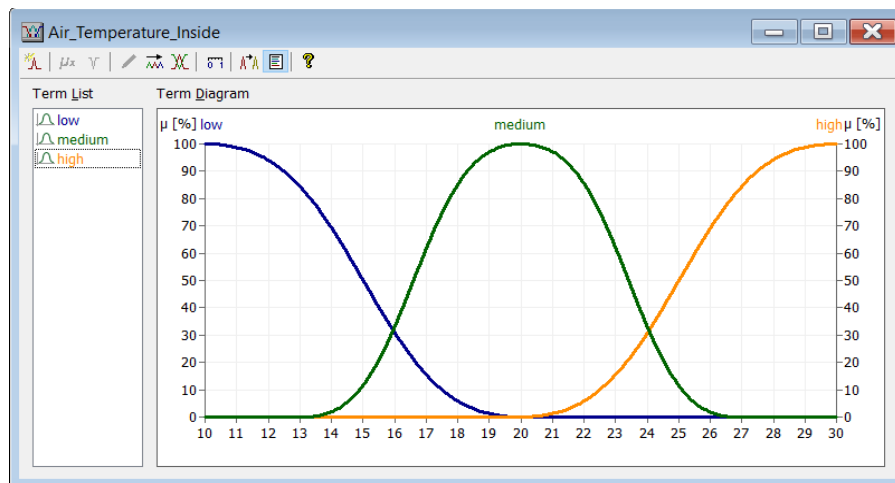


Рисунок 5 – Функції належності змінної температури повітря усередині (Мала, Середня, Висока) приміщення та змінна "Air\_Temperature\_Outside":

 Air\_Temperature\_Outsi...

Рисунок 6 – Змінна температура температури зовнішнього повітряу програмі Fuzzy TECH

| Variable Properties             |                         |                               |  |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| <b>General</b>                  |                         |                               |  |
| Property                        | Value                   | Information                   |  |
| Name                            | Air_Temperature_Outside |                               |  |
| Method                          | *XX Compute MBF         | <Input>                       |  |
| Comment                         |                         |                               |  |
| Terms                           | low,medium,high         | <has 3 term(s)>               |  |
| System Text Color      Color... |                         |                               |  |
| <b>Base Variable Range</b>      |                         |                               |  |
| Property                        | Value                   | Information                   |  |
| Data Type                       | Double                  | <IEEE 754 / 64 Bit>           |  |
| Shell Value Minimum             | -15,0000                | <as Code Value 0>             |  |
| Shell Value Maximum             | 15,0000                 | <as Code Value 65 535>        |  |
| Shell Value Default             | 0,0000                  |                               |  |
| Unit                            |                         |                               |  |
| Base Grid Resolution            | 0,0005                  | <equals 60000 interval(s)>    |  |
| Out of Range Behavior           | Clipping                | <clips out of range value...> |  |

Рисунок 7 – Налаштування параметрів змінної температури зовнішнього повітря

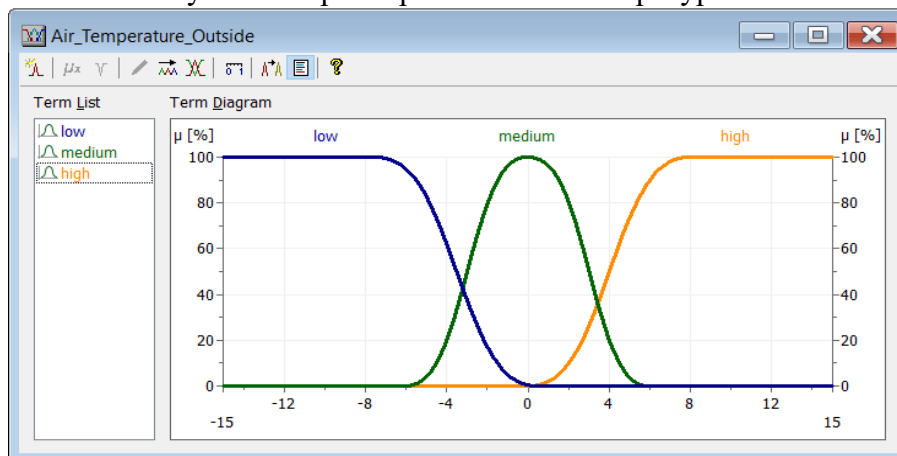


Рисунок 8 – Функції належності змінної температури зовнішнього повітря (Мала, Середня, Висока)

Для вихідних змінних:  
Змінна "Heater\_Valve\_Position":

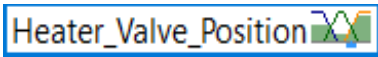


Рисунок 9 – Змінна положення вентиля обігрівача у програми Fuzzy TECH

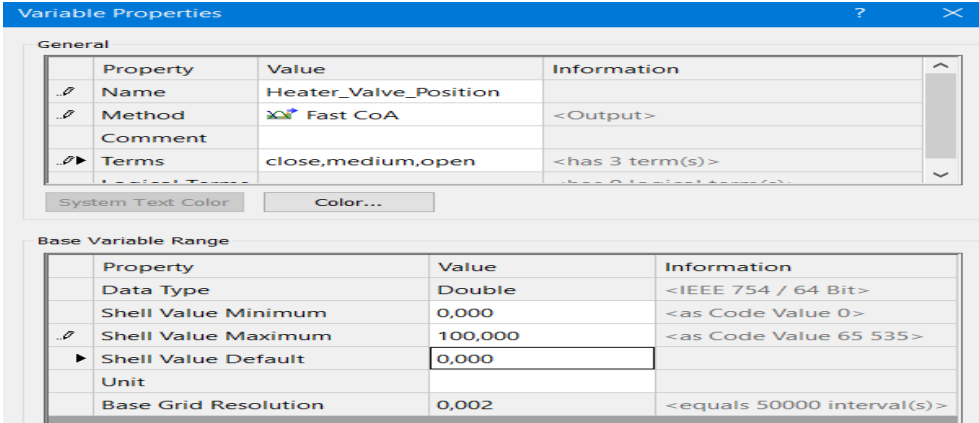


Рисунок 10 – Налаштування параметрів змінної положення вентиля обігрівача

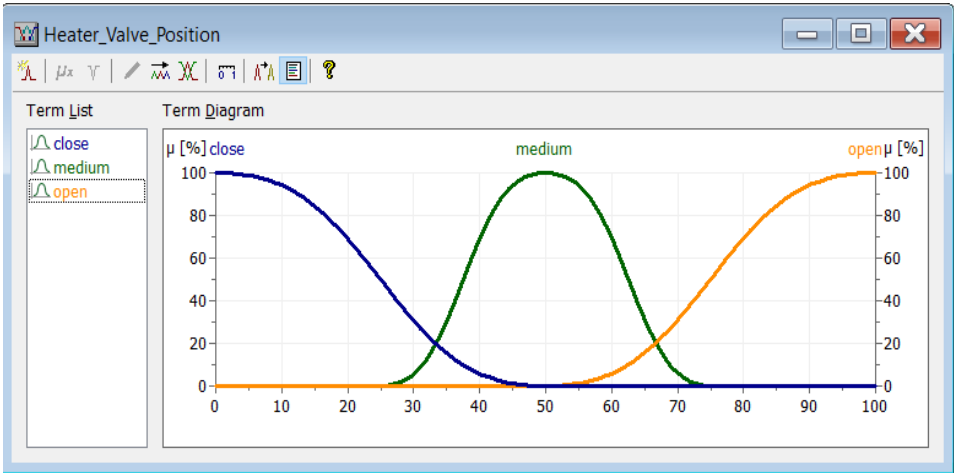


Рисунок 11 – Функції належності змінної положення вентиля обігрівача (Мале, Середнє, Високе)

Наступним кроком, коли всі змінні визначені та налаштовані, створимо базу правил, на основі якої буде працювати наша нечітка система:

|                         |                       |   |   |     |
|-------------------------|-----------------------|---|---|-----|
| L1                      | RB1                   |   |   | B1  |
| Air_Temperature_Inside  | Heater_Valve_Position |   |   |     |
| Air_Temperature_Outside |                       |   |   |     |
| Min                     | 9                     | - | - | Max |

Рисунок 12 – Графічний елемент основи правил на принциповій схемі

| Rule Blocks |          |                               |                                |           |                              |       |       |                          |        |
|-------------|----------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|------------------------------|-------|-------|--------------------------|--------|
| RB1         |          |                               |                                |           |                              |       |       |                          |        |
|             | Na...    | If                            | And                            | Operators | Then                         | Wi... | Co... | Audit                    | GUID   |
| ▶           | B1 RB1   | 1                             | 2                              | Min / Max |                              |       |       | 2023-05-15 13:04:35 Vlad | 161CD9 |
| ⌵           | B1.G1    | Air_Temperature_Inside        | Air_Temperature_Outside        |           | Heater_Valve_Position        | DoS   |       | 2023-05-15 13:04:35 Vlad | D5E91E |
| ⌵           | B1.G1.R1 | Air_Temperature_Inside.Low    | Air_Temperature_Outside.Low    | =>        | Heater_Valve_Position.open   | 100   |       | 2023-05-15 12:47:55 Vlad | 878104 |
| ⌵           | B1.G1.R2 | Air_Temperature_Inside.Low    | Air_Temperature_Outside.medium | =>        | Heater_Valve_Position.open   | 100   |       | 2023-05-15 13:03:14 Vlad | EC05D1 |
| ⌵           | B1.G1.R3 | Air_Temperature_Inside.Low    | Air_Temperature_Outside.high   | =>        | Heater_Valve_Position.medium | 100   |       | 2023-05-15 13:03:25 Vlad | 09DBA1 |
| ⌵           | B1.G1.R4 | Air_Temperature_Inside.medium | Air_Temperature_Outside.Low    | =>        | Heater_Valve_Position.medium | 100   |       | 2023-05-15 13:03:41 Vlad | 7306F5 |
| ⌵           | B1.G1.R5 | Air_Temperature_Inside.medium | Air_Temperature_Outside.medium | =>        | Heater_Valve_Position.medium | 100   |       | 2023-05-15 13:03:59 Vlad | FF2212 |
| ⌵           | B1.G1.R6 | Air_Temperature_Inside.medium | Air_Temperature_Outside.high   | =>        | Heater_Valve_Position.close  | 100   |       | 2023-05-15 13:04:07 Vlad | 1B6550 |
| ⌵           | B1.G1.R7 | Air_Temperature_Inside.high   | Air_Temperature_Outside.Low    | =>        | Heater_Valve_Position.close  | 100   |       | 2023-05-15 13:04:16 Vlad | BE8E50 |
| ⌵           | B1.G1.R8 | Air_Temperature_Inside.high   | Air_Temperature_Outside.medium | =>        | Heater_Valve_Position.close  | 100   |       | 2023-05-15 13:04:27 Vlad | 39C5BE |
| ⌵           | B1.G1.R9 | Air_Temperature_Inside.high   | Air_Temperature_Outside.high   | =>        | Heater_Valve_Position.close  | 100   |       | 2023-05-15 13:04:35 Vlad | 6B14D9 |

Рисунок 13 – Безпосередньо сама база правил системи у вигляді логічних виразів

4) Наступним етапом побудови НЕС є загальний вигляд розробленої системи та структурні зв'язки її елементів:

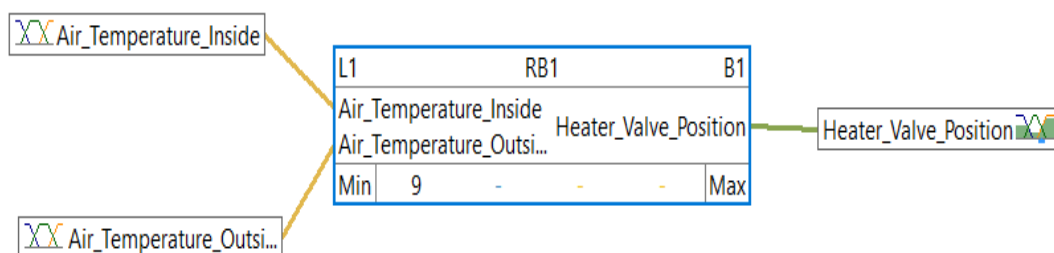


Рисунок 14 – Структурна схема нечіткої експертної системи (НЕС) у програми Fuzzy TECH

Видно три змінні і база правил які пов'язані між собою.

5) Запустимо програму і проаналізуємо отримані результати системи при деяких довільних заданих значеннях.

Нехай поставимо змінній температури повітря зовнішнього середовища та змінній температури повітря всередині приміщення ТРЦ значення: 7 °C і 25 °C відповідно. Тоді система порекомендує оператору встановити вентиль обігрівального пристрою на зразкове значення ~13 відсотків від максимального робочого ходу:

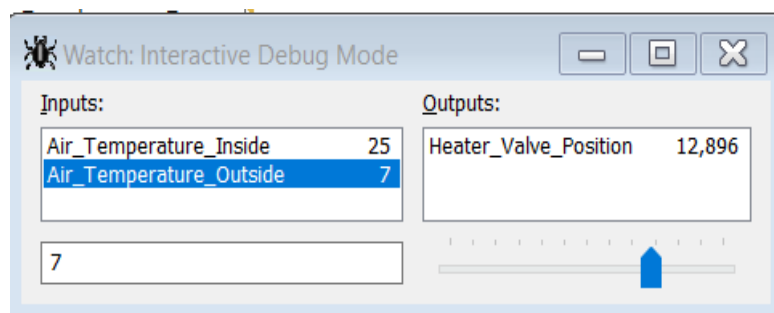


Рисунок 15 – Результати рекомендації НЕС на основі перших вхідних даних

Змінимо значення вхідних даних на значення 15 °С та -11 °С (відповідно температура повітря всередині приміщення та температура повітря зовні) та подивимося результати нечіткої системи:

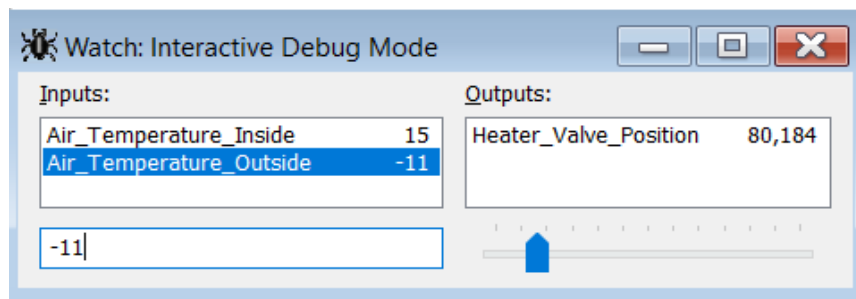


Рисунок 16 – Результати рекомендації системи з урахуванням других вхідних даних

Додатково, для наочності, продемонструємо графічну інтерпретацію залежності у вигляді тривимірної графіки:

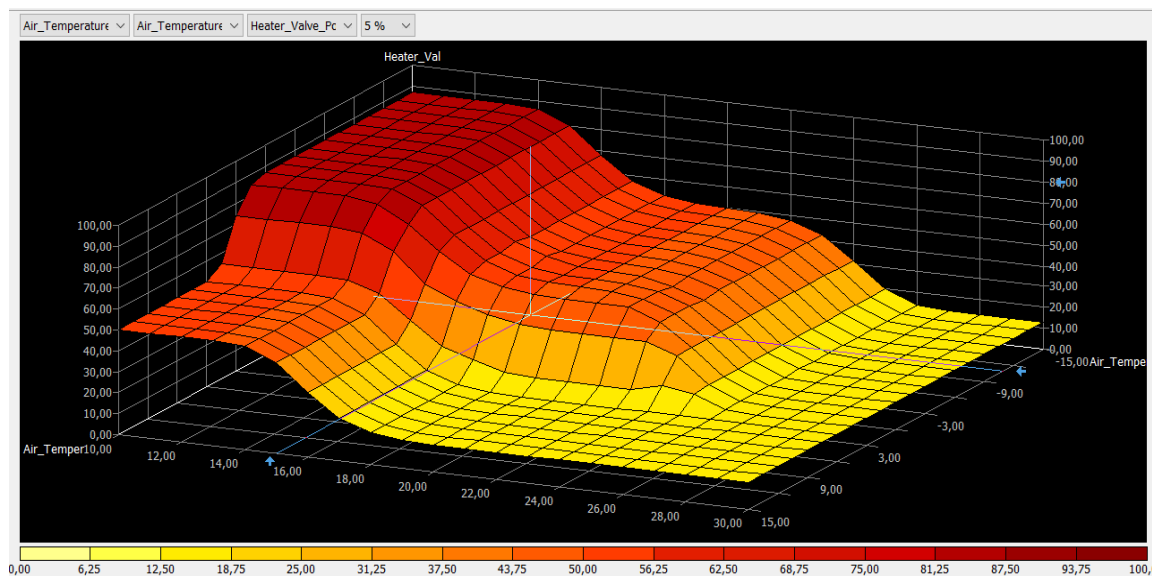


Рисунок 17 – Графічна тривимірна інтерпретація

До функцій комп'ютерно-інтегрованої САК температурою повітря ТРЦ також можна віднести:

- безперервний моніторинг стану системи вентиляції;
- контроль та управління системою вентиляції;
- безперервне відображення даних;
- оповіщення про аварії, нештатні ситуації;
- архівування даних у СУБД;
- надання даних користувачам через Інтернет.
- робота разом з системою пожежогасіння.

Після отримання поради від НЕС, оператор ТРЦ за допомогою мнемосхеми SCADA – системи (рис.18) змінює положення клапана гарячій води до 82,5 %, з метою збільшення температури повітря в спортивному залі до 20 °С.

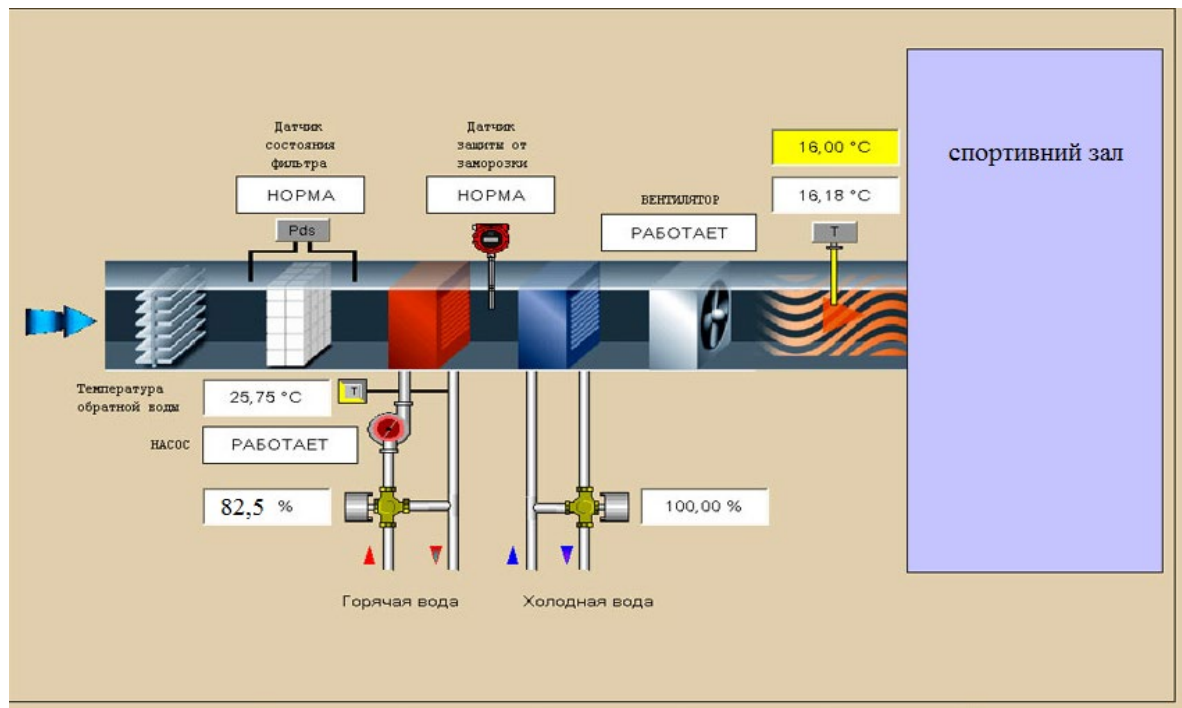


Рисунок 18 – Мнемосхема процесу повітряного опалення спортивного залу фітнес-клуба ТРЦ

**Висновки.** У роботі було побудовано нечітку експертну систему клімат- контролю для порад оператору ТРЦ. У НЕС використовувалось два вхідних параметра: температура зовнішнього середовища та температура внутрішнього середовища, та один вихідний – положення клапана.

Як можна бачити за результатами імітаційного моделювання, НЕС працює коректно та виконує поставлені завдання по зміні положення регулюючого клапана. Virішена задача, полягає в підвищенні ефективності засобів управління системою припливної вентиляції та підтримки оптимальній температури повітря в різних зонах ТРЦ згідно рекомендації санітарних стандартів та вподобань відвідувачів.

В процесі розробки НЕС встановлено, що для отримання правильних рішень по вибору керуючого впливу рекомендується:

- використовувати алгоритм І. Мамдані;
- у процесі фазифікації вхідних і вихідних змінних - використовувати гаусівський тип функцій власності;
- мінімальна кількість терм – множин – три функції належності;
- вагові коефіцієнти кожного правила в базі знань однакові та дорівнюють 100;
- метод дефазифікації – метод центру тяжкості.

По даним компаній розробників САУ систем клімат – контролю [12], впровадження SCADA – систем з функцію експертних порад операторам також може привести до зниження часу реакції на позаштатні ситуації до 90%; зниження збитків від позаштатних ситуацій на 50%; зниження зносу обладнання на 15% та підвищення рівня комфорту у приміщеннях ТРЦ.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Опалення торгових центрів [Електронний ресурс] Климатические системы. Режим доступу до ресурсу: <https://ovk-group.com/tipovye-proekty/torgovye-centry/otoplenie/>.
2. Соловей Д. Повітряне опалення: принцип роботи, плюси та мінуси системи [Електронний ресурс] 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://alterair.ua/stati/vozdushnoe-otoplenie-printsip-primenenie/>.

3. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 [Електронний ресурс] Документ va042282-99, 1999. Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>.
4. Швидкість реакції оператора і підвищення ефективності з iFIX [Електронний ресурс] DIGITAP, 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://digitap.com.ua/company-products/hmi-scada-ifix/>.
5. Кацадзе Т. Л. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: навч. посіб. / Т. Л. Кацадзе. К.: ЛОГОС, 2014. 173 с.
6. Bolloju, N. et al. A knowledge-based system for improving the consistency between object models and use case narratives / Expert Systems with Applications. 2019. vol. 39, pp. 9398-9410.
7. Tripathi, K. A Review on Knowledge-based Expert System: Concept and Architecture / Artificial Intelligence Technique. 2017.
8. Shiue, W. et al. A frame knowledge system for managing financial decision knowledge / Expert Systems with Applications. 2020. vol. 35, pp. 1068-1079.
9. Mamdani, E. H. Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant / Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci. 1974. vol. 121. pp. 1585 – 1588.
10. Zadeh, L. A. Fuzzy sets / Information and Control. 1965. №8. pp. 338 – 353.
11. fuzzyTECH [Електронний ресурс]. 2023. Режим доступу до ресурсу: <https://www.fuzzytech.com>.
12. Автоматизированная система управления вентиляцией [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <http://datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej>.

#### REFERENCES:

1. “Opalennyya torhovykh tsentriv” [Heating of shopping centers] Climate systems. [www.ovk-group.com/tipovye-proekty/torgovye-centry/otoplenie/](http://www.ovk-group.com/tipovye-proekty/torgovye-centry/otoplenie/).
2. Solovei, D. (2023), “Povitryane opalennyya: pryntsyp roboty, plyusy ta minusy systemy” [Air heating: principle of operation, pros and cons of the system], [www.alterair.ua/statyi/vozdushnoe-otoplenie-printsip-primenenie/](http://www.alterair.ua/statyi/vozdushnoe-otoplenie-printsip-primenenie/).
3. Sanitarni normy mikroklimatu vyrobnychych prymishchen' DSN 3.3.6.042-99 9. (1999), [Sanitary norms of the microclimate of industrial premises DSN 3.3.6.042-99] Document va042282-99, [www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text](http://www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text).
4. Shvydkist' reaktsiyi operatora i pidvyshchennyya efektyvnosti z iFIX. (2023), [Speed of operator response and increased efficiency with iFIX] [www.digitap.com.ua/company-products/hmi-scada-ifix/](http://www.digitap.com.ua/company-products/hmi-scada-ifix/).
5. Katsadze, T. L. (2014), “Ekspertni systemy pryynyattya rishen' v enerhetytsi: navchal'nyy posibnyk” [Expert decision-making systems in energy: a study guide], K.: LOGOS,. 173 p.
6. Bolloju, N. et al. (2019) “A knowledge-based system for improving the consistency between object models and use case narratives” Expert Systems with Applications, vol. 39, pp. 9398-9410.
7. Tripathi, K. A. (2017) “Review on Knowledge-based Expert System: Concept and Architecture” Artificial Intelligence Technique.
8. Shiue, W. et al. (2020) “A frame knowledge system for managing financial decision knowledge” Expert Systems with Applications, vol. 35, pp. 1068-1079.
9. Mamdani, E. H. (1974) “Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant” Proc. Inst. Elect. Eng. Contr. Sci., vol. 121. pp. 1585 – 1588.
10. Zadeh, L. A. (1965) “Fuzzy sets” Information and Control, №8. pp. 338 – 353.
11. fuzzyTECH (2023) [www.fuzzytech.com](http://www.fuzzytech.com).
12. “Avtomatizirovannaya sistema upravleniya ventilyatsiyey” [Automated ventilation control system] [www.datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej](http://datasolution.ru/avtomatizirovannaya-sistema-upravleniya-ventilyatsiej)

## FUZZY EXPERT AIR TEMPERATURE CONTROL SYSTEM IN SHOPPING AND ENTERTAINMENT CENTER PREMISES

*Abstract* The article presents the stages of developing a fuzzy expert system for the operator of a heating point of a shopping and entertainment center. The principle of operation of the air heating system of the mall is shown, implemented using computer-integrated control with a SCADA system. For the effective operation of the air temperature control system in different areas of the mall, functions for belonging to comfort zones have been developed in terms of visitors and the requirements of sanitary standards. It is indicated that typical air temperature stabilization controllers cannot always provide the desired mode due to the influence of a large number of uncontrolled disturbances on the control system. In this case, in the absence of additional blocks for adapting control algorithms, it becomes expedient to remotely control the operator using a mnemonic diagram of the ventilation process. And to improve the efficiency of the process of remote control of thermal equipment, an expert system was proposed that implements the algorithm of I. Mamdani, to control the coolant flow valves. The controller receives information from the outdoor air and air temperature sensors in the control area of the mall. After processing the signals from the sensors, the controller transmits information to a computer with an expert system. Depending on the temperature and season of the year, the program calculates the optimal position of the valve (in percentage of stroke) for the flow rate of the coolant and recommends installing it to the operator.

Also, it is shown that in the process of developing a fuzzy expert system, it is recommended to choose the Gaussian type of membership functions; minimal number of terms - sets - three functions of dependency; weight coefficient of each rule in the knowledge base is the same and equal to 100; the method of defasification is the method of the center of gravity. It is indicated that the introduction of expert advice to operators can also lead to a reduction in the response time to emergency situations up to 90% increase in the reliability of the equipment as a whole..

*Keywords* Fuzzy expert system, air temperature, air heating, operator

## ВИДИ НЕСПРАВНОСТЕЙ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ВЕЛИКИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ І УМОВИ ЇХ ПРОЯВУ З УРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ

*У статті розглянуто математичну модель мікропроцесорних великих інтегральних схем для контролю технічного стану з урахуванням протікання енергодинамічного процесу даного класу мікроелектронних виробів, здійснено аналіз типових несправностей та умов їх прояву. Сучасний етап розвитку радіоелектронної техніки Збройних Сил України характеризується широким впровадженням приладів та систем, які використовують великі інтегральні схеми та мікропроцесорних великих інтегральних схем. Це обумовлено необхідністю обробки інформації при досить низькій собівартості обладнання. При використанні цифрових пристроїв з комплектами мікропроцесорних великих інтегральних схем, гостро постає питання контролю працездатності та виявлення дефектів таких пристроїв. Для удосконалення нових методів діагностування цифрових пристроїв виникає необхідність проаналізувати види несправностей, які виникають в мікропроцесорних великих інтегральних схемах.*

*Мікросхема функціонуватиме справно, якщо встановлено, що всі послідовності інструкцій виконуються правильно при різноманітних комбінаціях даних. Повна перевірка всіх інструкцій, виконуваних мікропроцесорною великою інтегральною схемою, неможлива через дуже велику довжину тестів, що використовуються для перевірки. Тому для забезпечення тестового контролю працездатності мікропроцесорних великих інтегральних схем необхідно будувати тести, виходячи з заданої сукупності дефектів, достовірності та часу для прийняття рішення. Проведений аналіз фізичних процесів у логічних елементах виготовлених за технологією “метал-діелектрик-напівпровідник” показав, що наявність існуючих дефектів приводить до відсутності перекручування імпульсу струму квазікороткого замикання і вихідної реакції. Тобто виконується умова прояву дефекту та скорочується час діагностування.*

*Ключові слова: модуль великої інтегральної мікросхеми, енергодинамічний процес, радіоелектронна техніка, імпульс квазікороткого замикання, тестові впливи.*

**Вступ.** З розвитком радіоелектронної техніки висувається ряд вимог до радіотехнічних пристроїв до складу яких входять високоефективні системи визначення технічного стану цифрових пристроїв. Це обумовлено високою складністю радіоелектронної техніки, дефіцитом часу на прийняття рішення.

Тому все більшого використання знаходять пристрої, які використовують мікропроцесорні великі інтегральні схеми (МП ВІС) та надвеликі інтегральні схеми (НВІС). При використанні пристроїв з МП ВІС гостро постає питання контролю працездатності і виявлення дефектів таких пристроїв. Для розробки методів контролю потрібно розглянути види дефектів, які виникають в МП ВІС. В статті проводиться аналіз дефектів МП ВІС і умови їх прояву з урахуванням енергодинамічного процесу (ЕДП), який протікає в логічних елементах (ЛЕ) при їх переключенні [1].

**Аналіз останніх досліджень.** *Види несправностей МП ВІС і умови їх прояву.* Велика функціональна складність сучасних мікропроцесорних великих інтегральних схем і, відповідно наявність великої кількості активних елементів та зв'язків на кристалі обмежений площі, є передумовою до виникнення ряду специфічних несправностей, властивих тільки даному класу мікроелектронних виробів. Причини їхнього виникнення можуть бути різні [1, 2], однак умови їх прояву, навіть при різних причинах, подібні. Особливістю специфічних несправностей мікропроцесорних ВІС є те, що вони виражені в неявній формі [3, 4], тобто

мікропроцесорна ВІС працює, однак у визначених умовах результат роботи буде недостовірним.

Модуль мікропроцесорної великої інтегральної схеми функціонує справно, якщо встановлено, що всі послідовності його інструкцій виконуються правильно при всіляких комбінаціях даних [5]. Повна перевірка всіх інструкцій, виконуваних мікропроцесорною ВІС, неможлива через дуже велику довжину тестів, що перевіряють [6, 7]. Тому для забезпечення тестового контролю працездатності мікропроцесорних ВІС необхідно будувати тести, виходячи з заданої сукупності дефектів, достовірності та часу для прийняття рішення.

Як відомо МП ВІС є інтегральною схемою, що виконує функцію мікропроцесора або його частини, структурними елементами, якої є логічні елементи (ЛЕ), які виконують відповідні логічні операції. МП ВІС притаманні наступні властивості: велика кількість ЛЕ; високий ступінь розгалуженості (топологія) міжелементних зв'язків; присутність зворотних зв'язків. Викладені властивості приводять до складних перехідних процесів (протікання імпульсів струму квазікороткого замикання), що протікають у шині живлення ВІС при подачі тестових впливів. Ці процеси характеризуються протіканням “образу” сформованого в процесі накладення імпульсів струму квазікороткого замикання від різних логічних елементів ВІС.

Розглянута математична модель (ММ) мікропроцесорних ВІС [8] для контролю технічного стану та з урахуванням протікання ЕДП даного класу мікроелектронних виробів вимагає поетапного опису на структурному і функціональному рівнях *несправностей*, що буде проведено надалі, дає можливість розробки тестів для перевірки працездатності. Умова справного функціонування мікропроцесорних ВІС може бути визначена тільки при розгляді заданої сукупності дефектів.

**Мета статті.** У статті пропонується математична модель (ММ) мікропроцесорних великих інтегральних схем для контролю технічного стану та з урахуванням протікання енергодинамічного процесу даного класу мікроелектронних виробів.

**Виклад основного матеріалу.** Побудову означеної математичної моделі проведемо в два етапи:

- 1) аналіз можливих несправностей логічних елементів;
- 2) на основі несправностей логічних елементів розглянутих на першому етапі, на функціональному рівні розглядаються несправності мікропроцесорних великих інтегральних схем з урахуванням енергодинамічного процесу.

**Перший етап.** На цьому етапі розглядаються можливі несправностей логічних елементів (ЛЕ) й умови їх прояву.

Велику частину сучасних ВІС і НВІС виготовляють за технологією “метал-діелектрик-напівпровідник” (МДН). Розглянемо типові несправності й умови її прояву на прикладі логічного елемента (ЛЕ) “3 АБО-НІ” (рисунок 1), виготовленого по МДН технології на основі протікання в них енергодинамічного процесу. Основними типами несправностей інтегральних схем виготовлених по МДН технології є пробій  $p^+$ -  $n^-$  переходів витік-підложка і сток-підложка, пробій у каналі між стоком та витіком, пробій діелектрика під затвором, виникнення паразитних транзисторів, замикання і розриви внутрішніх металевих шин і зовнішніх виводів, вихід за межі допусків напруг відмикань транзисторів. Перевірку умови прояву несправностей проведемо при можливих видах дефектів в елементі [9].

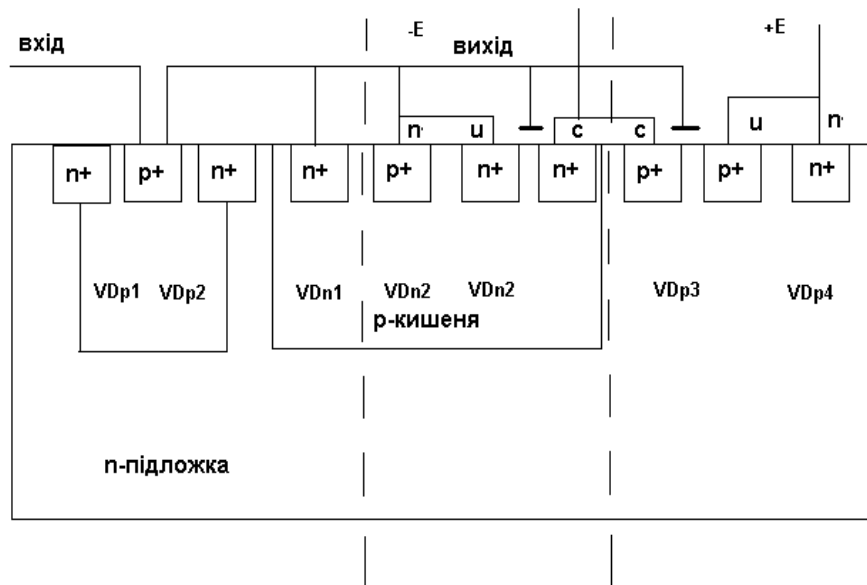


Рисунок 1 – Структурна великих інтегральних схем (BIC) і надвеликих інтегральних схем NBIC виготовлених за технологією “метал-діелектрик-напівпровідник”

1. Пробій  $p^+$  -  $n^-$  переходу витік-підложка  $n^-$  каналного транзистора. Для ізоляції  $n^-$  каналного транзистора від підложки, що має той же тип провідності, служить  $p^+$  особлива кишеня. Завдяки зсуву  $p^+$  -  $n^-$  переходу на межі каналу і підложки в зворотному напрямку забезпечується ізоляція цих областей. Пробій приводить до того, що за умови росту позитивного зсуву на затворі концентрація електронів не перевищить концентрації дірок, і в матеріалі кишені  $p^+$ - типу не утвориться інверсний шар  $n^-$  типу. Провідний канал не індукується, у шині живлення імпульс струму квазікороткого замикання не протікає.

2. Пробій  $p^+$  -  $n^-$  переходу витік-підложка  $p^+$  каналного транзистора. У цьому випадку виникає канал витік-сток, по якому протікає некерований струм, що обмежується тільки опором джерела живлення. У цьому випадку імпульс струму квазікороткого замикання не протікає.

3. Пробій  $p^+$  -  $n^-$  переходів сток-підложка  $n^-$  каналного транзистора приводить до того, що він стає некерованим і при відмиканні навантажувального транзистора струм у шині живлення зростає стрибком і залишається постійним, тому що не відбувається запирання керуючого транзистора. Якщо до моменту появи перепаду, що замикає, (стосовно навантажувального транзистора) ЛЕ не вийшов з ладу, то струм у шині живлення стрибком зменшується практично до нуля, та імпульс замикання має тривалість, рівну тривалості вхідного імпульсу, що істотно відрізняє його від параметрів імпульсу квазікороткого замикання.

4. Пробій  $p^+$  -  $n^-$  переходу сток-підложка  $p^+$  каналного транзистора. При цьому на виході ЛЕ постійно є присутню напруга з рівнем лог.1, у шині живлення виникають імпульси тривалістю, обумовлені тривалістю вхідних сигналів, з амплітудою, що перевищує амплітуду імпульсу квазікороткого замикання.

5. Пробій діелектрика під затвором керуючого транзистора до стоку приводить до того, що транзистор стає некерованим, є перемичкою, яка на коротко замикає. Імпульси струму в шині живлення протікають із частотою, рівній частоті тестових впливів, і тривалість їх, як і у випадках 3 і 4, також визначається тривалістю вхідних сигналів.

6. Крапковий пробій діелектрика під затвором керуючого транзистора від затвора до підложки. При цьому транзистор з ізольованим затвором, при даних рівнях вхідних сигналів,

забезпечує не правильне функціонування логічного елементу ЛЕ. У шині живлення імпульс струму квазікороткого замикання не протікає.

7. Пробій діелектрика під затвором навантажувального транзистора від джерела до стоку перетворює його в перемичку, що на коротко замикає, замикаючий вхід елемента на шину живлення. Пара транзисторів стає некерованими. Дана істотна несправність приводить до відсутності імпульсу струму квазікороткого замикання.

8. Крапковий пробій діелектрика під затвором навантажувального транзистора від затвора до підложки приводить до замикання вхідної шини через підложку на шину живлення. При цьому комплементарна пара транзисторів втрачає керування, що приводить до відсутності імпульсу струму квазікороткого замикання.

9. Утворення паразитних ємностей біполярних транзисторів із  $p^+$ - $n$  переходів на межах областей структури польових транзисторів КМДН. Біполярний транзистор  $n^- - p^+ - n^-$  складається з областей витіка МДН транзистора  $n^-$ -типу, підложки  $p^+$ -типа і підложки  $n^-$ -типу. Походження  $p^+ - n^- - p^+$  транзистора аналогічно. Обидва паразитних транзистори включені так, що утворюють структуру, подібну тиристор, включеному між шинами живлення. При нормальній роботі ЛЕ паразитний тиристор завжди замкнений. У випадку його порушення відбувається замикання шини живлення і загальної шини, керування по входу припиняється. В шині живлення протікає постійний струм, імпульси струму квазікороткого замикання відсутні.

10. Обірваний один із входів логічного елемента (ЛЕ). Виявлення дефекту можливо, якщо на справні входи подані низькі потенціали, а на дефектному вході робиться зміна потенціалу з низького рівня на високий або навпаки. При обриві входу ЛЕ переключення не відбудеться, імпульс струму квазікороткого замикання не протікає.

11. Обрив двох або трьох входів ЛЕ. Переключення при зміні логічних рівнів на входах ЛЕ не відбудеться, у шині живлення струм залишається практично рівним нулю.

12. Обрив виводу шини живлення. Розірвана шина протікання імпульсу струму квазікороткого замикання, імпульси струму не протікають.

13. Обрив виводу підложки  $n^-$ -канального транзистора. При цьому зсув у зворотному напрямку  $p^+ - n^-$  переходи на межі каналу і підложки відмикаються, порушується ізоляція цих областей. Керування транзистором втрачається, при цьому утворюється постійний канал сток-витік. У шині живлення протікає імпульсний струм тривалістю імпульсів, обумовлених тривалістю тестових впливів.

14. Обрив виводу підложки  $p^+$ -канального транзистора. Також, як і у випадку 13, порушується ізоляція областей стоку і витоку. Керування транзистором втрачається, що приводить до відсутності протікання імпульсу струму квазікороткого замикання.

15. Коротке замикання сток-витік у будь-якому транзисторі комплементарної пари приводить до втрати керування цим транзистором і до відсутності імпульсів струму квазікороткого замикання.

16. Коротке замикання сток-витік у  $n^-$ -канальному транзисторі комплементарної пари характеризується низьким рівнем вихідної напруги, а при подачі рівня лог.0 на усі входи ЛЕ, можливий повний вихід його з ладу. У шині живлення при перевірці дефектного входу імпульси струму квазікороткого замикання не протікають.

17. Коротке замикання сток-витік у  $n^-$ -канальному транзисторі і  $p^+$ -канальному транзисторі різних комплементарних пар. Така несправність приводить до ефекту, аналогічному випадку.

18. Коротке замикання виходу ЛЕ із шиною живлення або загальною шиною. Через відкритий транзистор протікає струм, що обмежується тільки опором каналу і внутрішнім опором джерела живлення. Цей струм викликає нагрів мікросхеми і може викликати тепловий пробій. Імпульси струму квазікороткого замикання не протікають.

19. Коротке замикання двох або трьох входів ЛЕ. Така істотна несправність приводить до порушення логіки роботи ЛЕ. Переключення можливо тільки при зміні на усіх входах одночасно рівня лог.0 на лог.1 або навпаки. При інших комбінаціях вхідних наборів

переключення ЛЕ не відбувається, імпульс струму квазікороткого замикання в шині живлення не протікає.

20. Коротке замикання входу ЛЕ на шину живлення або загальної шини. Це відповідає фіксації «константи 1» або «константи 0» на вході. Переключення по даному входу не відбудеться, імпульси струму квазікороткого замикання в шині живлення не будуть протікати.

Проведений аналіз фізичних процесів у МДН-елементі “З АБО-НІ” показав, що наявність у ЛЕ існуючих дефектів приводить до відсутності переключування імпульсу струму квазікороткого замикання і вихідної реакції, тобто виконується умова прояву дефекту. Аналогічним шляхом перевіряється виконання даної умови для будь-яких ЛЕ виконаних по інших технологіях.

**Другий етап.** На цьому етапі розглядаються несправності МП ВІС на функціональному рівні відповідно до розробленої узагальненої математичної моделі (ММ) [10,11] з урахуванням ЕДП на основі несправностей ЛЕ розглянутих на першому етапі.

1. Замість інструкції  $\{J_i \in J\}$  виконується інструкція  $\{J_j \in J\}$  щодо будь-якого розряду вихідних даних. Відзначимо такий вид несправностей як  $\{J_i \rightarrow J_j\}$ . Очевидно, що неправильний результат може з'явитися в будь-якій підмножині вхідних даних. Значення компонента  $W_i(J_i \rightarrow J_j)$ , буде відповідати  $i$ -му дефектному розряду, що вираховується по  $J_i$ , тобто

$$W_i(J_i \rightarrow J_j) = W_i \cdot (J_j), \quad i = 1, \gamma.$$

2. Інструкція  $J_i$  виконується одночасно з інструкцією  $J_j \in J$  щодо будь-якого розряду вихідних даних. Відзначимо такий вид несправностей як  $J_i \& J_j$ .

У цьому випадку значення  $i$ -го розряду вихідних даних  $W_i(J_i \& J_j)$ , відповідає об'єднанню значень компонентів  $W_i(J_i)$  і  $W_i(J_j)$ , які розраховані для інструкцій  $J_i$  і  $J_j$ . Операція об'єднання – це диз'юнкція або кон'юнкція сигналів у залежності від логічної операції, яку виконують з'єднані між собою логічні елементи ВІС, тобто

$$W_i(J_i \& J_j) = W_i \cdot (J_i) \times W_i(J_j), \quad (1)$$

або

$$W_i(J_i \& J_j) = W_i \cdot (J_i) + W_i(J_j) \quad (2)$$

Несправності, які описані виразом (1) і (2), назовемо *несправностями інструкцій (команд)*. Очевидно, що вони відображають певні дефекти, які виникають у керуючій підсистемі модуля великої інтегральної мікросхеми (ВІС).

3. Неправильне виконання інструкції  $J_i$  явно не зв'язано з виконанням іншої інструкції з множини  $J$ . Подібні несправності викликають переключування значень вихідного результату щодо любого розряду вихідних даних при виконанні функції  $\Phi_i^w(D^I(J_i))$ , що задається інструкцією  $J_i$ . Позначимо такі несправності як  $\# \Phi_i^w(D^I(J_i))$ . Очевидно, що в загальному випадку

$$\# \Phi_i^w(D^I(J_i)) \neq \Phi_i^w(D^I(J_i)).$$

Правила обчислення значень функцій  $\# \Phi_i^w \cdot (D^I(J_i))$  явним способом не задані. При відсутності несправностей у керуючій підсистемі МП ВІС прояв несправності виду  $\# \Phi_i^w \cdot (D^I(J_i))$  буде відображатися в інформаційній підсистемі ВІС, а також у зміні параметрів (амплітудних і часових) “образу” в шині живлення. Несправності такого виду будемо назвати *несправностями функцій*. Умова перевірки  $J_i \rightarrow J_j, J_i \& J_j$  зводиться до визначення такої сукупності  $\{D^I\}$  значень перемінних вхідних впливів, які необхідні при виконанні інструкцій  $J_i$  і  $J_j$ , на якій значення вихідного результату справного і несправного модуля відрізнялися б по кожному розряду. Для цього значення перемінних в сукупності  $\{D^I\}$  потрібно вибирати таким чином, щоб досягнути максимальної різниці між вихідними результатами  $D^w(J_i)$  і  $D^w(J_j)$ , тобто [12]:

$$d = |D^w \cdot (J_i) \oplus D^w(J_j)| \rightarrow \max,$$

де  $d$  – відстань по Хеммінгу.

Несправність  $J_i \rightarrow J_j$  буде перевірена по  $i$ -му розряду вихідної шини модуля, якщо  $W_i(J_i)$  і  $W_i(J_j)$  виконують умову

$$W_i \cdot (J_i) \oplus W_j \cdot (J_j) = 1. \quad (3)$$

Для перевірки несправності  $J_i \rightarrow J_j$  відносно всіх розрядів вхідних даних умову (3) необхідно виконати по всім  $i = 1, \gamma$ .

Несправність  $J_i \& J_j$  перевіряється по  $i$ -му розряду вихідної шини модуля, якщо вихідні перемінні  $W_i \cdot (J_i), W_j \cdot (J_j)$  виконується умова (3) і виконується одна з двох умов:

$$W_i \cdot (J_i) = 1, W_i \cdot (J_j) = 0, \quad (4)$$

якщо  $W_i(J_i \& J_j)$  визначається по виразу (1);

$$W_i(J_i) = 0, W_i(J_j) = 1, \quad (5)$$

якщо  $W_i(J_i \& J_j)$  визначається по виразу (2).

Для перевірки несправності  $J_i \& J_j$  відносно всіх розрядів вхідних даних, аналогічно дефекту  $J_i \rightarrow J_j$ , умову (4) або (5) необхідно виконати по всім  $i = 1, \gamma$  на деякій сукупності наборів  $D^I$ .

Несправності виду  $\# \Phi_i^w$  приводять до перекручування функції  $\Phi_i^w \cdot (D^I \cdot (J_i))$ . Виходячи з запропонованої умови про роздільну реалізацію і “порчі” кожної функції, будемо вважати, що несправна функція  $\# \Phi_i^w \cdot (D^I(J_i))$  для всіх  $J_i \in J$  залежить від тих же перемінних  $D^I \cdot (J_i) D^I(J_i)$ , вхідних впливів, що і справна функція  $\Phi_i^w \cdot (D^I(J_i))$ . Для

перевірки дефектів виду  $\Phi_i^w \cdot (D^l(J_i))$ , достатньо перевірити значення вихідної перемінної  $D^w \cdot (J_i)$ , які визначені при відповідних наборах значень вхідних перемінних  $D^l$ .

**Висновки.** Таким чином, розглянуті види несправностей і умови їх прояву будуть використані при формуванні загальних правил та розробки методики побудови тестових впливів для контролю технічного стану мікропроцесорних великих інтегральних схем та пристроїв на їх основі з урахуванням протікання енергодинамічного процесу для підвищення якості діагностування з достовірністю не нижче заданої.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація: [монографія] / Б.П. Креденцер та ін. ; під наук. ред. д-ра техн. наук, проф. Б. П. Креденцера; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». - К.: Фенікс, 2013. - 341 с.
2. Жердев М.К. Концептуальні засади методу діагностування сучасних цифрових типових елементів заміни по форматним частотам перехідного процесу в шині живлення/М.К. Жердев, В.О. Савран // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2016.-Вип. 52. – С. 20-32.
3. Lienkov S.V., Zhirov H.B., Tolok I.V., Lienkov Ye.S. // Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7.
4. Вишнівський В.В. Проблема побудови та впровадження автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного озброєння / В.В. Вишнівський, В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур // Науковий журнал Інформаційна безпека Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля. –Луганськ, 2014. –Вип. № 4 (16). –С. 151-157.
5. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови діагностичної моделі транзистора в режимі відсічки для енергодинамічного методу діагностування / П.А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К., 2013. –№39. – С. 229-233.
6. Зубарев В.В., Ленков С.В., Мокрицький В.А., Перегудов Д.О. Вплив дефектів функціональних матеріалів на надійність електроніки: [монографія] – Одеса: Друк, 2003. - 454 с.
7. Шкуліпа П.А. Основні напрямки розвитку автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектроніки / П.А. Шкуліпа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2012. – № 6.– С. 192 – 194.
8. Ленков С.В., Перегудов Д.О., Ликов О.І., Синіцин В.С. Діагностика виробів електронної техніки за сукупністю параметрів // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”. – К., 2004. – №1. – С.92 – 96.
9. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування / Г.Б. Жиров // Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. – Сер. Військово-спеціальні науки. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Вип. 11. – С. 55-60.
10. Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. –Київ, 2015. –№ 1 (22). –С. 136-139.
11. Надійність електричних систем і мереж: навчальний посібник / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. - 280 с.
12. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. –К., 2009. –№ 21. –С. 42-45.

## REFERENCES:

1. Kredencer B. P. (2013) "Nadijnist sistem z nadlishkovisty: metodi, modeli, optimizaciya" [Reliability of systems with redundancy: methods, models, optimization], Nac. tehn. un-t Ukrainyini «Kiyiv. politehn, Feniks, 341 p.
2. Zhierdev M.K., Savran V.O. (2016) Kontseptualni zasady metodu diahnostuvannia suchasnykh tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy po formatnym chastotam perekhidnoho protsesu v shyni zhyvlennia [Conceptual foundations of the method of diagnosing modern digital typical replacement elements by the format frequencies of the transition process in the power bus], Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University. K. VIKNU, Issue 52, pp. 20-32.
3. Lienkov S. V., Zhiron H.B., Tolok I. V. Lienkov Ye. S. Simulation model of the adaptive maintenance procedure of complex radioelectronic facilities 2313-688X Radio Electronics, Computer Science, Control. ISSN: 1607-3274. 2020. No 1. –P63-74. DOI 10.15588/1607-3274-2020-1-7
4. Vyshnivskiy V.V., Kuzavkov V.V., Haidur H.I. (2014), Problema pobudovy ta vprovadzhennia avtonomnykh avtomatyzovanykh system diahnostuvanniaradioelektronnoho ozbroiennia [The problem of building and implementing autonomous automated systems for diagnosing radio-electronic weapons], Scientific Journal Information Security East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl. Luhansk, Vol. No. 4 (16). pp. 151-157.
5. Shkulipa P.A. (2013) "Alhorytm pobudovy diahnostychnoi modeli tranzystora v rezhymy vidsichky dlia enerhodynamichnohometodu diahnostuvannia" [Algorithm for constructing a diagnostic model of a transistor in cut-off mode for an energy-dynamic method of diagnosis], Collection of Scientific Works of the Military Institute of Kyiv National University named after Taras Shevchenko. K. No, 39, pp. 229-233.
6. Zubaryev V.V., Lyenkov S.V., Mokryczky V.A., Perehudov D.O. (2009), "Vplyv defektiv funkcional nyx materialiv na nadijnist elektroniky" [The influence of defects of functional materials on the reliability of electronics ], monograph. Odesa: Druk, 454 p.
7. Shkulipa P.A. (2012) "Osnovni napryamki rozvitku avtomatizovanih sistem tehnicznego diahnostuvannia ob'ektiv radioelektroniki" [The main directions of the development of automated systems for technical diagnostics of radio electronics objects], Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Tehniczni nauki, Hmelnickij, № 6. pp.192 – 194.
8. Lyenkov S.V., Perehudov D.O., Lykov O.I., Synicyn V.S. (2004) "Dianostyka vyrobiv elektronnoyi texniki za sukupnistyu parametriv" [Diagnostics of electronic equipment products by a set of parameters ], Collection of scientific works of VITI NTUU «KPI», K., No. 1. pp.92 - 96.
9. Zhyrov H.B. (2005), "Uzahalnena dianostychna model tsyfrovoi VIS dlia enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia" Generalized diagnostic model of digital VIS for the energy-static method of diagnosis], Bulletin of KNU named after Taras Shevchenko. Ser Military special sciences. K.: Kyiv. University, No.11 pp 55-60.
10. Shevchenko V.V. (2015), "Vyznachennia tekhnichnoho stanu tsyfrovyykh typovykh elementiv zaminy za do-pomohoiu elektromahnitnoho metodu diahnostuvannia" [Determining the technical condition of digital typical replacement elements using the electromagnetic method of diagnosis], Modern information technologies in the sphere of security and defense. Kyiv, No. 1 (22), pp 136-139.
11. Zhurakhivskiy A.V., Kinash B.M., Pastukh O.R. (2016) "Nadiinist elektrychnykh system i merezh : navchalnyi posibnyk" Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Nationalnyi universytet «Lvivska politehnika», Lviv . [Reliability of electrical systems and networks: a study guide] Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 280 p.
12. Hlukhov S.I. (2009), "Diahnostuvannia tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv typovykh elementiv zaminy radioelektronnoi tekhniki z vykorystanniam elektromahnitnoho metodu u viiskovykh remontnykh orhanakh" [Diagnostics of digital radio-electronic components of typical replacement elements of radio-electronic equipment using the electromagnetic method in

military repair bodies], Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu im. Tarasa Shevchenka. K. No.21, pp. 42-45.

Ph.D., Okhramovych M.M., Ph.D., Gakhovych S.V.,  
Ph.D., Kravchenko O.I., Shevchenko V.V.

## **TYPES OF MALFUNCTIONS OF MICROPROCESSOR LARGE INTEGRATED CIRCUITS AND CONDITIONS OF THEIR MANIFESTATION TAKING INTO ACCOUNT THE ENERGY-DYNAMIC PROCESS**

*The article deals with a mathematical model of microprocessor-based large integrated circuits for monitoring the technical condition, taking into account the energy-dynamic process of this class of microelectronic products, and analyzes typical faults and conditions of their manifestation. The current stage of development of the radioelectronic equipment of the Armed Forces of Ukraine is characterized by the widespread introduction of devices and systems that use large integrated circuits and microprocessor-based large integrated circuits. This is due to the need to process information at a fairly low cost of equipment. When using digital devices with sets of microprocessor-based large integrated circuits, the issue of monitoring the performance and detection of defects in such devices is acute. To improve new methods of diagnosing digital devices, it is necessary to analyze the types of faults that occur in microprocessor-based large integrated circuits.*

*A chip will function properly if it is determined that all instruction sequences are executed correctly under various combinations of data. Complete verification of all instructions executed by a microprocessor-based large integrated circuit is not possible due to the very long length of the tests used for verification. Therefore, to provide test control of the performance of microprocessor-based large integrated circuits, it is necessary to build tests based on a given set of defects, reliability, and time to decision. The analysis of physical processes in logic elements manufactured using the metal-dielectric-semiconductor technology showed that the presence of existing defects leads to the absence of distortion of the quasi-short-circuit current pulse and the output response. That is, the condition for the manifestation of the defect is fulfilled and the diagnostic time is reduced.*

*Keywords: large integrated circuit module, energy-dynamic process, radioelectronic equipment, quasi-short-circuit pulse, test effects.*

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА – ДІЄВИЙ ІНСТРУМЕНТ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІБРИДНОЇ ВІЙНИ НА СОЦІАЛЬНУ БЕЗПЕКУ ЛЮДИНИ

*Соціальна безпека держави представляє собою спроможність гарантувати та надавати її громадянам безпечний і гідний рівень життя. Дослідження впливу війни на стан національної безпеки, зокрема соціальної безпеки людини, дозволить виявити слабкі місця в реалізації державної політики в політичній, економічній та соціальній сферах. Вплив повномасштабної війни росії проти нашої держави на соціальну безпеку українців потребує обґрунтування нових, більш ефективних механізмів та інструментів зміцнення соціальної безпеки людини в умовах війни.*

*За цих обставин, виникає необхідність застосування нових технологій управління соціально-економічними процесами держави для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися. Ці технології нададуть можливість прогнозувати варіанти розвитку подій та запропонують керівникам усіх рівнів оптимальні шляхи досягнення вищезазначеного результату. Необхідні технології, які ефективно поєднують простір та час зі значними за обсягом спеціальними даними у вигляді атрибутивної інформації щодо об'єктів оперативної обстановки, довідкової інформації про регіони, кліматичні умови, соціально-економічний стан і процеси в регіоні тощо. Необхідність оперативного прийняття рішень з урахуванням реальних показників техногенного, соціального, екологічного характеру з урахуванням просторово-часових факторів у визначеному регіоні чи області дослідження, обумовлює залучення до аналізу ситуації спеціалізованих програмних платформ – геоінформаційних систем, які поєднують у собі аналітичні можливості з геопросторовим аналізом. На сьогоднішній день розроблено велику кількість геоінформаційних систем загального призначення, але при всій різноманітності таких програмних продуктів, залишається потреба у створенні спеціалізованих геоінформаційних документів та баз даних, що дозволяють отримувати актуальні геоінформаційні дані, використання яких призводить до реального скорочення часу вирішення спеціалізованих завдань інформаційно-керуючих систем. Система аналізу та підтримки прийняття рішень в середовищі існуючих геоінформаційних платформ дозволить при оцінці поточного стану вхідних даних, за допомогою інформації просторового розподілу необхідних ресурсів, інформації про конкурентне середовище, тощо, враховувати вплив зовнішніх факторів, аналізувати можливість розвитку, розширення, робити моніторинг стану загального середовища. За допомогою модулів просторового аналізу і аналізу поверхонь ГІС-користувач може проводити аналіз просторово сумісних об'єктів, їх взаємозв'язків з урахуванням динаміки їх розвитку. На даний час світовим лідером серед геоінформаційних систем є лінійка геоінформаційних продуктів ArcGIS, що представляють собою повну систему, яка надає можливість збирати, організовувати, управляти, аналізувати, обмінюватися і розподіляти географічні дані. Додатково, у складі ArcGIS, в залежності від типу та специфікації платформи, наявні інші спеціалізовані модулі, що надають широкий спектр можливостей для роботи з геоданими і їх візуального відображення, а саме: створення, управління, візуалізація, аналіз та обмін географічною інформацією. Крім цього, існує багато сумісних додатків і розширень що інтегруються в ГІС платформу, та орієнтовані на розв'язання вузькоспеціалізованих задач, таких як оцінка стану навколишнього середовища (акваторія, ґрунти, рослинність) або прогнозування розвитку природних явищ і техногенних надзвичайних ситуацій. У статті проаналізовано та обґрунтовано підходи до використання геоінформаційної системи, як дієвого інструменту дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини, підвищення оперативності, повноти та якості інформаційно-просторового забезпечення процесів управління.*

*Розглянуто сучасну повнофункціональну геоінформаційну систему ArcGIS, як платформу, що дозволяє сформувати не тільки географічну інформаційну систему будь-якого масштабу й призначення, але й сформувати на її основі ефективну систему соціально-економічного моніторингу, яка поєднується із системами підтримки прийняття рішень. Представлено*

*алгоритм дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини з використанням геоінформаційної системи ArcGIS, як дієвого інструменту підтримки прийняття рішень з використанням просторово-спеціалізованих баз даних.*

**Ключові слова:** геоінформаційна система, соціальна безпека, соціально-економічні процеси, просторова візуалізація, процеси управління, система підтримки прийняття рішень, ГІС-платформа, база геоданих, ArcGIS.

**Вступ та постановка проблеми.** Війна росії проти нашої держави істотно позначилася на стані національної безпеки України, зокрема, соціальної безпеки людини. Її негативні наслідки мають як прямий, так і опосередкований характер, що є реальною соціальною загрозою. Вплив повномасштабної війни росії проти нашої держави на соціальну безпеку українців потребує обґрунтування нових, більш ефективних механізмів та інструментів зміцнення соціальної безпеки людини в умовах війни.

За цих обставин, виникає необхідність застосування нових технологій управління соціально-економічними процесами держави для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися. Ці технології нададуть можливість прогнозувати варіанти розвитку подій та запропонують керівникам усіх рівнів оптимальні шляхи досягнення виваженого результату. Необхідні технології, які ефективно поєднують простір та час зі значними за обсягом спеціальними даними у вигляді атрибутивної інформації щодо об'єктів оперативної обстановки, довідкової інформації про регіони, кліматичні умови, соціально-економічний стан і процеси в регіоні тощо. Необхідність оперативного прийняття рішень з урахуванням реальних просторово-часових факторів в умовах сучасної повномасштабної війни росії проти України, обумовлює залучення до аналізу ситуації нових інструментів з можливістю графічного представлення даних, що враховує як просторову прив'язку, так і спеціальні відомості – геоінформаційних систем (ГІС) [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз сучасної зарубіжної та вітчизняної літератури, інтернет-ресурсів щодо формування вимог і впровадження методів підтримки управлінських рішень на основі геоінформаційних технологій свідчить про те, що дана тема є важливим кроком у напрямку створення потужного і сучасного інструменту підтримки прийняття рішень. Застосування геоінформаційних систем у сфері управління дозволяє суттєво зменшити час реагування в умовах швидкоплинності подій, знизити витрати по зберіганню та аналізу інформації, та підвищити ефективність роботи органів управління, що забезпечить сталий розвиток нашої держави в умовах повномасштабної війни росії проти України. На сьогодні дана тема є досить актуальною, а процес впровадження перспективних інформаційних технологій у сферу державної політики забезпечення соціальної безпеки України потребує подальшого удосконалення та розвитку.

Проблемні питання використання багатовимірної моделі даних для вирішення задач інтеграції новітніх ГІС в існуючі інформаційні системи досліджували у своїх роботах Зайцев О. В., Новохатній Ю. В., Попов М. О. [2]; роль геоінформаційних систем при дослідженні економіко-екологічної оцінки регіонів України – Луганська Т.Ю. [3]; розвиток системи базових механізмів державного управління з урахуванням геопросторових даних – Усаченко О. [4] та ряд інших науковців.

Проблематика забезпечення здатності геоінформаційних систем до функціональної та інформаційної взаємодії в середовищі інформаційних систем підтримки прийняття рішень на різних рівнях управління знайшла своє продовження у ряді науково-дослідних робіт, які виконувалися протягом 2019-2021 років у військовому інституті Київського національного університету імені Тараса Шевченка (НДР шифр “ГІС-Ω”, “Стандарт”, “Портал-ГІС”, “Соціомоніторинг”).

**Мета статті.** За умов повномасштабної війни об'єктивно актуалізується необхідність моделювання та прогнозування геостратегічних загроз на соціальну безпеку людини задля відстеження тенденцій розвитку ситуації в середньо та довгостроковій перспективі,

ідентифікації існуючих та потенційних викликів, ризиків і загроз, напрацювання та своєчасної реалізації превентивних заходів. При цьому органам державного управління всіх рівнів, які приймають рішення щодо соціальної безпеки українців і сталого розвитку нашої держави, потрібен швидкий і простий доступ до точної і оновленої просторової інформації, яка необхідна для планування та аналізу соціально-економічних процесів та управління ними [5]. Необхідна просторова візуалізація даних у вигляді карт, знімків, зображень та інших графічних документів, поряд з інформаційною системою для управління, аналізу і візуалізації даних і створення веб-просторових сервісів і додатків. Такою системою на сьогодні є географічна інформаційна система.

Метою статті є проведення аналізу та обґрунтування підходів до використання геоінформаційної системи, як дієвого інструменту дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини, підвищення оперативності, повноти та якості інформаційно-просторового забезпечення процесів управління.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Соціальна безпека держави представляє собою спроможність гарантувати та надавати її громадянам безпечний і гідний рівень життя. Дослідження впливу війни на стан національної безпеки, зокрема соціальної безпеки людини, дозволить виявити слабкі місця в реалізації державної політики в політичній, економічній та соціальній сферах. Ідентифікація загроз суб'єктів різних рівнів внаслідок негативних зовнішніх шоків може бути базою для формування комплексної системи індикаторів її оцінювання на рівні держави, формування нової соціальної політики країни за напрямками: безпека відтворення населення та інтелектуально-кадрового потенціалу, безпека соціальної сфери, безпека ринку праці та зайнятості населення, міграційна безпека, виходячи з єдиного системного бачення та сформованої цілісної системи соціальної безпеки України [5].

На сьогодні в системі безпеки держави досі існують прогалини, які не дозволяють виконати зобов'язання держави з гарантування безпеки суспільства. В результаті страждають громадяни України, які проживають на територіях, що зазнають безпосереднього впливу агресора або техногенних загроз. Для забезпечення належного рівня соціальної безпеки громадян доцільно визначити та дослідити потенційні загрози внутрішнього та зовнішнього характеру, а також шляхи їх мінімізації [6].

Необхідність оперативного прийняття рішень з урахуванням реальних показників техногенного, соціального, екологічного характеру з урахуванням просторово-часових факторів у визначеному регіоні чи області дослідження, обумовлює залучення до аналізу ситуації спеціалізованих програмних платформ – геоінформаційних систем, які поєднують у собі аналітичні можливості з геопросторовим аналізом. На сьогоднішній день розроблено велику кількість геоінформаційних систем загального призначення, але при всій різноманітності таких програмних продуктів, залишається потреба у створенні спеціалізованих геоінформаційних документів та баз даних, що дозволяють отримувати актуальні геоінформаційні дані, використання яких призводить до реального скорочення часу вирішення спеціалізованих завдань інформаційно-керуючих систем [4].

Ситуаційні центри управління та системи підтримки прийняття рішень є одними з найбільш актуальних областей застосування геоінформаційних систем. Володіння оперативною, географічно точною інформацією підвищує ймовірність прийняття найкращого управлінського рішення в ситуації невизначеності.

Ситуаційна обізнаність досягається за рахунок інтеграції великої кількості технологій і систем: датчиків і камер спостереження, супутникових систем моніторингу, звітів оперативних служб і навіть соціальних мереж. ГІС використовується для систематизації, просторової прив'язки, аналізу та наочної візуалізації будь-якої значимої інформації, що надходить. Таким чином забезпечується швидке і оптимальне реагування, як в робочому режимі, так і в разі виникнення надзвичайної або кризової ситуації, а також вирішуються завдання управління ризиками, швидкої мобілізації наявних ресурсів і міжвідомчої взаємодії та інформаційного обміну [7].

Система аналізу та підтримки прийняття рішень в середовищі існуючих геоінформаційних платформ дозволить при оцінці поточного стану вхідних даних, за допомогою інформації просторового розподілу необхідних ресурсів, інформації про конкурентне середовище, тощо, враховувати вплив зовнішніх факторів, аналізувати можливість розвитку, розширення, робити моніторинг стану загального середовища. За допомогою модулів просторового аналізу і аналізу поверхонь ГІС-користувач може проводити аналіз просторово сумісних об'єктів, їх взаємозв'язків з урахуванням динаміки їх розвитку.

Система аналізу та підтримки прийняття рішень у сфері управління будь-якого рівня базується на відомих принципах теорії управління організаційно-технічними системами. Але вона має і свої особливості, пов'язані з багатопрофільністю завдань, по яких приймається рішення, просторово розподілених, зі специфікою різноманітних зв'язків і відносин між процесами і явищами геосоціального середовища. Причому наявність інформації про точне місце розташування об'єктів, їх взаємне розташування і взаємозв'язок істотно впливає на якість управлінських рішень, що приймаються і реалізуються на різних рівнях управління.

Перераховані особливості вимагають спеціальних підходів до побудови систем аналізу та підтримки прийняття рішень і неодмінного використання геопросторових уявлень процесів управління.

Основними завданнями ГІС у сфері управління є:

- введення, систематизація, зберігання, забезпечення актуальності і достовірності картографічної, атрибутивної, графічної і текстової інформації про об'єкти;
- забезпечення користувачам можливості формування запитів, пошуку, отримання інформації з баз даних (атрибутивних, картографічних, текстових, графічних), надання користувачам інформації, релевантної запитах, у вигляді, зручному для змістовного аналізу;
- створення інформаційної бази для вирішення інформаційно-аналітичних задач (наприклад, визначення оптимального маршруту між двома точками, оптимізація розміщення нових будинків, споруд і комунікацій; аналіз рентабельності філій та ін.), а також створення інструменту для представлення результатів у вигляді, зручному для змістовного аналізу [8].

Головна мета системи – це безперервний внутрішній і зовнішній моніторинг різномірної географічно “прив'язаної” інформації, необхідної для швидкого реагування та прийняття рішень, її візуалізація на єдиній картографічній основі. Внутрішній моніторинг – збір і аналіз внутрішніх інформаційних потоків даних. Зовнішній моніторинг – збір і аналіз інформаційних потоків зовнішнього середовища (ринок, демографічна ситуація, соціально-економічна, безпекова та інше).

Загальну схему системи підтримки прийняття рішень у сфері управління з використанням ГІС платформи та різномірними джерелами геопросторових даних наведено на рис. 1.

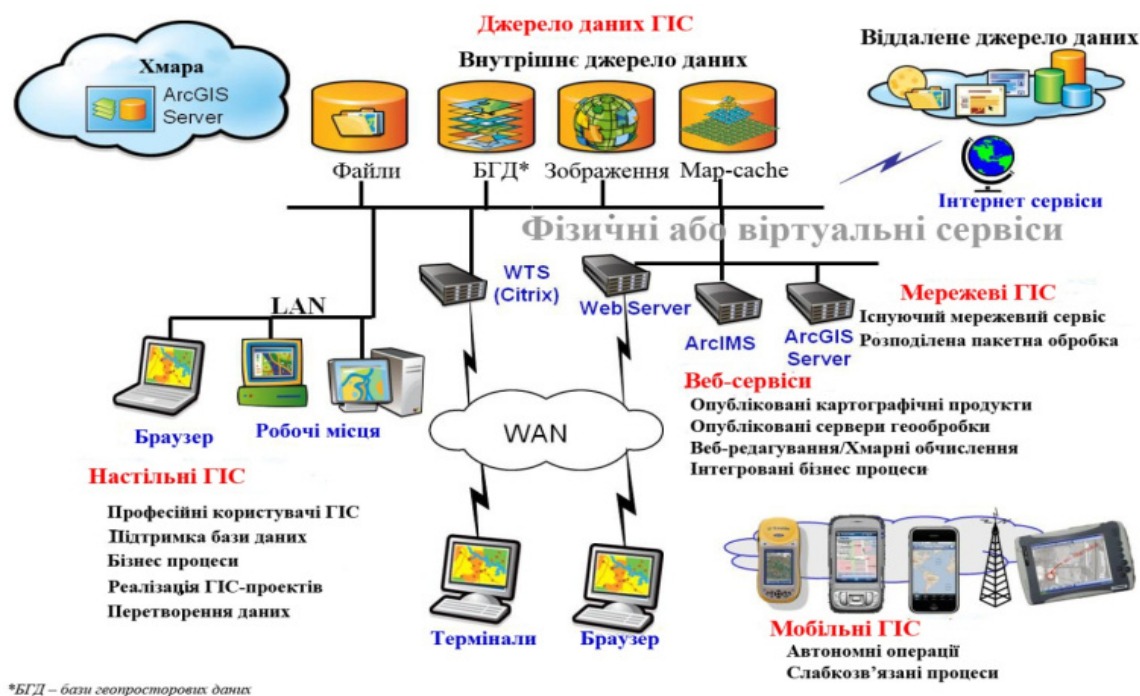


Рисунок 1 - Система підтримки прийняття рішень на основі ГІС-платформи

Основні завдання, які вирішуються за допомогою ГІС у сфері управління: аналіз і прогноз; конкурентний аналіз; планування заходів; прийняття рішень; моніторинг виконання рішень – оптимізація роботи; логістика; оперативний збір, оновлення та візуалізація інформації.

Інакше кажучи: методи просторового аналізу для прийняття рішень засновані на поєднанні спеціалізованих баз даних з геопросторовою основою різноманітної інформації, що відповідає завданням, по яких приймається рішення. Також кваліфіковане застосування ГІС може дозволити “прив'язати” до території зони інтересу корпоративні дані, інтегрувати їх до статистичних даних і, таким чином, отримати нові дані (моделі) за непрямыми факторами [9].

На даний час світовим лідером серед геоінформаційних систем є лінійка геоінформаційних продуктів ArcGIS, що представляють собою повну систему, яка надає можливість збирати, організовувати, управляти, аналізувати, обмінюватися і розподіляти географічні дані.

Сучасна повнофункціональна ArcGIS платформа, дозволяє побудувати не тільки географічну інформаційну систему будь-якого масштабу й призначення, але й сформувати на її основі ефективну систему соціально-економічного моніторингу, яка поєднується із системами підтримки прийняття рішень.

Додатково, у складі ArcGIS, в залежності від типу та специфікації платформи, наявні інші спеціалізовані модулі, що надають широкий спектр можливостей для роботи з геоданими і їх візуального відображення, а саме: створення, управління, візуалізація, аналіз та обмін географічною інформацією. Крім цього, існує багато сумісних додатків і розширень що інтегруються в ГІС платформу, та орієнтовані на розв'язання вузькоспеціалізованих задач, таких як оцінка стану навколишнього середовища (акваторія, ґрунти, рослинність) або прогнозування розвитку природних явищ і техногенних надзвичайних ситуацій.

Розглянемо алгоритм дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини з використанням геоінформаційної системи ArcGIS, як дієвого інструменту підтримки прийняття рішень з використанням просторово-спеціалізованих баз даних. З використанням ArcGIS у якості базової платформи дослідження, з'являється можливість створення на порталі ArcGIS Online інформаційних ресурсів у вигляді картографічних веб-додатків та веб-карт, що будуть надавати узагальнену інформацію про область вивчення [10].

Загальний алгоритм дослідження буде включати чотири базових етапи:  
 вивчення предметної області та наявних вхідних даних;  
 вибір спеціалізованих додатків програмної платформи ArcGIS для виконання роботи;  
 формування та наповнення бази геоданих;  
 публікація на порталі ArcGIS Online сервісів, створення тематичних веб-карт та веб-додатків, які характеризують основні показники складових впливу на соціальну безпеку людини в умовах повномасштабної війни.

У якості спеціалізованих вхідних даних можуть бути використані результати аналізу регіонів України за стандартом НАТО у вигляді соціально-економічних паспортів регіонів дослідження, у якості просторових даних – картографічні, текстові та статистичні дані з відкритих джерел: OSM, ArcGIS Living Atlas of the World, Shuttle Radar Topography Mission, Wikipedia.

Коротко розглянемо основні спеціалізовані додатки програмної платформи ArcGIS, які можуть бути використані для дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини.

ArcMap – основний настільний додаток ArcGIS, що забезпечує функції створення, редагування, перегляду та аналізу геопросторових даних. В ArcMap за допомогою компоненту ArcCatalog створюють базу геоданих, налаштовують та опубліковують сервіси просторових об'єктів на порталі ArcGIS Online.

ArcGIS Online – це хмарна платформа для сумісної роботи, призначена для створення, використання та здійснення загального доступу до даних. Для проведення дослідження доцільне використання наступних функцій ArcGIS Online:

- управління просторовими даними та доступом до них;
  - представлення даних у вигляді візуально-привабливих веб-карт та різноманітних веб-додатків;
  - аналіз даних, з використанням сервісів аналізу ArcGIS Online;
  - використання просторових даних в поєднанні з іншими видами інформації – текстовою, візуальною, графічною, тощо;
  - масштабованість та гнучкість системи;
  - можливість доповнювати власні карти і додатки з загальнодоступних ресурсів, наданих іншими користувачами та організаціями, зокрема з ArcGIS Living Atlas of the World.
- ArcGIS Insights – додаток для аналізу та вивчення просторових та непросторових даних, та візуалізації результатів аналізу у вигляді графіків таблиць та картограм (рис.2).

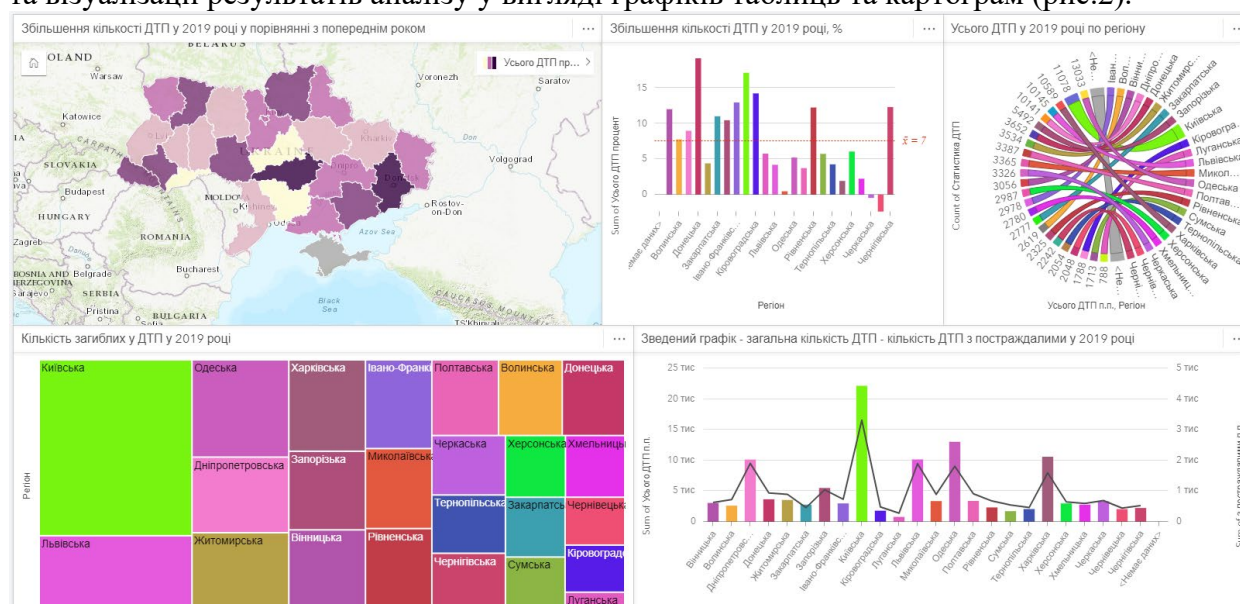


Рисунок 2 - Приклад виконання аналізу даних у ArcGIS Insights

Operations Dashboard for ArcGIS – додаток ArcGIS Online для створення інтерактивних операційних панелей, що поєднують в собі карти, графіки, індикатори для відображення на одному екрані узагальнюючої інформації, необхідної для прийняття рішень.

ArcGIS StoryMaps – поєднують карти, зображення, текст, відео для висвітлення певної теми у форматі історії.

Переваги додатків ArcGIS полягають у можливості створення інтерактивних картографічних додатків без програмування, на основі налаштовуваних шаблонів і конструкторів.

Оскільки наявні вхідні дані мають просторову складову, база геоданих є найбільш доцільною моделлю для їх представлення. В процесі дослідження дані з текстового формату будуть перенесені до бази даних, на основі якої створюється база геоданих, що містить клас просторових об'єктів областей України, в атрибутах яких зберігається описова та статистична інформація про кожну область (рис. 3).

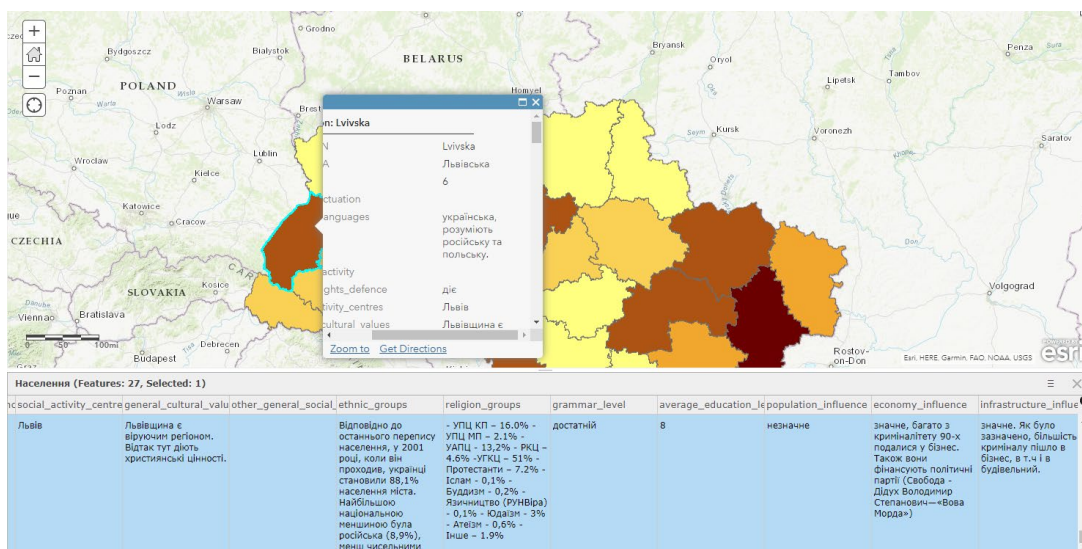


Рисунок 3 - Атрибути та візуалізація класу просторових об'єктів на карті

Опубліковані на порталі ArcGIS Online сервіси, тематичні веб-карти та веб-додатки, які характеризують основні складові впливу на соціальну безпеку людини в умовах повномасштабної війни, дозволяють отримати відображення вичерпної наочної інформації, необхідної при прийнятті рішень. Більшість з цих елементів динамічно змінюються при зміні даних, підтримують фільтрацію даних, щоб на операційній панелі були представлені лише всі найважливіші та найактуальніші для особи, що приймає рішення, відомості. Різні типи візуалізації даних пов'язані один з одним і оновлюються в реальному часі, щоб забезпечити можливість відстеження подій і швидкоплинної зміни обстановки.

Система підтримки управлінських рішень на основі геоінформаційних технологій є важливим кроком у напрямку створення потужного і сучасного інструменту вирішення завдань управління регіонами, що дозволить суттєво зменшити час на прийняття рішень, знизити витрати по зберіганню та аналізу інформації, та підвищити ефективність роботи органів управління, що забезпечить сталий розвиток нашої держави в умовах повномасштабної війни росії проти України.

**Висновки.** Геоінформаційна система є дієвим інструментом дослідження впливу повномасштабної війни на соціальну безпеку людини, оперативності, повноти та якості інформаційно-просторового забезпечення процесів управління. Вона не надає готові рішення, а допомагає прискорити процедури прийняття рішень. ГІС в системі підтримки прийняття рішень надає відповіді на запити та виконує функції аналізу просторових даних, формує результати запитів у зручному для сприйняття вигляді. Необхідна інформація може бути

представлена в картографічній формі з додатковими текстовими поясненнями, діаграмами і графіками. Наявність необхідної інформації та її узагальнення дозволяє керівникам органів державного управління всіх рівнів зосередити свої зусилля на формуванні відповідного рішення, не витрачаючи значного часу на опрацювання великої кількості доступних різномірних даних. Достатня кількість необхідних даних створює можливість розгляду декількох варіантів рішення і вибору найбільш ефективного і економічно доцільного [9].

**Перспективи подальших досліджень.** З метою створення єдиного геоінформаційного середовища для автоматизованих систем управління державного рівня, перспективними є подальші дослідження щодо розробки та впровадження мережі геоінформаційних порталів на всіх рівнях державного управління у якості програмної, інформаційно-комунікаційної платформи єдиного інформаційно-аналітичного середовища органів державного управління з розмежуванням прав доступу користувачів до цих ресурсів [10]. Дослідження впливу війни на стан національної безпеки, зокрема соціальної безпеки людини, з використанням єдиної геопросторової основи та професійного інструментарію ГІС-платформи, дозволить виявити слабкі місця в реалізації державної політики в політичній, економічній та соціальній сферах і швидко прийняти виважені управлінські рішення.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Fedchenko O., Pampukha I., Savkov P., Loza V., Nikiforov M., Koltsov R.: Geographic Information Systems in Management Activity// XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"/ 13-16 May 2019 Kyiv, Ukraine. С. 25–29.

2. Мясіщев О., Литвиненко Н., Федченко О. Доцільність використання геоінформаційних підсистем у складі автоматизованої системи управління Збройних Сил України. DIGITAL REALITY: матеріали міжнародного наук.-практ. форуму (м. Одеса, 13-19 вересня 2021 р.). – Одеса, 2021. С. 265-271.

3. Зайцев О. В. Використання багатовимірної моделі даних для вирішення задач інтеграції новітніх ГІС в існуючі інформаційні системи військового призначення / О. В. Зайцев, Ю. В., Новохатній, М. О. Попов//Застосування космічних та геоінформаційних систем в інтересах національної безпеки та оборони: збірник тез доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції (Київ 10 квітня 2019 року). – Київ: Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, 2019. – 89 с.

4. Герасимов Б.М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навч. посіб. / Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О.Г. Оксіюк, О. В. Поморова ; Європ. університет. Київ, 2007. 335 с.

5. Варналій З.С. Загрози та безпекові пріоритети розвитку продуктивної спроможності регіонів України в умовах війни та повоєнний час // Імперативи та безпекові пріоритети збереження і розвитку продуктивної спроможності регіонів України в умовах війни: збірник тез доповідей дискусійної платформи / за заг. ред. д.е.н., проф. Шульц С.Л., д.е.н., проф. А.І. Мокія. Львів. 2022. 87 с. С.9-13.

6. Усаченко О. Розвиток системи базових механізмів державного управління як предмет дослідження // Актуальні проблеми державного управління. 2017. Вип. 3. С. 135-140.

7. Давидюк О.О. Соціальна безпека: проблеми теоретичного аналізу та побудови системи показників. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.cpsr.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12:2010-06-10-20-35-51&catid=16:2010-06-10-20-23-45&Itemid=23](http://www.cpsr.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=12:2010-06-10-20-35-51&catid=16:2010-06-10-20-23-45&Itemid=23).

8. Bern Szukalski. What's new in ArcGIS Online (April 2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-online/announcements/whats-newarcgis-online-april-2021/>.

9. Рак Т.Є. Інформаційні і системні технології структуризації ієрархічних систем для забезпечення підтримки рішень при ліквідації надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс] /

Т.Є. Рак, Р.Л. Ткачук, Л.С. Сікора [та ін.] // Моделювання та інформ. технології : зб. наук. праць. Київ, 2013. Вип. 68. С. 151–170.

10. Луганська Т.Ю. Роль геоінформаційних систем при дослідженні економіко-екологічної оцінки території Закарпатської області // Регіональні екологічні проблеми. Зб. наук. праць. – К.: ВГЛ Обрії, 2002. – С. 348-350.

#### REFERENCES:

1. Fedchenko O., Pampukha I., Savkov P., Loza V., Nikiforov M., Koltsov R.: Geographic Information Systems in Management Activity// XVIIIth International Conference "Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects"/ 13-16 May 2019 Kyiv, Ukraine. pp. 25–29.

2. Myasishchev, O., Litvinenko, N., Fedchenko, O. (2021) The Feasibility of Using Geographic Information Subsystems in the Automated Control System of the Armed Forces of Ukraine. DIGITAL REALITY: Materials of International Scientific Practice. Forum (Odessa, September 13-19, 2021). pp. 265-271 [In Ukrainian].

3. Zaitsev O. V. Vykorystannia bahatovymirnoi modeli danykh dla vyrishennia zadach intehratsii novitnikh HIS v isnuvachi informatsiini systemy viiskovoho pryznachennia / O. V. Zaitsev, Yu. V., Novokhatnii, M. O. Popov//Zastosuvannia kosmichnykh ta heoinformatsiinykh system v interesakh natsionalnoi bezpeky ta oborony: zbirnyk tez dopovidei IV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv 10 kvitnia 2019 roku). – Kyiv: Natsionalnyi universytet oborony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho, 2019. – 89 p.

4. Herasymov B.M. Intelktualni systemy pidtrymky pryiniattia rishen : navch. posib. / B. M. Herasymov, V. M. Lokaziuk, O.H. Oksiiuk, O. V. Pomorova ; Yevrop. universytet. Kyiv, 2007. 335 c.

5. Varnalii Z.S. Zahrozy ta bezpekovi priorytety rozvytku produktyvnoi spromozhnosti rehioniv Ukrainy v umovakh viiny ta povoiennyi chas // Imperatyvy ta bezpekovi priorytety zberezhenia i rozvytku produktyvnoi spromozhnosti rehioniv Ukrainy v umovakh viiny: zbirnyk tez dopovidei dyskusiiinoi platformy / za zah. red. d.e.n., prof. Shults S.L., d.e.n., prof. A.I. Mokiia. Lviv. 2022. 87 s. S.9-13.

6. Usachenko O. Rozvytok systemy bazovykh mekhanizmiv derzhavnoho upravlinnia yak predmet doslidzhennia // Aktualni problemy derzhavnoho upravlinnia. 2017. Vyp. 3. S. 135-140.

7. Davydiuk O.O. Sotsialna bezpeka: problemy teoretychnoho analizu ta pobudovy systemy pokaznykiv. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: [http://www.cpsr.org.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12:2010-06-10-20-35-51&catid=16:2010-06-10-20-23-45&Itemid=23](http://www.cpsr.org.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=12:2010-06-10-20-35-51&catid=16:2010-06-10-20-23-45&Itemid=23).

8. Bern Szukalski. What's new in ArcGIS Online (April 2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-online/announcements/whats-newarcgis-online-april-2021/>.

9. Rak T.Ie. Informatsiini i systemni tekhnolohii strukturyzatsii iierarkhichnykh system dla zabezpechennia pidtrymky rishen pry likvidatsii nadzvychainykh sytuatsii [Elektronnyi resurs] / T.Ie. Rak, R.L. Tkachuk, L.S. Sikora [ta in.] // Modeliuvannia ta inform. tekhnolohii : zb. nauk. prats. Kyiv, 2013. Vyp. 68. pp. 151–170.

10. Luhanska T.Iu. Rol heoinformatsiinykh system pry doslidzhenni ekonomiko-ekolohichnoi otsinky terytorii Zakarpatskoi oblasti // Rehionalni ekolohichni problemy. Zb. nauk. prats. – K.: VHL Obrii, 2002. – pp. 348-350.

Ph.D. Fedchenko O.P., Ph.D. Pampukha I.V., Ph.D. Tolok I.V.

#### GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM – AN EFFECTIVE TOOL FOR STUDYING THE IMPACT OF HYBRID WARFARE ON HUMAN SOCIAL SECURITY

*Social security of the state is the ability to guarantee and provide its citizens with safe and decent living standards. Study of the impact of the war on the state of national security, in particular human social security, will help to identify weaknesses in the state policy implementation in the political, economic and*

*social areas. The impact of Russia's full-scale war against our country on the social security of Ukrainians requires substantiation of new, more effective mechanisms and tools for strengthening human social security in times of war. Under these circumstances, there is a need to apply new technologies to manage the socio-economic processes of the state for analysis and decision-making, and to reflect the current situation. These technologies will make it possible to predict scenarios and offer managers at all levels the best ways to achieve a balanced result. We need technologies that can effectively combine space and time with large amounts of special data in the form of attribute information about objects in the operational environment, background information about regions, climatic conditions, socio-economic conditions and processes in the region, etc. The need for prompt decision-making based on real indicators of anthropogenic, social, and environmental nature, taking into account the factors of space and time in a particular region or area of study, necessitates the involvement of specialized software platforms – geographic information systems that combine analytical capabilities with geospatial analysis. Today, a large number of general-purpose geographic information systems have been developed, but despite the variety of such software products, there is still a need to create specialized geographic information documents and databases that allow obtaining up-to-date geographic information data, the use of which leads to a real reduction in the time required to solve specialized tasks of information management systems.*

*The analysis and decision support system in the environment of existing geographic information platforms will allow to take into account the influence of external factors, analyze the possibility of development, expansion, and monitor the state of the general environment when assessing the current state of input data, using information on the spatial distribution of the necessary resources, information on the competitive environment, etc. With the help of spatial and surface analysis modules, a GIS user can analyze spatially compatible objects and their interrelationships, taking into account the dynamics of their development. Currently, the world leader among geographic information systems is the ArcGIS products. It is a complete system that allows you to collect, organize, manage, analyze, exchange and distribute geographic data. Additionally, ArcGIS, depending on the type and specification of the platform, has other specialized modules that provide a wide range of opportunities for working with geodata and their visual display, namely: creation, management, visualization, analysis and exchange of geographic information. In addition, there are many compatible applications and extensions that integrate into the GIS platform and are focused on solving highly specialized tasks, such as assessing the state of the environment (water, soil, vegetation) or forecasting the development of natural phenomena and man-made emergencies. The article analyzes and substantiates the approaches to the use of a geographic information system as an effective tool for studying the impact of a full-scale war on human social security, improving the efficiency, completeness and quality of information and spatial support for management processes. The modern and full-featured ArcGIS system is considered as a platform that allows not only to form a geographic information system of any scale and purpose, but also to form on its basis an effective system of socio-economic monitoring, which is combined with decision support systems. The article presents an algorithm for studying the impact of a full-scale war on human social security using the ArcGIS system as an effective decision support tool with the use of spatially specialized databases.*

*Keywords: geographic information system, social security, socio-economic processes, spatial visualization, management processes, decision support system, GIS platform, geodatabase, ArcGIS.*

## УДОСКОНАЛЕНА МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ СЕРВЕРНИХ РЕСУРСІВ КЛАСТЕРНОЇ СИСТЕМИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ОСНОВІ РІВНОВАГИ НЕША

*У статті вирішується актуальне наукове завдання оптимізації використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення у процесі обробки множини клієнтських запитів. Постановка даного наукового завдання зумовлена необхідністю усунення залежності показників ефективності існуючих методів балансування навантаження кластерних систем від якості навчання, а також досить вузьким підходом аналізованих наукових досліджень до вивчення впливу властивостей верифікованості, робастності та гарантії оптимуму на кінцевий результат прийняття рішення. Проведено дослідження існуючих підходів до оптимального використання ресурсів кластерної системи. За результатами аналізу виділено методи, в основу яких покладено теоретико-ігровий науково-методичний апарат, як найбільш доцільний підхід до формального опису функціональної взаємодії серверів із клієнтськими запитами, а також як підхід, що не потребує узагальнення емпіричного досвіду (навчання).*

*Запропоновано модель оптимального використання ресурсів кластерної системи військового призначення, яка ґрунтується на гібридизації застосування теоретико-ігрового підходу і теорії нечіткої логіки. Суть запропонованої моделі полягає у визначенні необхідності декомпозиції ініційованого клієнтським запитом завдання на підзадачі засобами теорії нечіткої логіки з метою подальшого знаходження оптимального розподілу використання серверів кластерної системи на основі рівноваги Неша, із врахуванням узагальнюючого показника поточного рівня їх завантаженості. Отримані результати розглядаються як підґрунтя для реалізації нових адаптивних систем балансування навантаження вузлів кластерної системи, застосування яких дозволяє оптимально використовувати ресурси кластерної системи військового призначення у стійкій рівновазі.*

*Ключові слова: знаходження оптимуму, кластер, теорія ігор, рівновага Неша, нечітка логіка.*

**Вступ і постановка завдання.** На сьогоднішній день, у процесі забезпечення стабільного (неперервного/надійного) функціонування інформаційних систем (ІС) критичної інфраструктури, залишається невирішеним завдання забезпечення належного рівня функціональної стійкості ІС військового призначення (сил оборони та безпеки держави), особливо у воєнний час.

Одним із пріоритетних напрямків рішення даного завдання є пошук оптимального використання наявних серверних ресурсів кластерних систем шляхом управління процесом балансування виконання множини задач, що підлягають обробці [1]. Так, стек сучасного програмного забезпечення (ПЗ) інформаційної взаємодії органів військового управління з підлеглими підрозділами у результаті інтенсивності і складності запитів може вимагати значних обчислювальних потужностей, особливо у випадку обробки великих обсягів даних (*Big Data*), що негативно впливає на продуктивність і ефективність інформаційних та обчислювальних систем, інтегрованих у військову галузь.

Це обумовлює актуальність подальших наукових досліджень щодо підвищення ефективності оптимального використання серверних ресурсів кластерних систем військового призначення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій** [1 – 9] за даною тематикою показав значну перевагу застосування адаптивних алгоритмів (способів, моделей, методів, методик) балансування навантаження кластерних систем у порівнянні із найбільш поширеними і водночас простішими алгоритмами, такими, як *Round Robin* (*Weighted Round Robin*) і *Least*

*Connection (Weighted Least Connection)*. Так, підвищення ефективності адаптивних методів балансування навантаження кластерних систем досягається шляхом покращення показників (властивостей):

*продуктивності*: передбачає здійснення розподілу навантаження між обчислювальними ресурсами таким чином, щоб кожен вузол кластера функціонував з максимальною ефективністю;

*стійкості до відмов*: здатність системи реагувати на зміни навантаження та оптимально перерозподіляти його між ресурсами у реальному часі;

*економії ресурсів*: використання наявних ресурсів з максимально можливим показником оптимуму (глобальний оптимум), що забезпечує скорочення витрат на обслуговування завдань;

*адаптивності*: налаштування на специфічні умови функціонування, що дозволяє системі швидко адаптуватися до змін навантаження і вимог користувачів;

*точності*: використання значної кількості ознак для прийняття рішень, що підвищує точність розподілу навантаження між ресурсами.

Поряд з цим, деякі із перелічених властивостей, в силу своєї природи, здатні негативно впливати на процес прийняття рішення балансувальником навантаження. Наприклад, властивості адаптивності і точності безпосередньо залежать від якості алгоритмів навчання, які використовуються в системі балансування навантаження, що цілком може свідчити про його недостатню функціональну стійкість за різних умов функціонування. У випадку застосування експертних систем піднімаються питання узгодженості суб'єктивних суджень експертів, мінімально необхідної їх кількості, а також відповідного рівня їх компетентності, тоді, як у випадку застосування методів машинного навчання піднімаються питання репрезентативності навчальної вибірки та інформативної значущості простору її ознак. До того ж, у процесі вибору найефективнішого підходу до визначення оптимального використання ресурсів кластерів у розглянутих наукових дослідженнях [2 – 10] недостатньо уваги приділяється наступним властивостям, які також безпосередньо впливають на кінцевий результат прийняття рішення балансувальником навантаження:

*верифікованість* – забезпечення можливості перевірки коректності роботи методу людиною (перевірка і підтвердження коректності виконання покладених на нього функцій);

*якість навчання* – показник ефективності (точність / достовірність / повнота / F-міра тощо) виконання методом поставлених перед ним завдань на основі наявних даних (визначається на основі порівняння згенерованих методом результатів з фактичними значеннями із навчальної вибірки (чим менша різниця між отриманими та фактичними значеннями, тим вища якість навчання методу));

*робастність* – характеристика незалежності впливу на результат дослідження різноманітних виключень (аномалій), стійкість до перешкод (здатність надавати правильні результати навіть за наявності деяких неправильних значень чи помилок у даних);

*гарантія оптимуму* – теоретичне обґрунтування, яке дозволяє стверджувати, що знайдене рішення оптимальне або близьке до оптимального для певного завдання (завжди у глобальному оптимумі).

На цій основі виникає необхідність порівняння існуючих адаптивних методів (алгоритмів) [2 – 10] оптимального використання серверних ресурсів кластерних систем на основі критеріїв *верифікованості, залежності від якості навчання, робастності та гарантії глобального оптимуму*. У таблиці 1 представлено результати порівняльного аналізу існуючих адаптивних методів (алгоритмів) [1 – 10] оптимального використання серверних ресурсів кластерних систем на основі вищезазначених критеріїв.

Таблиця 1

Результати порівняльного аналізу існуючих адаптивних методів оптимального використання серверних ресурсів

| № з/п | Найменування методу             | Верифікованість | Залежність від якості навчання | Робастність | Гарантія глобального оптимуму |
|-------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 1     | Регресійний аналіз              | низька          | висока                         | низька      | середня                       |
| 2     | Системи масового обслуговування | середня         | низька                         | висока      | середня                       |
| 3     | Нейронні мережі                 | низька          | висока                         | середня     | середня                       |
| 4     | Нечітка логіка                  | висока          | висока                         | висока      | середня                       |
| 5     | Рівновага Неша (теорія Ігор)    | висока          | низька                         | висока      | висока                        |
| 6     | Дерева рішень                   | висока          | середня                        | низька      | низька                        |
| 7     | Еволюційні алгоритми            | низька          | низька                         | висока      | висока                        |
| 8     | Випадковий ліс                  | низька          | середня                        | середня     | середня                       |
| 9     | Аналіз ентропії                 | низька          | середня                        | середня     | середня                       |
| 10    | Байєсівські мережі              | низька          | середня                        | середня     | середня                       |
| 11    | Експертні системи               | висока          | висока                         | висока      | середня                       |

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш повну відповідність висунутим критеріям порівняння існуючих адаптивних методів оптимального використання серверних ресурсів демонструють методи, в основу яких покладено концепцію теорії Ігор щодо прийняття оптимальних рішень в умовах конфлікту – рівноваги Неша [1]. Даний науково-методичний апарат дозволяє ефективно знаходити оптимальне рішення використання серверів отриманими задачами, що є стійким до відхилень будь кого з інших учасників гри (будь-яке відхилення від обраних серверів не принесе додаткової користі для клієнтської задачі). Описана взаємодія є некооперативною грою, де гравці – отримані задачі, які намагаються мінімізувати власний час на обробку, а множина стратегій гри – сервери кластерної системи [1].

Вирішення завдання оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи на основі рівноваги Неша представлено значною кількістю наукових досліджень проаналізованих у [1]. Однак, більшість із них не гарантує знаходження глобального оптимуму на профілі чистих стратегій. Крім того, у розглянутих наукових дослідженнях розглядаються питання балансування навантаження на рівні окремих завдань  $q_i$  і не

враховується можливість декомпозиції окремого завдання  $q_i$  – на підзавдання  $sq_j^{q_i}$ , що, у свою чергу, не забезпечує ефективне використання серверних ресурсів кластерної системи за показником рівномірного навантаження на вузли кластерної системи.

В [1] запропоновано підхід, який дозволяє досягти стійкої рівноваги оптимального використання серверних ресурсів із максимальною конвергенцією до глобального оптимуму шляхом декомпозиції кожної отриманої задачі  $q_i$  на підзавдання  $sq_j^{q_i}$  з метою подальшого визначення імовірного розподілу паралельного використання ними серверів. Разом з тим, у запропонованому підході застосовується модель оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення на основі рівноваги Неша, яка базується на програмній моделі *MapReduce* [11] для проведення паралельної обробки великих наборів даних, що включає в себе функцію *Map()*, яка обробляє пару ключ/значення для створення набору проміжних пар ключ/значення, і функцію *Reduce()*, яка об'єднує всі проміжні значення, пов'язані з тим самим проміжним ключем.

Однак, даний метод адаптивного балансування навантаження кластерної системи не вирішує завдання визначення доцільності декомпозиції отриманої задачі у процесі імовірного розподілу паралельного використання серверів для існуючої моделі оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи на основі рівноваги Неша, що, в свою чергу, не дозволяє досягти максимально рівномірного використання серверних ресурсів.

У зв'язку з цим, виникає актуальне наукове завдання удосконалення існуючої моделі оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення на основі рівноваги Неша.

**Метою** дослідження є обґрунтування доцільності декомпозиції завдань, які обробляються кластерною системою, при розрахунку імовірного розподілу паралельного використання серверів кластерної системи на основі рівноваги Неша.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

**Удосконалена модель оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення на основі рівноваги Неша.** Для формулювання та вирішення поставленого наукового завдання формалізуємо процес оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи у відповідності до [1], як некооперативну гру  $G$  у нормальній формі з ненульовою сумою, яка задана певною множиною підзадач  $SQ_{q_i} = \{sq_1^{q_i}, sq_j^{q_i}, \dots, sq_2^{q_i}\}$  отриманого завдання  $q_i$  від користувача із відповідною вагою складності його обробки  $w_{q_i}$ , множиною стратегій їх виконання  $S = \{s_1, \dots, s_i, \dots, s_n\}$  – серверами кластера, а також відповідними функціями їх виграшу  $U_i: s_i \times \dots \times s_n \rightarrow \mathbb{R}$ . Узагальнену платіжну матрицю гри  $G$  представлено на рисунку 1, де  $u_i$  – значення завантаженості сервера  $l_{s_i}$  (значення функції виграшу) для кожної підзадачі  $sq_j^{q_i}$  у комбінації застосування серверів (стратегій)  $s_i \times \dots \times s_n$ ,  $n$  – кількість серверів.

Суть запропонованого методу у [1] полягає в декомпозиції отриманої балансувальником задачі  $q_i$  на симетричні підзадачі  $sq_j^{q_i}$  з метою подальшого їх виконання на множині змішаного застосування (імовірного розподілу) серверів  $S$  кластеру, які перебувають у рівновазі Неша. При чому об'єднання виконаних підзадач здійснюється програмним засобом для розподілених паралельних обчислень *MapReduce* [11].

| $q_i$        |       | $sq_2^{q_i}$ |          |          |
|--------------|-------|--------------|----------|----------|
|              |       | $s_1$        | $s_i$    | $s_n$    |
| $sq_1^{q_i}$ | $s_1$ | $u_{11}$     | $u_{1i}$ | $u_{1n}$ |
|              | $s_i$ | $u_{i1}$     | $u_{ii}$ | $u_{in}$ |
|              | $s_n$ | $u_{n1}$     | $u_{ni}$ | $u_{nn}$ |

Рисунок 1 – Узагальнена платіжна матриця некооперативної гри  $G$  балансування навантаження на основі рівноваги Неша

Завдання визначення доцільності декомпозиції множини отриманих задач для подальшого їх виконання на множині змішаного застосування (імовірнісного розподілу) серверів  $S$  кластеру доцільно розглядати як завдання їх класифікації за типами:

*прості* – задачі, які не потребують значних обчислювальних ресурсів та/або задачі, які недоцільно декомпонувати (відео- / аудіо- потокові);

*складні* – задачі, які потребують значних обчислювальних ресурсів (наприклад, пов'язані з обробкою великих масивів даних (*Big Data*), з використанням інформаційно-аналітичних систем, складні запити до кластеру баз даних тощо).

Очевидно, отримані балансувальником задачі засобами наступних мережових протоколів не потребують подальшої декомпозиції: Telnet; DNS; DHCP; SMTP; SNMP; SSH; NFS; NTP; SNTP; XMPP; LDAP; SIP; RTP; IMAP; POP3; SMB, оскільки у своїй більшості передбачають трансфер службової інформації між сервером та клієнтом, тоді як отримані задачі засобами протоколу FTP, а також складні задачі, що призначені для виконання серверною компонентою веб-сервісу потребують подальшої декомпозиції з метою забезпечення ефективного використання серверних ресурсів у рівновазі Неша з максимальною конвергенцією до глобального оптимуму.

**Обмеження та допущення:** гра  $G$ : некооперативна, біматрична, динамічна, несиметрична; вид стратегій – змішані; діапазон ваг складності  $w_{q_i}$  оцінки отриманих задач  $q_i$  встановлюється на основі попередньо отриманих статистичних значень використання серверних ресурсів типовими задачами у процесі тестування розгорнутих сервісів кластеру.

**Необхідно:** удосконалити існуючу модель оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи на основі рівноваги Неша шляхом додавання блоку визначення доцільності декомпозиції отриманих клієнтських задач  $q_i$  на множину симетричних підзадач  $SQ_{q_i}$  з метою подальшого визначення такого збалансованого призначення їх виконання на  $S$  серверах  $(SQ_{q_i}) \rightarrow (s_i^* \times \dots \times s_n^*)$ , що для  $\forall sq_j^{q_i} \in SQ_{q_i}$  та  $\forall s_i \in S$  виконано обов'язкову умову  $U_i(s_i^*, s_{-i}^*) \geq U_i(s_i, s_{-i}^*)$ .

На основі вищезазначеного, запропоновано модель оптимального використання ресурсів кластерної системи, яка, на відміну від існуючих, визначає необхідність декомпозиції отриманого завдання на 2 підзадачі (біматрична гра) засобами теорії нечіткої логіки з метою подальшого знаходження оптимального розподілу використання серверів кластерної системи на основі рівноваги Неша в умовах деякої нечіткості (розмитості) значень досліджуваного простору ознак отриманих задач та узагальнюючого показника рівня завантаженості серверів.

Так, задача визначення необхідності декомпозиції отриманого завдання на 2 підзадачі зводиться до аналітичного виразу:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow y = (a_1^{jk_j}, a_2^{jk_j}, \dots, a_n^{jk_j}) \in D = (d_1, d_2, \dots, d_n), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де:  $X$  – ознаковий простір опису усіх отриманих задач  $q_i$  балансувальником (мережовий протокол; розмір ресурсу, що підлягає обробці; показники завантаженості процесора /

оперативної пам'яті та мережевої карти вузла кластеру), на основі аналізу якого визначається їх тип (прості, складні);

$y$  – лінгвістичний опис рішення (висновку)  $d_j \in D$  про тип задачі для деякого фіксованого вектора значень ознакового простору  $(x_1^*, x_2^* \dots, x_n^*)$  задачі  $q_i$ ;

$jk_j$  – номери комбінацій нечітких термів  $a_i$  простору ознак  $X$  отриманих задач  $q_i$ , які відповідають значенню  $d_j$ .

У відповідності до [12, 13] функціональна залежність між досліджуваним простором ознак отриманих задач та відповідним прийнятим рішенням про необхідність їх декомпозиції формалізується у вигляді наступної системи нечітких логічних тверджень типу “ЯКЩО-ТО, ІНАКШЕ” (2):

$$\begin{aligned}
 & \text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{11}) \text{ I } (x_2 = a_2^{11}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{11}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{12}) \text{ I } (x_2 = a_2^{12}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{12}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{1k_1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{1k_1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{1k_1}) \text{ ТО} \\
 & \quad y = d_1, \text{ ІНАКШЕ} \\
 & \text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{21}) \text{ I } (x_2 = a_2^{21}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{21}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{22}) \text{ I } (x_2 = a_2^{22}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{22}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{2k_2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{2k_2}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{2k_2}) \text{ ТО} \\
 & \quad y = d_2, \text{ ІНАКШЕ} \\
 & \text{ЯКЩО } (x_1 = a_1^{m1}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m1}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m1}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{m2}) \text{ I } (x_2 = a_2^{m2}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{m2}) \text{ АБО} \\
 & \quad (x_1 = a_1^{mk_m}) \text{ I } (x_2 = a_2^{mk_m}) \text{ I } \dots \text{ I } (x_n = a_n^{mk_m}) \text{ ТО } y = d_m.
 \end{aligned} \tag{2}$$

З використанням операцій  $\cup$  (АБО)  $\cap$  (І) вищеописана система логічних висловлювань (2) приводиться до вигляду (3) [12,13]:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left\{ w_{jp} \left[ \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \right\} \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \tag{3}$$

Розрахунок значень багатомірних функцій належності для всіх рішень опису задач  $q_i$ , що можуть бути отримані балансувальником, представлено у вигляді наступної системи нечітких логічних рівнянь із заміною їх лінгвістичних термів відповідними функціями належності, а операції І та  $\cup$  на  $\wedge$  та  $\vee$  (4):

$$\mu^{dj}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{p=1}^{k_j} \left\{ w_{jp} \left[ \bigwedge_{i=1}^n \mu^{jp}(x_i) \right] \right\}, j = \overline{1, m}, \tag{4}$$

де  $\wedge$  – нечітке логічне І,  $\vee$  – нечітке логічне АБО.

Оскільки операціям  $\wedge$  та  $\vee$  в теорії нечітких множин відповідають операції  $\max$  та  $\min$ , отримуємо [13, 14]:

$$\mu^{dj}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \max_{p=\overline{1, k_j}} \{ w_{jp} \min_{i=\overline{1, n}} [\mu^{jp}(x_i)] \}, j = \overline{1, m} \tag{5}$$

Таким чином, в якості прийнятого рішення про необхідність декомпозиції отриманої задачі  $q_i$  на симетричні підзадачі  $sq_j^{qi}$  на основі фіксованого вектора значень аналізованих

ознак обирається результат із максимальним значенням, отриманим внаслідок згортки функцій приналежності термів нечітких правил опису задач  $q_i$ .

Блок визначення необхідності декомпозиції отриманих задач  $q_i$  моделі оптимального використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення на основі рівноваги за Нешем реалізує наступні налаштування:

1. Множина  $X$  вхідних лінгвістичних змінних:

*Protocol* – штучне кодування найменувань мережевих протоколів кортежами значень: {"BackEnd (серверна логіка веб сервісу) – [0.5, 1, 1.5]", "Telnet – [1.5, 2, 2.5]", "DNS – [2.5, 3, 3.5]", "DHCP – [3.5, 4, 4.5]", "SMTP – [4.5, 5, 5.5]", "SNMP – [5.5, 6, 6.5]", "FTP – [6.5, 7, 7.5]", "SSH – [7.5, 8, 8.5]", "NFS – [8.5, 9, 9.5]", "NTP – [9.5, 10, 10.5]", "SNTP – [10.5, 11, 11.5]", "XMPP – [11.5, 12, 12.5]", "LDAP – [12.5, 13, 13.5]", "SIP – [13.5, 14, 14.5]", "RTP – [14.5, 15, 15.5]", "IMAP – [15.5, 16, 16.5]", "POP3 – [16.5, 17, 17.5]", "SMB – [17.5, 18, 18.5]"}, функція належності: трикутна;

*Size-resource* – розмір ресурсу (Кб), що підлягає обробці: {"Дуже малий – [0, 209715.2]", "Малий – [104857, 262144]", "Середній – [104857, 524300]", "Великий – [104857, 786432]", "Дуже великий – [838900, 1049000]"}, функції належності: Гаусова,  $S$  – функція,  $Z$  – функція;

*LoadCPU* – показник завантаженості процесора у відсотках: {"Дуже малий – [0, 0, 20]", "Малий – [10, 25, 40]", "Середній – [30, 45, 60]", "Великий – [50, 65, 80]", "Дуже великий – [70, 100, 100]"}, функція належності: трикутна;

*LoadRAM* – показник завантаженості оперативної пам'яті у відсотках: {"Дуже малий – [0, 0, 20]", "Малий – [10, 25, 40]", "Середній – [30, 45, 60]", "Великий – [50, 65, 80]", "Дуже великий – [70, 100, 100]"}, функція належності: трикутна;

*LoadNW* – показник завантаженості мережевої карти у відсотках: {"Дуже малий – [0, 0, 20]", "Малий – [10, 25, 40]", "Середній – [30, 45, 60]", "Великий – [50, 65, 80]", "Дуже великий – [70, 100, 100]"}, функція належності: трикутна;

2. Алгоритм нечіткого логічного виводу по базі знань: *Мамдані*;

3. Вихідна лінгвістична змінна  $u$ :  $d_1$  – проста задача: {"Не потребує декомпозиції – 0, 10"};  $d_2$  – складна задача: {"Потребує декомпозиції – 10, 38+"};

4. Метод дефазифікації: *Центроїд (центр ваги)* – використовується для отримання значення показника ваги складності  $w_{q_i}$  отриманої задачі  $q_i$ ;

5. Ваговий коефіцієнт  $w$  для усіх нечітких правил – 1.

Таким чином, визначається необхідність декомпозиції отриманого завдання на 2 підзадачі із відповідним поділом ваги її складності  $w_{q_i}$ . У випадку відсутності необхідності декомпозиції отриманої задачі  $q_i$  гравцями біматричної гри  $G$  є отримана задача  $q_i$  та віртуальна задача з нульовою вагою  $w_0$ .

На рисунку 2 представлено результати імітаційного моделювання засобами програмного забезпечення *Matlab* (пакет *Fuzzy Logic*) процесу визначення необхідності декомпозиції типових клієнтських задач на основі аналізу попередньо отриманого статистичного набору даних при тестуванні кластеру демонструє 100 відсотків ефективності за показником точності (з 993 задач, для яких існувала необхідність декомпозиції 993 декомпозується).

Процедура знаходження оптимального розподілу використання множини серверів  $(s_i^* \times \dots \times s_n^*)$  кластерної системи на основі рівноваги Неша ( $NE$ ) в умовах нечіткості (розмитості) значень досліджуваного простору ознак отриманих задач та узагальненого показника завантаженості серверів здійснюється на основі математичної моделі, запропонованої у [1] (6, 7).

■ Відсутність необхідності декомпозиції ■ Необхідність у декомпозиції

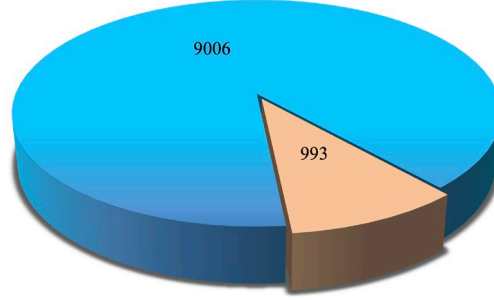


Рисунок 2 – Результати імітаційного моделювання процесу визначення необхідності декомпозиції задач

$$NE: p(sq_1^{q_i} \rightarrow S) = \begin{cases} p_{sq_1^{q_i}}(s_i) = p_{sq_2^{q_i}}(s_i) * u_{11} + \left( \sum_{s_i \in S} p_i(s_i) - p_{sq_2^{q_i}}(s_i) \right) * u_{1n} \\ p_{sq_1^{q_i}}(s_n) = p_{sq_2^{q_i}}(s_i) * u_{n1} + \left( \sum_{s_i \in S} p_i(s_i) - p_{sq_2^{q_i}}(s_i) \right) * u_{nn} \end{cases} \quad (6)$$

$$NE: p(sq_2^{q_i} \rightarrow S) = \begin{cases} p_{sq_2^{q_i}}(s_i) = p_{sq_1^{q_i}}(s_i) * u_{ii} + \left( \sum_{s_i \in S} p_i(s_i) - p_{sq_1^{q_i}}(s_i) \right) * u_{ni} \\ p_{sq_2^{q_i}}(s_n) = p_{sq_1^{q_i}}(s_i) * u_{in} + \left( \sum_{s_i \in S} p_i(s_i) - p_{sq_1^{q_i}}(s_i) \right) * u_{nn} \end{cases} \quad (7)$$

де  $p_{sq_j^{q_i}}(s_i)$  – імовірність вибору сервера  $s_i$  для виконання підзадачі  $sq_j^{q_i}$ ,  $u_{ii}$  – виграш (показник завантаженості серверів  $l_{s_i}$ ), який отримує підзадача  $sq_j^{q_i}$  внаслідок некооперативного вибору сервера  $s_i \in S$ .

Узагальнений показник завантаженості серверів  $l_{s_i}$  для платіжної матриці гри  $G$  визначається на основі значень незадіяних ресурсів, які визначаються у відсотковому співвідношенні до загального обсягу ресурсів серверів:

показник завантаженості  $U_{CPU}$  центрального процесору ( $CPU$ ): середній відсоток використання  $CPU$  за деякий проміжок часу (8).

$$U_{CPU} = \frac{CPU_{Usage}}{CPU_{Capacity}} * 100 \quad (8)$$

де  $CPU_{Usage}$  – кількість операцій, які виконує процесор за одну секунду;  $CPU_{Capacity}$  – максимальна кількість операцій, які може виконати процесор за одну секунду;

показник завантаженості  $U_{RAM}$  оперативної пам'яті ( $RAM$ ): відсоток зайнятої пам'яті в поточний момент часу (9).

$$U_{RAM} = \frac{RAM_{Usage}}{RAM_{Capacity}} * 100 \quad (9)$$

де  $RAM_{Usage}$  – обсяг оперативної пам'яті, який використовується;  $RAM_{Capacity}$  – загальний обсяг оперативної пам'яті;

показник завантаженості мережевої карти ( $NW$ ): відсоток використання пропускної здатності мережевої карти сервера в поточний момент часу (прийом, передача байтів) (10).

$$U_{NW} = \frac{(b_{Sent} - b_{SentPrev}) + (b_{Recv} - b_{RecvPrev})}{b_{Sent} + b_{Recv}} * 100 \quad (10)$$

де:  $b_{Sent}$  – кількість переданих байт в поточний момент часу;  $b_{Recv}$  – кількість отриманих байт в поточний момент часу;  $b_{SentPrev}$  – кількість переданих байт за попередню одиницю часу;  $b_{RecvPrev}$  – кількість отриманих байт за попередню одиницю часу.

На цій основі, показник завантаженості сервера  $l_{si}$  ґрунтується на визначенні відсотку незадіяного ресурсу найбільш завантаженого компонента ( $U_{CPU}, U_{RAM}, U_{NW}$ ) (11):

$$l_{si} = 100 - \max(U_{CPU}, U_{RAM}, U_{NW}) \quad (11)$$

Таким чином, на основі отриманого імовірнісного розподілу  $p(sq_j^{qi})$  досягається оптимальний профіль використання серверних ресурсів з метою виконання отриманих задач  $q_i$  (підзадач  $sq_j^{qi}$ ). Після процедури  $NE$  окремій задачі  $q_i$  (підзадачі  $sq_j^{qi}$ ) неважливо, який із серверів буде обрано іншою задачею (підзадачею), у будь-якому випадку виграш буде однаковий для всіх задач (підзадач).

**Оцінка ефективності застосування удосконаленої моделі.** Оцінку отриманого розподілу ресурсів кластеру запропонованою моделлю оптимального використання серверних ресурсів доцільно здійснювати на основі порівняння її застосування методом адаптивного балансування навантаження кластерної системи військового призначення на основі рівноваги Неша [1] до удосконалення та після, а також у порівнянні із найбільш поширеними і водночас простішими алгоритмами: *Round Robin* і *Least Connection*. Так, чотири сервери кластера поступово навантажуються значною кількістю задач. Критерієм оптимальності у даному випадку є показник рівномірного розподілу використання вузлів кластера під час обробки отриманих задач. На рисунку 3 представлено результати моделювання отриманого розподілу ресурсів кластера у процесі обробки отриманих задач від клієнтів без їх декомпозиції на основі алгоритмів *Least Connection* (рис. 3а) і *Round Robin* (рис. 3б) у вигляді варіаційних кривих навантаження вищезазначених серверів. По осі абсцис – кількість задач, які сервери встигають виконати до моменту повного завантаження кластера (вісь ординат у відсотках).

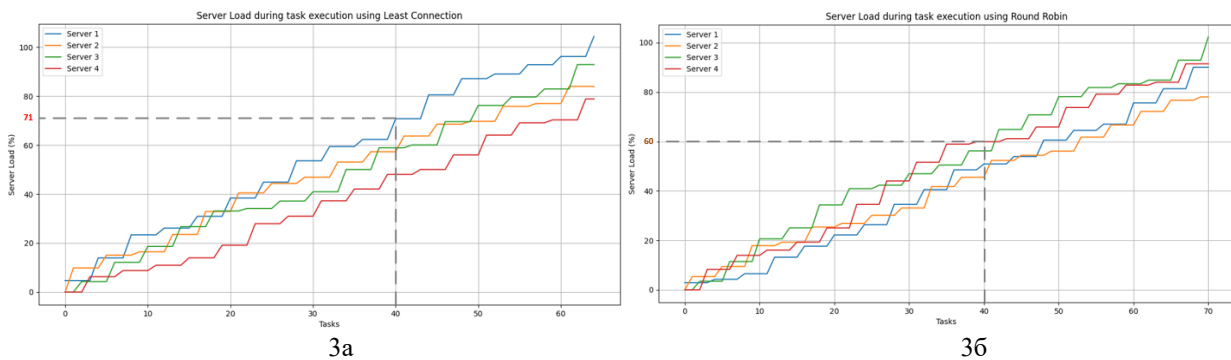


Рисунок 3 – Результати імітаційного моделювання отриманого розподілу ресурсів кластеру (*Round Robin*, *Least Connection*)

З рисунку 3 видно, що у випадку застосування алгоритму *Least Connection* (рисунок 3а) показник рівномірного розподілу ресурсів кластера вищий за аналогічний показник застосування алгоритму *Round Robin* (рисунок 3б), оскільки дисперсія показників навантаження серверів у кожен момент часу є меншою, що у свою чергу дозволяє збільшити

кількість оброблених задач від клієнтів в умовах обмеження апаратних ресурсів та прийнятного часу на обробку запитів.

На рисунку 4 представлено результати моделювання отриманого розподілу ресурсів кластера у процесі обробки отриманих задач від клієнтів до удосконалення моделі оптимального використання серверних ресурсів (рис. 4а) та після (рис. 4б) у вигляді варіаційних кривих навантаження зазначених вище серверів.

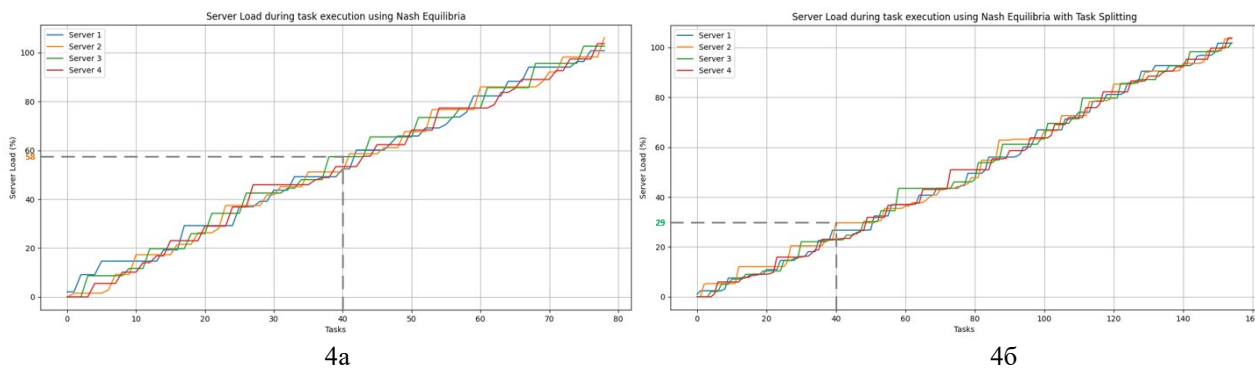


Рисунок 4 – Результати імітаційного моделювання отриманого розподілу ресурсів кластеру (*Nash Equilibria*, *Nash Equilibria with Task Splitting*)

З рисунку 4 видно, що у випадку застосування удосконаленої моделі оптимального використання серверних ресурсів (рис. 4б) показник рівномірного розподілу ресурсів кластера значно вищий на відміну від показника застосування моделі до удосконалення (рис. 4а), який є значно вищим у випадку застосування найпоширенішого алгоритму *Round Robin*, що призводить до збільшення кількості оброблених завдань у двічі.

**Висновки.** У статті вирішується актуальне наукове завдання оптимізації використання серверних ресурсів кластерної системи військового призначення у процесі обробки множини клієнтських запитів. Постановка даного наукового завдання зумовлена необхідністю усунення залежності показників ефективності існуючих методів балансування навантаження кластерних систем від якості навчання, а також досить вузьким підходом аналізованих наукових досліджень до вивчення впливу властивостей верифікованості, робастності та гарантії оптимуму на кінцевий результат прийняття рішення.

Проведено дослідження існуючих підходів до оптимального використання ресурсів кластерної системи. На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що найбільш повну відповідність висунутим критеріям порівняння існуючих адаптивних методів оптимального використання серверних ресурсів демонструють методи, в основу яких покладено концепцію теорії Ігор щодо прийняття оптимальних рішень в умовах конфлікту – рівноваги Неша, як найбільш доцільного підходу до формального опису функціональної взаємодії серверів із клієнтськими запитами, а також як підхід, що не потребує узагальнення емпіричного досвіду (навчання). Даний науково-методичний апарат дозволяє ефективно знаходити оптимальне рішення використання серверів отриманими задачами, що є стійким до відхилень будь кого з інших учасників гри (будь-яке відхилення від обраних серверів не принесе додаткової користі для клієнтської задачі).

Запропоновано модель оптимального використання ресурсів кластерної системи військового призначення, яка ґрунтується на гібридизації застосування теоретико-ігрового підходу і теорії нечіткої логіки. Суть запропонованої моделі полягає у визначенні доцільності декомпозиції отриманого завдання на підзадачі, ініційованого клієнтським запитом, засобами теорії нечіткої логіки з метою подальшого знаходження оптимального розподілу використання серверів кластерної системи на основі рівноваги Неша, із врахуванням узагальненого показника поточного рівня їх завантаженості.

Оцінка ефективності застосування удосконаленої моделі оптимального використання серверних ресурсів демонструє підвищення ефективності розподілу ресурсів удвічі за

критерієм оптимальності – рівномірному (стійкому у рівновазі) розподілі ресурсів на протязі усього процесу функціонування кластеру, що у свою чергу дозволяє значно збільшити кількість оброблених задач, а також підвищити рівень функціональної стійкості ІС військового призначення (сил оборони та безпеки держави), особливо у воєнний час.

Отриманий науковий результат розглядається, як підґрунтя для реалізації нових адаптивних систем балансування навантаження вузлів кластерної системи, застосування яких дозволяє оптимально використовувати ресурси кластерної системи військового призначення у стійкій рівновазі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Метод адаптивного балансування навантаження в кластерних системах військового призначення на основі рівноваги Неша / В. Фесьоха та ін. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського*. 2023. Т. 3, №76. С. 101–110. URL: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2022-3-76/101-110>.
2. Begam G. S. Load Balancing in DCN Servers through SDN Machine Learning Algorithm [Electronic resource] / G. Sulthana Begam, M. Sangeetha, N. R. Shanker // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2021. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05911-1> (date of access: 02.05.2023).
3. Динамічне балансування трафіку між декількома провайдерами / Ю. Кльоц та ін. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. Т. 4, №275. С. 62–67. URL: <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-275-4-62-67>.
4. Efficient Load Balancing in Cloud Computing using Multi-Layered Mamdani Fuzzy Inference Expert System [Electronic resource] / Naila Samar Naz [et al.] // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2019. – Vol. 10, no. 3. – Mode of access: <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100373>.
5. Bayesian Deep Learning-Based Probabilistic Load Forecasting in Smart Grids / Y. Yang et al. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2020. Vol. 16, no. 7. P. 4703–4713. URL: <https://doi.org/10.1109/tii.2019.2942353>.
6. Breiman L., Friedman J., Olsen R. and Stone C. *Classification and Regression Trees*. Monterey, CA: Wadsworth International Group, 1984.
7. Campesato O. *Python 3 for Machine Learning : Book*. Mercury Learning and Information, 2020. 364 p.
8. Multi-objective Task Scheduling Optimization in Cloud Computing based on Genetic Algorithm and Differential Evolution Algorithm / Y. Li et al. *2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, Wuhan, 25–27 July 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.23919/chicc.2018.8483505>.
9. Chen L., Wu K., Li Y. A Load Balancing Algorithm Based on Maximum Entropy Methods in Homogeneous Clusters. *Entropy*. 2014. Vol. 16, no. 11. P. 5677–5697. URL: <https://doi.org/10.3390/e16115677>.
10. Load Balancing Algorithms, Types and Techniques - Kemp [Electronic resource] // Load Balancer For Always-On Application Experience - Kemp. – Mode of access: <https://kemptechnologies.com/load-balancer/load-balancing-algorithms-techniques>.
11. MapReduce Tutorial. *Apache Hadoop*. URL: [https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred\\_tutorial.html](https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred_tutorial.html).
12. Ротштейн О. П. Інтелектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі : Монографія. Вінниця : «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. 320 с.
13. Мітюшкін Ю. І., Мокін Б. І., Ротштейн О. П. *Soft Computing: ідентифікація закономірностей нечіткими базами знань: Монографія*. Вінниця : ВДТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2002. 145 с.

## REFERENCES:

1. Fesokha, V.V., Neroznak, Ye.I., Sova, O.Ya. and Nesterov, O.M. (2023), "Metod adaptivnoho balansuvannia navantazhennia v klasternykh systemakh viiskovoho pryznachennia na osnovi rivnovahy Nesha" [The method of adaptive load balancing in cluster systems of military purposes based on Nash Equilibrium], Collection of the scientific papers of the Centre for Military and Strategic Studies of the National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, No. 3(76), pp. 101-110. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2022-3-76/101-110>
2. Begam, G.S., Sangeetha, M. and Shanker, N.R. (2022), "Load Balancing in DCN Servers through SDN Machine Learning Algorithm", Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 47, pp. 1423-1434.
3. Klots, Y.P., Stefanovytch, K.Y., Shakhoval, Y.S. and Demeshko, V.I. (2019), "Dynamichne balansuvannia trafiku mizh dekilкома provaideramy" [Dynamic traffic balance between several providers], Herald of Khmelnytskyi national university, No. 4(275), pp. 62-67. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2019-275-4-62-67>
4. Naz N.S., Abbas S., Khan M.A., Abid B., Tariq N. and Khan M.F. (2019), "Efficient Load Balancing in Cloud Computing using Multi-Layered Mamdani Fuzzy Inference Expert System", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 10 No. 3, pp. 569-577.
5. Yang, Y., Li, W., Gulliver, T.A. and Li, S. (2020), "Bayesian Deep learning-Based Probabilistic Load Forecasting in Smart Grids", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 16 No. 7, pp. 4703-4713.
6. Breiman L., Friedman J., Olsen R. and Stone C. (1984), Classification and Regression Trees, illustrated, reprint, Wadsworth International Group, CA.
7. Campesato O. (2020), Python 3 for Machine Learning, Mercury Learning and Information, Dulles, VA.
8. Li Yu., Wang S., Hong X. and Li Yo. (2018), "Multi-objective Task Scheduling Optimization in Cloud Computing based on Genetic Algorithm and Differential Evolution Algorithm", 37<sup>th</sup> Chinese Control Conference (CCC), Wuhan, China, July 25-27, 2018, pp. 4489-4494.
9. Chen L., Wu K. and Li Y. (2014), "A Load Balancing Algorithm Based on Maximum Entropy Methods in Homogeneous Clusters", Entropy, Vol. 16 No. 11, pp. 5677-5697.
10. Load Balancer For Always-On Application Experience - Kemp (2023), "Load Balancing Algorithms, Types and Techniques - Kemp", available at : <https://kemptechnologies.com/load-balancer/load-balancing-algorithms-techniques> (accessed 7 June 2023).
11. Apache Hadoop (2022), "MapReduce Tutorial", available at : [https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred\\_tutorial.html](https://hadoop.apache.org/docs/r1.2.1/mapred_tutorial.html) (accessed 7 June 2023).
12. Rotshtein, O.P. (1999), "Intelektualni tekhnolohii identyfikatsii: nechitki mnozhyny, henetychni alhorytmy, neironni merezhi : monohrafia" [Intelligent identification technologies: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks], UNIVERSUM-Vinnytsia, Vinnytsia, 320 p.
13. Mitiushkin, Yu.I., Mokin, B.I. and Rotshtein, O.P. (2002), "Soft Computing: identyfikatsiia zakonomirnostei nechitkymy bazamy znan: monohrafiia" [Soft Computing: identification of regularities by fuzzy knowledge bases], UNIVERSUM-Vinnytsia, Vinnytsia, 145 p.

Ph.D. Fesokha V.V., Neroznak Ye.I., D.Sci.Tech., Sova O.Ya.

## AN IMPROVED MODEL OF OPTIMAL USE OF RESOURCES OF A CLUSTER SYSTEM OF MILITARY ASSIGNMENT BASED ON NASH EQUILIBRIUM

*The article solves the actual scientific task of optimizing the use of server resources of a military cluster system in the process of processing a large number of client requests. The setting of this scientific task is due to the need to eliminate the dependence of the efficiency indicators of the existing methods of balancing the load of cluster systems on the quality of training, as well as a rather narrow approach of the analyzed scientific studies to the study of the influence of the*

*properties of verifiability, robustness and the guarantee of optimality on the final decision-making result. A study of existing approaches to the optimal use of cluster system resources was conducted. Based on the results of the analysis, methods based on the game-theoretic scientific-methodical apparatus were selected as the most appropriate approach to the formal description of the functional interaction of servers with client requests, as well as an approach that does not require the generalization of empirical experience (learning).*

*A model of the optimal use of resources of the military cluster system is proposed, which is based on the hybridization of the application of the game-theoretic approach and the theory of fuzzy logic. The essence of the proposed model is to determine the necessity of decomposition of the received task into subtasks, initiated by the client request, by means of the theory of fuzzy logic with the aim of further finding the optimal distribution of the use of cluster system servers based on the Nash equilibrium, taking into account the generalizing indicator of the current level of their workload. The obtained results are considered as a basis for the implementation of new adaptive systems for balancing the load of nodes of the cluster system, the application of which allows optimal use of the resources of the cluster system of military purpose in a stable balance.*

*Keywords: finding the optimum, cluster, game theory, Nash equilibrium, fuzzy logic.*

## ГРОШОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВОСЛУЖБОВЦІВ ПРОВІДНИХ КРАЇН НАТО Й УКРАЇНИ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

*У статті проведено порівняльний аналіз моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України для формування в подальшому ефективної моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України. Визначено й обґрунтовано критерії відбору низки провідних країн-членів НАТО для порівняльного аналізу моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців, а саме, найбільша загальна чисельність збройних сил, фінансові витрати на збройні сили та витрати на оборонні потреби у відсотках від ВВП. За цими критеріями сформовано групу країн-членів НАТО за континентальною ознакою: Північна Америка, Велика Британія, Європа. Здійснено детальний аналіз оборонних витрат країн НАТО у відсотках від ВВП у період до початку російсько-української війни й під час повномасштабної російської збройної агресії. Визначено й проаналізовано принципи формування й функціональні складові систем грошового забезпечення військовослужбовців досліджуваних країн-членів НАТО, основними з яких є базовий оклад, що враховує військове звання, вислугу років і відповідний ранг оплати, та додаткові виплати. Приведено порядок і розмір грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України, нарахування якого безпосередньо залежить від участі військовослужбовця у бойових діях та від виконання ним бойових завдань. На основі проведеного аналізу встановлено спільні риси та побудовано узагальнену модель систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України. Стверджується, що таку модель можна покласти в подальшому в основу розробки перспективної системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України за схемою «оплата за військове звання відповідно до рівня відповідальності за посадою – оплата за вислугу років у військовому званні – додаткові виплати і надбавки за вміння та умови служби» з урахуванням принципів загальнодержавної системи оплати праці. Дослідження показало, що фундаментальним показником при формуванні нової моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України може стати середня заробітна плата в країні.*

**Ключові слова:** військовослужбовці, система грошового забезпечення, країни-члени НАТО, модель, базовий оклад, додаткові виплати, військове звання, вислуга років, середня заробітна плата.

**Вступ.** Враховуючи сучасну геополітичну ситуацію, стратегічні цілі нашої держави, які визначені у «Стратегії забезпечення державної безпеки» [1] та перспективу членства України в НАТО з урахуванням Плану дій, затвердженого Альянсом [2, с. 70-76], важливим є вирішення питань у сфері оборони й, особливо, пошук можливостей подальшого розвитку, вдосконалення та підвищення рівня грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України. Подальший розвиток системи грошового забезпечення військовослужбовців пов'язаний з уточненням базових принципів (критеріїв), зокрема у сфері оборони, дотримання яких є важливою передумовою набуття Україною членства в НАТО.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Політичні та соціально-економічні реформи, які Уряд реалізує в усіх сферах суспільного життя, спрямовані на євроатлантичну інтеграцію України. Питаннями соціального забезпечення військовослужбовців та членів їх сімей, осіб звільнених з військової служби опікується Міністерство оборони України. Ефективність віддачі військовослужбовця залежить від низки чинників, які формують його особисте ставлення та спонукають до служби. Важливим матеріальним чинником, після незламного патріотизму, та рушійною силою, яка свідомо мотивує людину до виконання військових обов'язків, є рівень грошового забезпечення. У сучасних економічних умовах ще не склалось

кінцеве бачення цього чинника, тому виникла потреба розробки пропозицій з подальшого реформування системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України з урахуванням досвіду провідних країн-членів НАТО.

Категорія «система грошового забезпечення» [3, с. 62] є багатограним поняттям, що охоплює різні аспекти соціального захисту військовослужбовців, які гарантуються державою та регулюються низкою чинних нормативно-правових документів [4-12]. Для обґрунтування напрямів подальшого розвитку й вдосконалення системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України доцільно проведення дослідження систем грошового забезпечення деяких країн-членів НАТО та України.

Об'єктом дослідження є моделі систем грошового забезпечення військовослужбовців країн-членів НАТО й України.

Предметом дослідження є функціональні складові моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців країн-членів НАТО й України.

**Метою статті** є порівняльний аналіз моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України для формування в подальшому перспективної моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України.

Вирішення комплексного питання, що зазначено у меті, передбачає:

1. Формування критеріїв та відбір за ними провідних країн-членів НАТО для проведення порівняльного аналізу моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців.
2. Визначення функціональних складових моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України.
3. Побудову узагальненої моделі систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО, яку в подальшому буде покладено в основу розробки перспективної моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України.

Методологію, яку обрано у межах дослідження, зумовлено специфікою об'єкта та предмета, а також поставленою метою і завданнями дослідження. У цьому дослідженні буде застосовано загальнонаукові методи наукового пізнання, серед яких системно-структурний аналіз. Метод системно-структурного аналізу ґрунтується на системному підході та буде реалізований за такими етапами:

1. Проведення аналізу країн-членів НАТО за визначеними критеріями та виокремлення серед них низки пріоритетних напрямів для подальшого проведення дослідження.
2. Визначення рис систем грошового забезпечення військовослужбовців, характерних для низки обраних країн-членів НАТО, та проведення аналізу їх функціональних складових.
3. Проведення порівняльного аналізу систем грошового забезпечення військовослужбовців країн-членів НАТО та України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В умовах війни, коли безпека та оборона нашої держави, захист її суверенітету й незалежності безпосередньо залежать від рівня вмотивованості людини працездатного віку, де б вона не працювала, особливо військовослужбовців Збройних Сил України, актуалізувався процес пошуку напрямів подальшого розвитку та вдосконалення системи грошового забезпечення військовослужбовців. Реформування сфери оборони в Україні відбувається з урахуванням стандартів та принципів НАТО з питань фінансового забезпечення військовослужбовців.

В дослідженні для проведення аналізу моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців країн-членів НАТО сформовано критерії відбору низки провідних країн-членів НАТО, які характеризують спроможності країни забезпечити необхідні умови розвитку збройних сил та підтримання належного рівня обороноздатності. Такими критеріями обрано: загальну чисельність військовослужбовців (осіб) збройних сил; найбільший розмір витрат на збройні сили; оборонні витрати на армію у відсотках від ВВП; континентальну ознаку (Північна Америка, Велика Британія, Європейський Союз); схожість моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців. За цими критеріями й континентальною ознакою проведено рейтинг країн-членів НАТО та визначено серед них групу провідних країн

для подальшого аналізу. Так, за даними праці [13] проведено аналіз країн-членів НАТО з найбільшою загальною чисельністю збройних сил, за фінансовими витратами на збройні сили та оборонними витратами у відсотках від внутрішнього валового продукту (ВВП). Результати аналізу наведено у табл. 1 і на рис. 1-3.

Таблиця 1

Країни-члени НАТО з найбільшими загальною чисельністю збройних сил та фінансовими витратами станом на 2023 рік (складено автором за даними праці [13])

| Країна     | Загальна чисельність збройних сил, тис. осіб | Витрати на збройні сили, млн. дол. | Витрати на збройні сили, %% від ВВП |
|------------|----------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| США        | 1477                                         | 784 952                            | 3,87                                |
| Туреччина  | 726                                          | 13 303                             | 1,91                                |
| Франція    | 259,05                                       | 50 247                             | 2,11                                |
| Італія     | 230,35                                       | 24 853                             | 1,43                                |
| Німеччина  | 200,77                                       | 56 074                             | 1,57                                |
| В.Британія | 187,97                                       | 59 634                             | 2,43                                |
| Іспанія    | 177,95                                       | 14 069                             | 1,16                                |
| Греція     | 177,6                                        | 4 785                              | 2,58                                |
| Польща     | 105                                          | 12 043                             | 2,30                                |
| Румунія    | 93,6                                         | 5 498                              | 2,38                                |

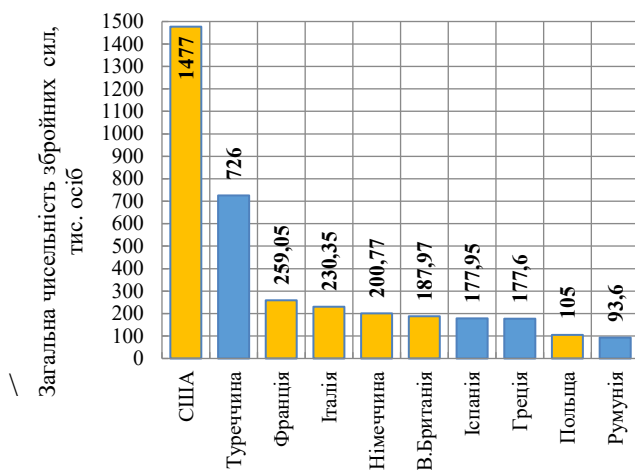


Рисунок 1 – члени НАТО з найбільшою чисельністю збройних сил (ЗС)

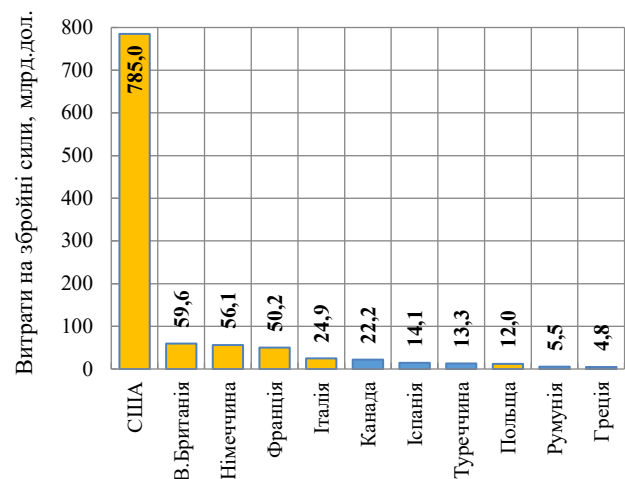


Рисунок 2 – Країни-члени НАТО з найбільшими витратами на збройні сили (ЗС)

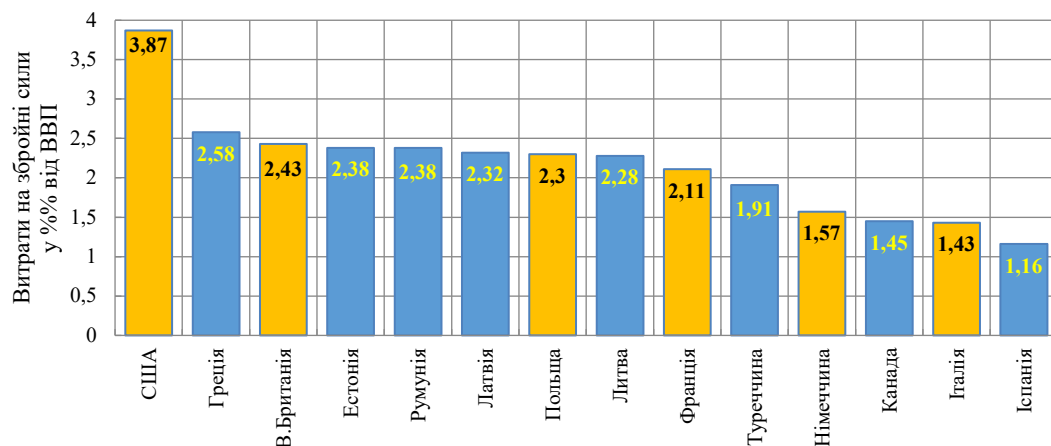


Рисунок 3 – Витрати провідних країн-членів НАТО на збройні сили у відсотках від ВВП

Розмір оборонних витрат на збройні сили країни у відсотках від ВВП є важливим макроекономічним показником, який, з одного боку, опосередковано характеризує військовий стан в певному регіоні, а з іншого – рівень піклування військово-політичного керівництва за безпеку своєї країни. Аналіз даних оборонних витрат деяких країн НАТО європейського регіону у відсотках від ВВП за останні роки, що передували російсько-українській війні й під час її активної фази, показав наступне.

Верхня межа витрат на оборонні потреби у країнах НАТО у 2007 році складала близько 2,0 % від ВВП. В той же час станом на січень 2007 року Україна щорічно витрачала на власні оборонні потреби близько 1,3 % від ВВП [2, с. 77], що не сприяло достатньою мірою технологічному оновленню й оснащенню сучасним озброєнням Збройних Сил України. Але під час російсько-української війни цей показник по Україні зріс до 3,2 % у 2021 році [14], а в умовах повномасштабної російської збройної агресії проти України станом на 2023 рік досягнув 50 % від бюджету держави [15].

Порівняння витрат на оборонні потреби у відсотках від ВВП [13; 14; 16] країн-членів НАТО у 2021–2023 роках виявило наступну тенденцію:

- зниження оборонних витрат в таких країнах, як Туреччина – з 2,10 % до 1,91 %; Італія – з 1,50 % до 1,43 %; Іспанія – з 1,40 % до 1,16 %; Греція – з 3,90 % до 2,58 %;
- зростання оборонних витрат в таких країнах, як США – з 3,50 % до 3,87 %; Франція – з 1,90 % до 2,11 %; Німеччина – з 1,30 % до 1,57 %; Велика Британія – з 2,20 % до 2,43 %; Польща – з 2,10 % до 2,30 %; Румунія – з 2,00 % до 2,38 %.

Проведений аналіз даних таблиці 1 та праці [14] показав, що оборонні витрати країн НАТО у 2021 році в середньому складали 2,19 %, тоді як у 2023 році – 2,17 %, тобто спостерігається в середньому зниження витрат на оборону. Така динаміка оборонних витрат свідчить про те, що не всі європейські держави усвідомлюють можливі для них катастрофічні наслідки російської агресії.

Рейтинг країн-членів НАТО за найбільшою загальною чисельністю збройних сил, найбільшими витратами на збройні сили та оборонними витратами у відсотках від ВВП [13] дозволяє стверджувати, що США, Велика Британія, Німеччина, Франція, Італія та Польща, як дружня й сусідня країна, складають групу провідних країн-членів НАТО, які можуть бути обраними для подальшого аналізу за темою дослідження (табл. 1, рис. 1-3). Обрані країни-члени НАТО та їх збройні сили, з урахуванням праць [13, 14, 16], були структуровані за континентальною ознакою, як показано на рис. 4.

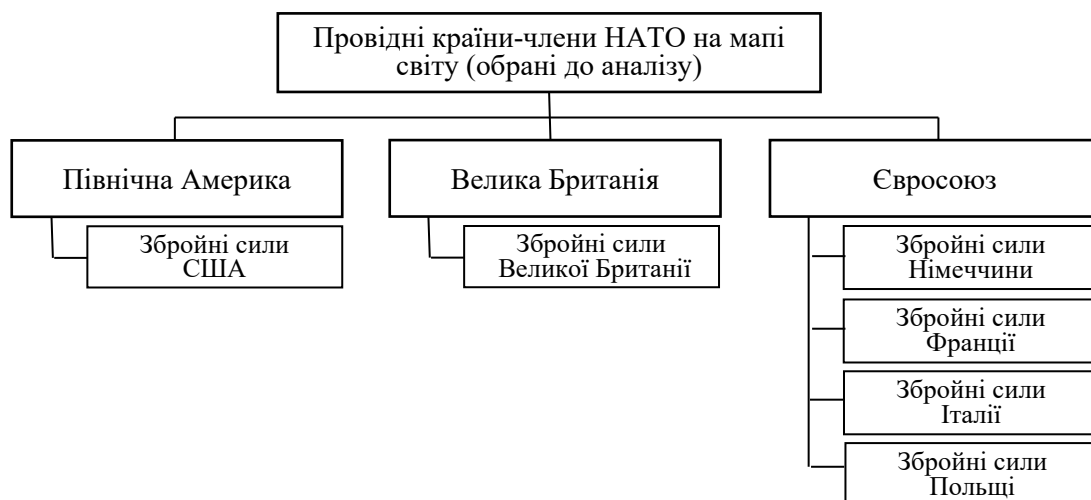


Рисунок 4 – Класифікація вибору країн-членів НАТО за континентальною ознакою

Республіка Польща не належить до країн, які мають найбільші за чисельністю збройні сили та оборонні видатки. Але враховуючи сучасну геополітичну ситуацію, територіальну наближеність Польщі до України, надійні й дружні партнерські зв'язки й ту неоціненну братню допомогу у війні з російським агресором, яку вона постійно надає Україні, а також схожість долі перебування під радянським ярмом, дозволяє нам віднести цю країну до провідних країн-членів НАТО за континентальною ознакою і не тільки. Досвід вступу Польщі до НАТО, як показав аналіз праць [17-20], є дуже цінним для України в нинішніх реаліях. Разом з тим, можуть бути використані при формуванні нової моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України принципові риси системи грошового забезпечення військовослужбовців Війська Польського, де передбачено диференціацію нарахування оплати військовослужбовцям в межах однакового військового звання [21].

В Україні у 2023 році відбулися чергові зміни у порядку нарахування грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил [22]. Розмір грошового забезпечення відтепер безпосередньо залежить від участі військовослужбовця Збройних Сил України у бойових діях та від виконання ним бойових завдань [22]. У табл. 2 наведено середній рівень грошового забезпечення військовослужбовців різних категорій Збройних Сил України з 01.02.2023 року.

Таблиця 2

Середній рівень грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України

| Офіцери                        | Середній рівень грошового забезпечення, грн. | Особи рядового, сержантського та старшинського складу військової служби за контрактом | Середній рівень грошового забезпечення, грн. |
|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Командир бригади               | 50173                                        | Головний сержант роти                                                                 | 26094                                        |
| Заступник командира бригади    | 48919                                        | Головний сержант взводу                                                               | 24866                                        |
| Командир батальйону            | 36481                                        | Командир танка                                                                        | 24861                                        |
| Заступник командира батальйону | 33691                                        | Командир бойової машини                                                               | 23951                                        |
| Командир роти                  | 31224                                        | Командир відділення                                                                   | 22677                                        |
| Заступник командира роти       | 29056                                        | Стрілець                                                                              | 20587                                        |
| Командир взводу                | 28229                                        | Рекрут                                                                                | 20130                                        |

Порівняльний аналіз розмірів мінімального й максимального грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України та із середньою заробітною платою в зазначених державах показав наступне (табл. 3), (рис. 5,6).

Таблиця 3

Співвідношення розмірів грошового забезпечення (ГЗ) військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України та порівняння із середньою заробітною платою (ЗП) в країні (складено автором за даними праць [13, 22])

| Країна          | Мінімальний розмір ГЗ за місяць, дол. США | Максимальний розмір ГЗ за місяць, дол. США | Перевищення макс. ГЗ над мін. ГЗ, рази | Середня ЗП в країні за місяць, дол. США | Відношення мін. ГЗ до середньої ЗП | Відношення макс. ГЗ до середньої ЗП |
|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Франція         | 1595                                      | 15750                                      | 9,9                                    | 3332                                    | 0,48                               | 4,73                                |
| США             | 1785                                      | 16441                                      | 9,2                                    | 3921                                    | 0,46                               | 4,19                                |
| Велика Британія | 1831                                      | 14683                                      | 8,0                                    | 2703                                    | 0,68                               | 5,43                                |
| Німеччина       | 2140                                      | 10697                                      | 5,0                                    | 4392                                    | 0,49                               | 2,44                                |
| Польща          | 640                                       | 2550                                       | 4,0                                    | 1253                                    | 0,51                               | 2,04                                |
| Італія          | 1318                                      | 2635                                       | 2,0                                    | 2726                                    | 0,48                               | 0,97                                |
| <b>Україна</b>  | 551                                       | 1372                                       | 2,5                                    | 460                                     | 1,20                               | 2,98                                |

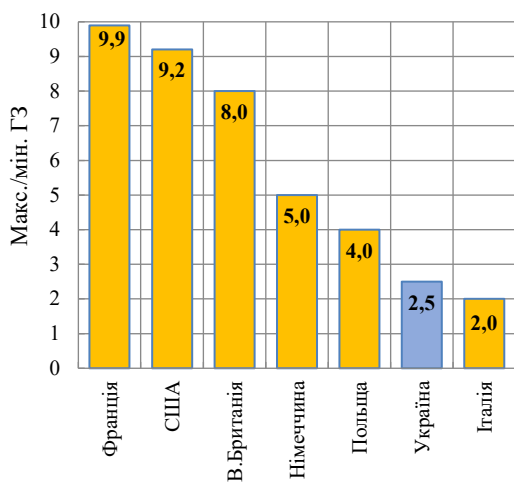


Рисунок 5 – Перевищення максимального грошового забезпечення військовослужбовців над мінімальним

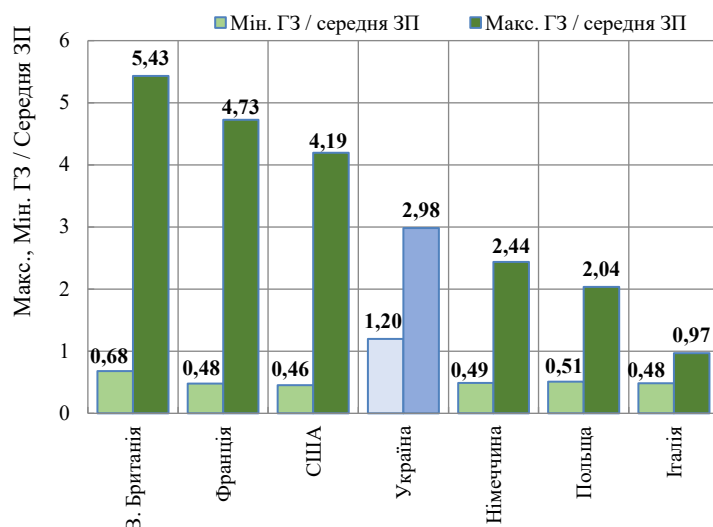


Рисунок 6 – Співвідношення розмірів максимального й мінімального грошового забезпечення військовослужбовців із середньою заробітною платою в країні

В усіх провідних країнах НАТО має місце нерівномірне перевищення максимального грошового забезпечення військовослужбовців над мінімальним. Найбільшого значення це перевищення спостерігається у Франції, США, Великій Британії й Німеччині (відповідно у 9,9; 9,2; 8,0 і 5,0 разів). В Україні максимальне грошове забезпечення більше мінімального у 2,5 рази (у Польщі й Італії 4,0 і 2,0 відповідно) (рис. 5). Вважаємо, що для Збройних Сил України цей показник не має бути занадто завищеним і відповідати оптимальній моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців та принципам загальнодержавної системи оплати праці в Україні.

Певну зацікавленість має викликати проведене в дослідженні порівняння розмірів максимального й мінімального грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України із середньою заробітною платою в країні (рис. 6). Максимальне грошове забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО, таких як Велика Британія, Франція і США, суттєво перевищують середню заробітну плату в країні (у 5,43; 4,73 й 4,19 рази відповідно), що свідчить про відносно високий рівень матеріального забезпечення військовослужбовців, порівняно із іншими категоріями населення в цих країнах. В Україні цей показник дорівнює 2,98 і перевищує відповідні показники Німеччини, Польщі й Італії. Мінімальне грошове забезпечення військовослужбовців досліджуваних країн-членів НАТО складає близько половини середньої заробітної плати, а в Україні – 120 %. Вважаємо, що середня заробітна плата в країні може стати фундаментальним показником при формуванні нової моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України. На даний момент питання грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України регулюються низкою нормативно-правових документів [4-12], які є підставою для визначення розмірів [22] і видів грошового забезпечення за категоріями військовослужбовців, виплати низки соціальних виплат, компенсацій відповідно до умов проходження служби та залежно від стратегічної мети держави.

Проведений аналіз систем грошового забезпечення військовослужбовців досліджуваних країн-членів НАТО [21, 23-26] та України [5, 6] дозволив визначити їх функціональні складові (рис. 7).

| Провідні країни НАТО                                                                                        | Функціональні складові системи грошового забезпечення військовослужбовців |                                                                                                                                                                                                |   |                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>США</b><br>Щомісячна зарплата:<br>Базова зарплата +<br>Доплати та надбавки                               | ⇒                                                                         | <b>Базова зарплата:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– вислуга років;</li><li>– галузь спеціалізації.</li></ul>                                           | + | <b>Доплати та надбавки:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– служба за кордоном;</li><li>– певні види завдань;</li><li>– оплата житла і харчування;</li><li>– служба в певній галузі, ін.</li></ul>                   |
| <b>Велика Британія</b><br>Графік оплати:<br>Базовий оклад +<br>Додаткові виплати                            | ⇒                                                                         | <b>Базовий оклад:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– вислуга років;</li><li>– галузь спеціалізації;</li><li>– рід військ.</li></ul>                       | + | <b>Додаткові виплати:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– додаткові обов'язки;</li><li>– рівень кваліфікації;</li><li>– служба в гарячих точках;</li><li>– миротворча діяльність, ін.</li></ul>                      |
| <b>Німеччина</b><br>Річний дохід:<br>Базовий оклад × К <sub>в</sub> × К <sub>с</sub> +<br>Додаткові виплати | ⇒                                                                         | <b>Базовий оклад:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– коефіцієнт військового звання (К<sub>в</sub>);</li><li>– коефіцієнт стажу (К<sub>с</sub>).</li></ul> | + | <b>Додаткові виплати:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– вислуга років;</li><li>– рід військ;</li><li>– ризики за посадою;</li><li>– додаткові обов'язки, ін.</li></ul>                                             |
| <b>Франція</b><br>Щомісячна зарплата:<br>Базова зарплата +<br>Додаткові виплати і пільги                    | ⇒                                                                         | <b>Базова зарплата:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– посада;</li><li>– досвід роботи;</li><li>– вислуга років.</li></ul>                                | + | <b>Додаткові виплати і пільги:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– певні види завдань;</li><li>– служба в особливих умовах;</li><li>– оплата житла;</li><li>– страхування здоров'я, ін.</li></ul>                    |
| <b>Італія</b><br>Щомісячна зарплата:<br>Базова зарплата +<br>Додаткові виплати і бонуси                     | ⇒                                                                         | <b>Базова зарплата:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– вислуга років;</li><li>– сфера служби;</li><li>– спеціалізація.</li></ul>                          | + | <b>Додаткові виплати і бонуси:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– залежно від посади;</li><li>– залежно від місця служби, ін.</li></ul>                                                                             |
| <b>Польща</b><br>Базова зарплата:<br>Щомісячна зарплата + Додаткові виплати і надбавки                      | ⇒                                                                         | <b>Основна зарплата:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– військове звання;</li><li>– вислуга років;</li><li>– вид служби.</li></ul>                                                    | + | <b>Додаткові виплати і надбавки:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– спеціалізація;</li><li>– особливі завдання;</li><li>– міжнародні місії;</li><li>– розташування, ін.</li></ul>                                   |
| <b>Україна</b><br>Щомісячне грошове забезпечення:<br>Базова ставка +<br>Додаткові надбавки                  | ⇒                                                                         | <b>Базова ставка:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– посадовий оклад;</li><li>– військове звання;</li><li>– вислуга років.</li></ul>                                                  | + | <b>Додаткові надбавки:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>– служба в Силах спеціальних операцій;</li><li>– кваліфікаційний рівень;</li><li>– особливі умови служби;</li><li>– спортивні/наукові звання, ін.</li></ul> |

Рисунок 7 – Функціональні складові систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України (джерело: розроблено автором)

Встановлено, що грошове забезпечення військовослужбовців усіх досліджуваних країн складається із базової частини і надбавок, додаткових виплат та допомоги. Надбавки, додаткові виплати та допомоги у країнах-членах НАТО є другою за значимістю складовою грошового забезпечення військових [27, с. 268-269]. Допомога – це гроші, які надаються на конкретні потреби, на харчування чи житло. Грошові надбавки надаються, коли держава не забезпечує цю конкретну потребу. Наприклад, державного житла недостатньо для розміщення всіх військовослужбовців та їхніх сімей. Ті, хто проживає в державному житлі, не отримують повної житлової допомоги. Ті, хто не проживає в державному житлі, отримують допомогу для оренди комерційного житла. Найпоширенішими видами військових доплат і надбавок у США є базова допомога на прожитковий мінімум (BAS) і базова допомога на житло (BAH) [23]. Більшість військовослужбовців отримує обидві надбавки, і в багатьох випадках ці надбавки складають значну частину загальної зарплати військовослужбовця. Інші, спеціальні

доплати й надбавки враховують виконання певних видів завдань та спеціальних обов'язків в специфічних умовах [24]. Наприклад, особливості систем грошового забезпечення військовослужбовців Британської армії наведено у праці [25], Війська Польського – у праці [28]. Чинна система грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України також складається з базових і додаткових видів виплат [3, с. 62; 5; 6; 22].

Аналіз функціональних складових систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України, чинної нормативно-правової бази [4-12], яка регулює питання грошового забезпечення військовослужбовців, і праць [23-26; 28] дозволив визначити спільні риси цих систем (рис. 8) і побудувати узагальнену модель системи грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО (рис. 9).

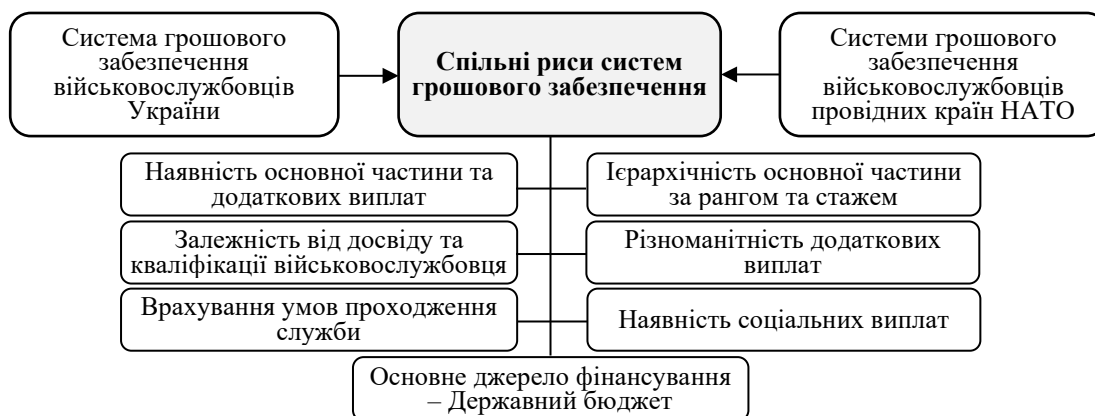


Рисунок 8 – Спільні риси систем грошового забезпечення військовослужбовців України та провідних країн-членів НАТО (джерело: розроблено автором)



Рисунок 9 – Узагальнена модель системи грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО (джерело: розроблено автором)

Результати такого аналізу можуть стати основою для розробки моделі перспективної системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України, яка сприятиме підвищенню соціального захисту військовослужбовців. При побудові нової моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України доцільно врахувати особливості чинних систем грошового забезпечення військовослужбовців України та країн-членів НАТО [27, с. 268-270], а також показник середньої заробітної плати в країні. На даний час в Україні базова ставка для виплати грошового забезпечення військовослужбовцям складає 45 %, тоді як країн-членів НАТО – 70-80 % залежно від моделі [27, с. 269].

**Висновки та пропозиції по подальшим дослідженням.** У статті сформовано вибірку провідних країн-членів НАТО за основними макроекономічними показниками та запропоновано їх класифікацію за континентальною ознакою. Визначено характерні риси й особливості національної системи грошового забезпечення військовослужбовців та систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО.

Проведено порівняльний аналіз функціональних складових моделей систем грошового забезпечення військовослужбовців України та країн-членів НАТО. Досліджено характерні риси систем грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО та обґрунтовано узагальнену модель системи грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн НАТО, до якої доцільно адаптувати систему грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України.

Проведено аналіз розмірів мінімального й максимального грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО й України та його порівняно із середньою заробітною платою в зазначених державах. В результаті дослідження визначено, що фундаментальним показником при формуванні нової моделі системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України може стати середня заробітна плата в країні. Узагальнена модель системи грошового забезпечення військовослужбовців провідних країн-членів НАТО та показник середньої заробітної плати мають бути покладені в основу розробки моделі перспективної системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України.

Подальші дослідження за цим напрямом мають бути присвячені розробці теоретико-методологічних основ моделі перспективної системи грошового забезпечення військовослужбовців Збройних Сил України, наближеної до положень загальнодержавної системи оплати праці в Україні та принципів НАТО, за схемою «оплата за військове звання відповідно до рівня освіти та рівня відповідальності за посадою – оплата за вислугу років у військовому званні – додаткові виплати і надбавки за вміння та умови служби».

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Стратегія забезпечення державної безпеки : Указ Президента України від 16.02.2022 р. № 56/2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/56/2022?find=1&text=> (дата звернення: 20.02.2023).
2. Сіденко В. Р., Жовква І. І., Немиря Г. М., Перепелиця Г. М. Критерії членства в СОТ, ЄС та НАТО. Інтеграційні перспективи України : аналітичне дослідження \ за ред. І. І. Жовква Київ. 2007. URL: [https://www.kas.de/c/document\\_library/get\\_file?uuid=29b2cad0-a271-0f59-6e27-12f433b204e5&groupId=252038](https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=29b2cad0-a271-0f59-6e27-12f433b204e5&groupId=252038) (дата звернення: 27.03.2023).
3. Горodianська Л. В. Особливості грошового забезпечення Збройних сил України в умовах воєнного стану. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. Київ: ВІКНУ імені Тараса Шевченка, 2022. Вип. 2 (50). С. 60-67. doi.org/10.17721/1728-2217.2022.50.60-67.
4. Про Збройні Сили України: Закон України від 06.12.1991 р. № 1934-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1934-12#Text> (дата звернення: 20.04.2023)
5. Порядок виплати грошового забезпечення військовослужбовцям Збройних сил України та деяким іншим особам: наказ Міністерства оборони України від 07.06.2018 р. № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0745-18#Text> (дата звернення: 20.04.2023).
6. Про грошове забезпечення військовослужбовців, осіб рядового і начальницького складу та деяких інших осіб: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.08.2017 р. № 704. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/704-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.04.2023).
7. Про встановлення тарифних розрядів за посадами осіб офіцерського складу Збройних Сил України: наказ Міністерства оборони України від 01.03.2018 р. № 90. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0315-18#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

8. Про затвердження переліків військово-облікових спеціальностей і штатних посад рядового, сержантського і старшинського складу і тарифних переліків посад вищезазначених військовослужбовців: наказ Міністерства оборони України від 07.09.2020 р. № 317. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0927-20#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

9. Питання деяких виплат військовослужбовцям, особам рядового і начальницького складу, поліцейським та їх сім'ям під час дії воєнного стану: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.02.2022 р. № 168. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/168-2022-%D0%BF#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

10. Про соціальний і правовий захист військовослужбовців та членів їх сімей: Закон України від 20.12.1991 р. № 2011-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2011-12#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

11. Про статус ветеранів війни, гарантії їх соціального захисту : Закон України від 22.10.1993 р. № 3551-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3551-12#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

12. Про грошове забезпечення окремих категорій громадян: проект Закону України від 13.03.2022 р. № 7141. URL: [https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=73893](https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=73893) (дата звернення: 20.04.2023).

13. Defence Expenditure of NATO Countries (2013-2020). URL: [https://www.nato.int/nato\\_static\\_fl2014/assets/pdf/2021/3/pdf/210316-pr-2020-30-en.pdf](https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2021/3/pdf/210316-pr-2020-30-en.pdf) (дата звернення: 20.04.2023).

14. Military expenditure (% of GDP). The World Bank Group. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.GD.ZS> (дата звернення: 23.04.2023).

15. «Бюджет для перемоги»: скільки і на що уряд планує витратити у 2023 році. BBC NEWS Україна : веб-сайт. URL: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-62917024> (дата звернення: 20.04.2023).

16. Statement by Secretary of Defense Lloyd J. Austin III on the President's Fiscal Year 2024 Budget. U.S. Department of Defense. URL: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3324103/statement-by-secretary-of-defense-lloyd-j-austin-iii-on-the-presidents-fiscal-y/> (дата звернення: 20.04.2023).

17. Кацевіч М. Польський шлях до НАТО. Перипетії курсу. Центр досліджень армії, конверсії та роззброєння : Сектор безпеки України. 2016. URL: <https://cacds.org.ua/pol-s-kyu-shlyakh-do-nato-perypeti-yi-kursu/> (дата звернення: 20.04.2023).

18. Грицак П. Зовнішня політика Польщі у військово-політичній сфері та сфері міжнародної безпеки (1989-2000) / Павло Грицак // Молода нація: Альманах. 2001. № 1. С. 161-183.

19. Гембські П. Польська економіка у час кризи та її подальші перспективи. Дзеркало тижня : веб-сайт. URL: [https://zn.ua/ukr/foreign\\_economics/polska\\_ekonomika\\_u\\_chas\\_krizi\\_ta\\_yiyi\\_podalshi\\_perspektivi.html](https://zn.ua/ukr/foreign_economics/polska_ekonomika_u_chas_krizi_ta_yiyi_podalshi_perspektivi.html) (дата звернення: 20.04.2023).

20. Вступ Польщі до Європейського Союзу, НАТО та його наслідки. Незалежний аналітичний центр геополітичних досліджень : Борисфен Інтел. URL: [https://bintel.org.ua/nash\\_archiv/arxiv-evroatlantichna-integraciya/vstuplenie-polshi-v-evropejskij-sojuz-nato-i-ego-posledstvija/](https://bintel.org.ua/nash_archiv/arxiv-evroatlantichna-integraciya/vstuplenie-polshi-v-evropejskij-sojuz-nato-i-ego-posledstvija/) (дата звернення: 20.04.2023).

21. Військові звання у Польщі – поділ та історія. Militaria.pl : веб-сайт. URL: <https://militaria.pl/porady/stopnie-wojskowe-w-polsce-podzial-i-historia> (дата звернення: 25.04.2023).

22. Міноборони показало, які зарплати отримають військові у 2023 році. Мілітарний. Mil.in.ua : веб-сайт. URL: <https://mil.in.ua/uk/news/minoborony-pokazalo-yaki-zarplaty-otrymayut-vijskovi-u-2023-rotsi/> (дата звернення: 20.04.2023).

23. Надбавки : офіційний сайт уряду США. URL: <https://www.travel.dod.mil/Allowances/> (дата звернення: 20.04.2023).
24. Положення про управління фінансами Міністерства оборони : офіційний веб-сайт уряду США (DoD FMR). Розділ 7А, Частина 1 «Основний оклад». URL: [https://comptroller.defense.gov/FMR/vol7a\\_chapters.aspx](https://comptroller.defense.gov/FMR/vol7a_chapters.aspx) (дата звернення: 20.04.2023).
25. Шкала заробітної плати британської армії. Таблиця заробітної плати британської армії на 2023 рік: простий у використанні посібник із докладним описом заробітної плати британської армії за цей рік. URL: <https://daysackmedia.co.uk/resources/british-army-pay-scales/> (дата звернення: 20.04.2023).
26. Military Compensation. An official website of the United States government. URL: <https://militarypay.defense.gov/> (дата звернення: 24.03.2022).
27. Городянська Л. В. Особливості систем грошового забезпечення військовослужбовців України та країн-членів НАТО. *Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє* : зб. тез доп. XVIII міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 25 листоп. 2022 р. Київ : ВІКНУ імені Тараса Шевченка, 2022. С. 268-270.
28. Скільки заробляють солдати Війська Польського? ЗОЛД 2023 Заробітки генерала, полковника, підпоручика, рядового? : Dziennik zachodni. URL: <https://dziennikzachodni.pl/tyl-zarabiaja-zolnierze-w-wojsku-polskim-zold-2023-zarobki-general-pulkownika-podporucznika-szeregowego-sprawdzcie-13012023/ar/c1-17172331> (дата звернення 05.04.2023).

#### REFERENCES:

1. “Stratehiia zabezpechennia derzhavnoi bezpeky” Strategy for ensuring state security. (2022) : Decree of the President of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/56/2022?find=1&text= [in Ukrainian].
2. Sidenko, V. R., Zhovkva, I. I., Nemyrya, H. M., & Perepelitsa, H. M. (2007), “Kryterii chlenstva v SOT, YeS ta NATO. Intehratsiini perspektyvy Ukrainy” [Criteria for membership in the WTO, the EU and NATO. Integration prospects of Ukraine: an analytical study], Kyiv, [www.kas.de/c/document\\_library/get\\_file?uuid=29b2cad0-a271-0f59-6e27-12f433b204e5&groupId=252038](http://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=29b2cad0-a271-0f59-6e27-12f433b204e5&groupId=252038) [in Ukrainian].
3. Gorodianska, L. V. (2022), “Osoblyvosti hroshovoho zabezpechennia Zbroinykh syl Ukrainy v umovakh voiennoho stanu” [Peculiarities of monetary support of the armed forces of Ukraine und ermartial law], Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Military special sciences, 2 (50). pp. 60-67, doi: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2022.50.60-67> [in Ukrainian].
4. “Pro Zbroini Syly Ukrainy” [About the Armed Forces of Ukraine]. (2023) : Law of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/1934-12#Text [in Ukrainian].
5. “Poriadok vyplaty hroshovoho zabezpechennia viiskovosluzhbovtsiam Zbroinykh syl Ukrainy ta deiakym inshym osobam” [The procedure for paying monetary allowances to service men of the Armed Forces of Ukraine and some other persons]. (2023) : Order of the Ministry of Defense of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0745-18#Text [in Ukrainian].
6. “Pro hroshove zabezpechennia viiskovosluzhbovtsiv, osib riadovoho i nachalnytskoho skladu ta deiakyykh inshyykh osib” [On the monetary allowance of military personnel, private and commanding officers and some other persons]. (2022) : Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/704-2017-%D0%BF#Text [in Ukrainian].
7. “Pro vstanovlennia taryfnykh rozriadiv za posadamy osib ofiterskoho skladu Zbroinykh Syl Ukrainy” [On the establishment of tariff categories for the positions of officers of the Armed Forces of Ukraine]. (2018) : Order of the Ministry of Defense of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0315-18#Text [in Ukrainian].
8. “Pro zatverdzhennia perelikiv viiskovo-oblikovykh spetsialnostei i shtatnykh posad riadovoho, serzhantskoho i starshynskoho skladu i taryfnykh perelikiv posad vyshchezaznachenykh viiskovosluzhbovtsiv” [On approval of the lists of military registration specialties and staff positions

of privates, sergeants and senior officers and the tariff list of positions of the above-mentioned military personnel]. (2022): Order of the Ministry of Defense of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0927-20#Text [in Ukrainian].

9. “Pytannia deiakykh vyplat viiskovosluzhbovtiam, osobam riadovoho i nachalnytskoho skladu, politseiskym ta yikh simiam pid chas dii voiennoho stanu” [Issues of certain payments to military personnel, private and commanding officers, police officers and their families during martial law]. (2023): Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/168-2022-%D0%BF#Text [in Ukrainian].

10. “Pro sotsialnyi i pravovyi zakhyst viiskovosluzhbovtiv ta chleniv yikh simei” [On the social and legal protection of military personnel and members of their families]. (2022): Law of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/2011-12#Text [in Ukrainian].

11. “Pro status veteraniv viiny, harantii yikh sotsialnoho zakhystu” [On the status of war veterans, guarantees of their social protection]. (2023): Law of Ukraine, zakon.rada.gov.ua/laws/show/3551-12#Text [in Ukrainian].

12. “Pro hroshove zabezpechennia okremykh katehori hromadian” [On monetary allowance for certain categories of citizens]. (2022): Draft Law of Ukraine, w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\_1?pf3511=73893 [in Ukrainian].

13. Defence Expenditure of NATO Countries (2013-2020). (2021), www.nato.int/nato\_static\_fl2014/assets/pdf/2021/3/pdf/210316-pr-2020-30-en.pdf [in English].

14. Military expenditure (% of GDP). The World Bank Group. (2023), data.worldbank.org/indicator/MS.MIL.XPND.GD.ZS [in English].

15. “«Biudzhet dlia peremohy»: skilky i na shcho uriad planuie vytratyty u 2023 rotsi” [“Budget to win”: how much and what the government plans to spend in 2023]. (2022), www.bbc.com/ukrainian/features-62917024 [in Ukrainian].

16. Statement by Secretary of Defense Lloyd J. Austin III on the President's Fiscal Year 2024 Budget. U.S. Department of Defense. (2023), www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3324103/

statement-by-secretary-of-defense-lloyd-j-austin-iii-on-the-presidents-fiscal-y/ [in English].

17. Katsevich, M. (2016), “Polskyi shliakh do NATO. Perypetii kursu.” [Polish way to NATO. The ups and downs of the course], Center for Army Research, Conversion and Disarmament: Security Sector of Ukraine, cacs.org.ua/pol-s-kyi-shlyakh-do-nato-perypetii-kursu/ [in Ukrainian].

18. Gritsak, P. (2001), “Zovnishnia polityka Polshchi u viiskovo-politychnii sferi ta sferi mizhnarodnoi bezpeky (1989-2000)” [Poland's foreign policy in the military-political sphere and in the sphere of international security (1989–2000)], Young Nation: Almanac. № 1. pp. 161-183 [in Ukrainian].

19. Gembsky P. (2010) “Polska ekonomika u chas kryzy ta yii podalshi perspektyvy.” [Polish economy during the crisis and its further prospects], Mirror of the week: website, zn.ua/ukr/foreign\_economics/polska\_ekonomika\_u\_chas\_kryzy\_ta\_yyii\_podalshi\_perspektivi.html [in Ukrainian].

20. “Nezaleznyi analitychnyi tsentr heopolitychnykh doslidzhen” [Poland's accession to the European Union, NATO and its consequences]. (2012), Independent analytical center for geopolitical studies. Borisfen Intel, bintel.org.ua/nash\_archiv/arxiv-evroatlantichna-integraciya/vstuplenie-polshi-v-evropejskij-sojuz-nato-i-ego-posledstviya/ [in Ukrainian].

21. “Viiskovi zvannia u Polshchi – podil ta istoriia” [Military ranks in Poland - division and history]. (2023), militaria.pl/porady/stopnie-wojskowe-w-polsce-podzial-i-historia [in Polish].

22. “Minoborony pokazalo, yaki zarplaty otrymaiut viiskovi u 2023 rotsi” [The Ministry of Defense showed what salaries the military will receive in 2023]. (2023), Military. Mil.in.ua: website, mil.in.ua/uk/news/minoborony-pokazalo-yaki-zarplaty-otrymayut-vijskovi-u-2023-rotsi/ [in Ukrainian].

23. Allowances. (2023), US government official website, www.travel.dod.mil/Allowances/ [in English].

24. Department of Defense Financial Management Regulation. (2023), DoD FMR Chapters. US government official website, [comptroller.defense.gov/FMR/vol7a\\_chapters.aspx](https://comptroller.defense.gov/FMR/vol7a_chapters.aspx) [in English].
25. British Army Pay Scales. British Army Pay Chart 2023: An easy to use guide detailing the British Army Salary for this year. (2023), Daysack media, [daysackmedia.co.uk/resources/british-army-pay-scales/](https://daysackmedia.co.uk/resources/british-army-pay-scales/) [in English].
26. Military Compensation. (2023), An official website of the United States government, [militarypay.defense.gov/](https://militarypay.defense.gov/) [in English].
27. Gorodianska, L. V. (2022), “Osoblyvosti system hroshovoho zabezpechennia viiskovosluzhbovtiv Ukrainy ta krain-chleniv NATO” [Military education and science: present and future], Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].
28. “Skilky zarobliaiut soldaty Viiska Polskoho? ZOLD 2023 Zarobitky henerala, polkovnyka, pidporuchyka, riadovoho?” [How much do soldiers of the Polish Army earn? ZOLD 2023 Earnings of a general, colonel, second lieutenant, private?]. (2023), Dziennik zachodni, [dziennikzachodni.pl/tyle-zarabiaja-zolnierze-w-wojsku-polskim-zold-2023-zarobki-general-pulkownika-podporucznika-szeregowego-sprawdzcie-13012023/ar/c1-17172331](https://dziennikzachodni.pl/tyle-zarabiaja-zolnierze-w-wojsku-polskim-zold-2023-zarobki-general-pulkownika-podporucznika-szeregowego-sprawdzcie-13012023/ar/c1-17172331) [in Polish].

Ph.D. Gorodianska L.V.

#### **MONETARY ALLOWANCE OF MILITARY PERSONNEL OF THE LEADING NATO MEMBER COUNTRIES AND UKRAINE: COMPARATIVE ANALYSIS**

*The article provides a comparative analysis of the models of monetary allowance systems for military personnel of the leading NATO member countries and Ukraine for further formation of an effective model of the monetary allowance system for military personnel of the Armed Forces of Ukraine. The criteria for the selection of a number of leading NATO member countries for a comparative analysis of models of monetary allowance systems for military personnel have been defined and substantiated, namely, the largest total number of armed forces, financial expenditures for the armed forces, and expenditures for defense needs as a percentage of GDP. Based on these criteria, a group of NATO member countries was formed on a continental basis: North America, Great Britain, and Europe. A detailed analysis of NATO countries' defense expenditures as a percentage of GDP in the period before the beginning of the Russo-Ukrainian war and during full-scale Russian armed aggression was carried out. The principles of formation and functional components of the monetary allowance systems of military personnel of the studied NATO member countries are defined and analyzed, the main of which is basic salary, which takes into account the military rank, years of service, and the corresponding payment grade and additional payments. The procedure and amount of monetary allowance for military personnel of the Armed Forces of Ukraine, the calculation of which depends directly on the serviceman's participation in combat operations and on his performance of combat tasks is given. Based on the conducted analysis, common features were established and a generalized model of monetary allowance systems of the leading NATO member countries and Ukraine was built. It is claimed that such a model can be used as a basis for the development of a perspective system of monetary allowance for military personnel of the Armed Forces of Ukraine according to the scheme "pay for military rank according to the level of responsibility on the position - payment for years of service in a military rank - additional payments and allowances for skills and conditions of service" taking into account the principles of the state-wide labor remuneration system. The study showed that the average salary in the country could be a fundamental indicator in the formation of a new model of the monetary allowance system for military personnel of the Armed Forces of Ukraine.*

**Keywords:** *military personnel, monetary allowance system, NATO member countries, model, basic salary, additional payments, military rank, years of service, average salary.*

## Дані про авторів

**Агєєв Олексій Віталійович**, ад'юнкт науково-організаційного відділу, Національна академія Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів. ORCID ID: 0009-0007-9559-7936.

**Андрощук Олександр**, доктор технічних наук, професор, начальник відділу забезпечення якості освітньої діяльності та вищої освіти: Військова академія, м. Одеса, Україна. ORCID ID 0000-0002-8786-851X.

**Берназ Андрій Михайлович**, кандидат технічних наук, начальник організаційно-планового відділу - заступник начальника управління сил підтримки Командування Сухопутних військ ЗСУ, ORCID ID: 0000-0003-3221-2860.

**Березинський Руслан**, кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри ремонту та експлуатації автомобільної та спеціальної техніки: Військова академія, м. Одеса, Україна, ORCID ID 0000-0002-1778-816X.

**Браун Вадим Олегович**, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID ID: 0000-0003-4819-2002.

**Бялий Микола Олегович**, ад'юнкт науково-організаційного відділення Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0009-0006-9487-1502.

**Василенко Віталій Васильович**, доктор технічних наук, професор, професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0009-0008-9589-5498.

**Гахович Сергій Вікторович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0002-9135-6568.

**Гетьман Алевтина Вячеславівна**, старший науковий співробітник, Науковий центр зв'язку та інформатизації Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Кру, ORCID ID 0000-0002-6397-7412.

**Городянська Лариса Володимирівна**, кандидат економічних наук, доцент, провідний науковий співробітник науково-дослідної лабораторії проблем фінансового забезпечення військ (сил) науково-дослідного центру ORCID ID: 0000-0002-4482-1690, Scopus ID 56529623300.

**Глуган Федір Васильович**, аспірант Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0000-0002-2120-1552, SCOPUS ID 57705154800.

**Гуменний Дмитро Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури, ORCID ID 0000-0001-6736-0543, SCOPUS ID 57201380304, індекс DBLP 2.

**Джулій Володимир Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем і мереж Хмельницького національного університету, ORCID ID: 0000-0003-1878-4301.

**Душкін Юрій Георгійович**, викладач кафедри організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки, Військова академія (м. Одеса), ORCID ID- 0000-0003-0449-0863.

**Зуй Оксана Миколаївна**, викладач Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, ORCID ID: 0000-0001-9520-4441.

**Каштелян Сергій**, працівник Державної прикордонної служби України, доцент кафедри прикордонної служби, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький, ORCID ID– 0000-0002-8806-1232.

**Корольов Володимир Миколайович**, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру сухопутних військ,

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, ORCID ID 0000-0001-8421-584X.

**Кравченко Олександр Іванович**, кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0002-7865-5870.

**Кривцун Володимир Іванович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри інженерної техніки Національної академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, ORCID ID: 0000-0002-3907-5320.

**Котов Денис**, ад'юнкт: Військова академія, м. Одеса, Україна, ORCID ID 0000-0002-6775-5593.

**Кубявка Микола Богданович**, кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу проблем педагогіки у військовій сфері - заступник начальника науково-дослідного управління військово-гуманітарних досліджень науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID 0000-0003-1745-7026.

**Кубявка Любов Богданівна**, кандидат технічних наук, Доцент кафедри управління проектами і програмами факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID 0009-0005-5397-1585.

**Кузін Олег Миколайович**, інженер з програмного забезпечення фірми «N-iX».

**Клименко Віктор**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри ремонту та експлуатації автомобільної та спеціальної техніки: Військова академія, м. Одеса, Україна, ORCID ID 0000-0002-8073-4404.

**Ленков Сергій Васильович**, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0001-7689-239X, Scopus ID 58061035100.

**Ленков Євген Сергійович**, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший інженер ВАТ «Меридіан», ORCID ID: 0000-0001-5819-2656.

**Лоза Віталій Миколайович**, кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0002-8050-3614

**Маміч Віктор Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки Військової академії, ORCID ID: 0000-0001-5574-0901.

**Максименко Юрій Анатолійович**, кандидат технічних наук, начальник кафедри організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки Військової академії (м. Одеса), ORCID: 0000-0002-1227-2009.

**Мартинів Лариса Ярославівна**, старший викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, ORCID ID – 0000-0001-7351-1467.

**Мірошніченко Олег Вікторович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID ID: 0000-0002-3969-9758.

**Михайленко Владислав Сергійович**, доктор технічних наук, професор, професор Одеський Національний університет, ORCID ID: 0000-0002-1401-0053.

**Меленчук Віктор**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ремонту та експлуатації автомобільної та спеціальної техніки: Військова академія, м. Одеса, Україна, ORCID ID 0000-0003-1236-6731.

**Мельник Володимир**, начальник кафедри ремонту та експлуатації автомобільної та спеціальної техніки: Військова академія, м. Одеса, Україна, ORCID ID 0000-0002-6153-1628.

**Нерознак Євгеній Ігорович**, ад'юнкт науково-організаційного відділу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, ORCID ID– 0000-0001-5641-5473.

**Опришко Олексій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0000-0001-6433-3566, SCOPUS ID 57200182403.

**Охрамович Михайло Миколайович**, кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник відділу-заступник начальника управління Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0002-8776-3937.

**Пампуха Ігор Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, Лауреат державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений винахідник, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ORCID ID: 0000-0002-4807-3984.

**Пасічник Наталія Анатоліївна**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0000-0002-2120-1552, SCOPUS ID 57205442688.

**Попов Сергій Афанасійович**, доктор наук з державного управління, професор, професор кафедри, організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки Військової академії, ORCID ID: 0000-0002-0729-9581.

**Прохорський Сергій Ігорович**, науковий співробітник наукового центру зв'язку та інформатизації Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, ORCID ORCID: 0000-0002-6369-2601.

**Савков Павло Анатолійович**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу проблем інформаційно-психологічного протидіювання Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0002-0197-0610.

**Сєлюков Олександр Васильович**, доктор технічних наук, професор, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор Аерокосмічної школи Сіаньського університету Цзяотун, Сіань, Китай. ORCID ID: 0000-0001-7979-3434, Scopus ID 57205509194.

**Сова Олег Ярославович**, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри Автоматизованих систем управління Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, ORCID ID – 0000-0002-7200-8955.

**Стукалов Сергій Анатолійович**, старший викладач кафедри комп'ютерних систем та технологій, Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, ORCID ID – 0000-0002-2062-511.

**Теплюк Віктор Михайлович**, старший викладач Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0009-0008-9589-5499,

**Толок Ігор Вікторович**, кандидат педагогічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, Лауреат державної премії України в галузі освіти, (командування Сухопутний військ), ORCID ID 0000-0001-6309-9608.

**Федченко Олексій Петрович**, кандидат військових наук, старший науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ORCID ID 0000-0003-1343-3828, Scopus ID: 57210745203.

**Фесьоха Віталій Вікторович**, доктор філософії у галузі інформаційних технологій, доцент кафедри Комп'ютерних інформаційних технологій Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, ORCID ID – 0000-0001-6612-1970, Scopus ID: 57928287800.

**Хлапонін Юрій Іванович**, доктор технічних наук, професор, Завідувач кафедри кібербезпеки та комп'ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури, ORCID ID 0000-0002-9287-0817, SCOPUS ID 57103659600, індекс DBLP 15.

**Чкалов Артур Павлович**, старший викладач кафедри організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки, Військова академія м. Одеса, ORCID ID— 0000 0002 2115 8363.

**Шаршаткін Данило Юрійович**, старший викладач кафедри організації розвідувально-інформаційної роботи та технічних засобів розвідки, Військова академія м. Одеса, ORCID ID- 0000-0002-3362-2469.

**Шевченко Анатолій Михайлович**, начальник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID ID: 0000-0003-2723-0378.

**Шевченко Валерій Віталійович**, заступник начальника науково-дослідного відділу військово-технічних та інформаційних досліджень Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

**Шевченко Тетяна Іванівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри Одеської державної академії будівництва та архітектури, ORCID ID— 0000-0002-7304-1706

**Шворов Сергій Андрійович**, доктор технічних наук, професор, професор Національного університету біоресурсів і природокористування України, ORCID ID 0000-0001-6433-3566, SCOPUS ID 57200182403.

**Алфавітний покажчик**

|                  |     |                   |        |                  |     |
|------------------|-----|-------------------|--------|------------------|-----|
| Агєєв О.В.       | 26  | Кубявка М.Б.      | 103    | Прохорський С.І. | 114 |
| Андрушук О.      | 13  | Кубявка Л.Б.      | 103    | Савков П.А.      | 76  |
| Берназ А.М.      | 35  | Кузін О.М.        | 94     | Сєлюков О.В.     | 47  |
| Березинський Р.  | 13  | Клименко В.В.     | 13     | Сова О.Я.        | 159 |
| Браун В.О.       | 114 | Лєнков С.В.       | 114,35 | Стукалов С.А.    | 128 |
| Бялий М.О.       | 76  | Лєнков Є.С.       | 35     | Тєплюк В.М.      | 54  |
| Василенко В.В.   | 54  | Лоза В.М.         | 35     | Толок І.В.       | 149 |
| Гахович С.В.     | 140 | Маміч В.В.        | 69,47  | Фєдченко О.П.    | 149 |
| Гєтьман А.В.     | 35  | Максименко Ю.А.   | 47     | Фєсьоха В.В.     | 159 |
| Городянська Л.В. | 172 | Мартинович Л.Я.   | 128    | Хлапонін Ю.І.    | 94  |
| Глуган Ф.В.      | 54  | Мірошніченко О.В. | 114    | Чкалов А.П.      | 69  |
| Гуменний Д.О.    | 94  | Михайленко В.С.   | 128    | Шаршаткін Д.Ю.   | 47  |
| Джулій В.М.      | 114 | Мєленчук В.М.     | 13     | Шєвченко А.М.    | 103 |
| Душкін Ю.Г.      | 69  | Мєльник В.В.      | 13     | Шєвченко В.В.    | 140 |
| Зуй О.М.         | 128 | Нєрозник Є.І.     | 159    | Шєвченко Т.І.    | 128 |
| Каштелян С.      | 7   | Опришко О.О.      | 54     | Шворов С.А.      | 54  |
| Корольов В.М.    | 26  | Охрамович М.М.    | 140    |                  |     |
| Кравченко О.І.   | 140 | Пампуха І.В.      | 149    |                  |     |
| Кривцун В.І.     | 26  | Пасічник Н.А.     | 54     |                  |     |
| Котов Д.         | 13  | Попов С.А.        | 69,47  |                  |     |

## РЕДАКЦІЙНА ПОЛІТИКА ТА ЕТИЧНІ НОРМИ

### ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ТА ДОСТУП ДО ЗМІСТУ «ЗБІРНИКА ВІКНУ»

Редакційна політика «Збірника ВІКНУ» заснована на принципах об'єктивності та неупередженості при відборі статей для публікації; високих вимог до якості наукових досліджень; обов'язковості та конфіденційності рецензування статей; додержання колегіальності при відборі до публікації статей; доступності та оперативності у спілкуванні з авторами; суворого дотримання авторських і суміжних прав. Запобігання протизаконним публікаціям є відповідальністю кожного автора, редактора, рецензента, видавця.

До друку приймаються оригінальні рукописи, які не опубліковано раніше, не було відправлено до інших редакцій та які повністю відповідають вимогам щодо оформлення та порядку подання статей.

У «Збірнику ВІКНУ» сформовані наступні рубрики: військова техніка і технології подвійного призначення, інформаційні технології, загальні питання.

Редакція підтримує політику відкритого доступу та принципи вільного поширення наукової інформації. Примірники збірників знаходяться у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського, науковій бібліотеці ім. М. Максимовича, у бібліотеці Військового інституту та інших бібліотеках України. Електронна версія розміщена на сайті інституту, на сайтах наведених бібліотек та на сайтах «Збірника ВІКНУ»: <http://miljournals.knu.ua/index.php/zbirnuk>; <http://mil.univ.kiev.ua/page/lib/31>

### ЕТИКА ПУБЛІКАЦІЙ

Редакційна колегія журналу вимагає від авторів наслідувати формальним та етичним правилам підготовки і публікації наукових робіт, що вони подають до редакції журналу. Ці норми зумовлено стандартами якості наукових статей, прийнятими у світовому науковому співтоваристві, зокрема публікаційними принципами Publishing Ethics Resource Kit (PERK), рекомендаціями Elsevier, Комітету з етики публікацій (Committee on Publication Ethics, COPE), етичним кодексом вченого України, а також досвідом роботи іноземних та українських професіональних спільнот, наукових організацій, редколегій та редакцій видань.

### ЕТИЧНІ ЗОБОВ'ЯЗАННЯ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ ЖУРНАЛУ

Редакційна колегія у своїй діяльності:

- керується принципами неупередженості, наукової етики рецензування, захисту – інтелектуальної власності,
- несе відповідальність за рівень наукового наповнення журналу,
- виступає проти фальсифікації, плагіату, направлення автором одного рукопису до кількох журналів, багаторазового копіювання тексту статті в різних місцях, введення громадськості в оману щодо реального внеску кожного автора в опубліковану наукову роботу;
- залишає за собою право направити рукопис на розгляд сторонньому рецензенту, у тому числі ретельний відбір через «сліпе» рецензування, відхилити статтю або повернути її на доопрацювання;
- може відхилити рукопис, якщо вважає, що він не відповідає профілю журналу, чи не відповідає етиці та правилам оформлення,
- має право вилучити вже опубліковану статтю в разі виявлення порушення будь-яких прав або загальноприйнятих норм наукової етики, про даний факт вилучення статті редакція повідомляє як автору статті, так і організації, де було виконано дослідження та повідомляє про це у наступному номері.

Співробітники редакції не надають іншим особам інформації, пов'язаної із змістом рукописів, що перебувають на розгляді, крім осіб, які беруть участь у її фаховій оцінці

Згідно з міжнародним законодавством щодо додержання авторського права на електронні інформаційні ресурси, матеріали сайту, електронного журналу або проекту не можуть бути відтворені повністю або частково в будь-якій формі (електронній чи друкованій) без попередньої письмової згоди редакції журналу. При використанні опублікованих матеріалів у контексті інших документів обов'язково необхідними є посилання на першоджерело.

## ЕТИЧНІ ЗОБОВ'ЯЗАННЯ АВТОРА

Автор:

- несе відповідальність за новизну і достовірність наведених у статтях результатів, тактико-технічних та економічних показників, коректність висловлювань а також за те, що в матеріалах не міститься інформація з обмеженим доступом;

- повинен цитувати ті публікації, які мали визначальний вплив на суть викладеного у статті, а також ті, які можуть швидко ознайомити читача з більш ранніми працями, важливими для розуміння цього дослідження, необхідно також належним чином вказувати джерела принципово важливих матеріалів, використаних у даній роботі, якщо вони не були отримані самим автором;

- забезпечує недопустимість плагіату та подання до публікації раніше надрукованих матеріалів, у випадку виявлення зазначених фактів відповідальність несе автор поданих матеріалів.

Співавторами статті мають бути всі особи, що зробили вагомий науковий внесок у подану роботу і поділяють відповідальність за отримані результати. Автор, який подає рукопис до публікації, відповідає за те, щоб до списку співавторів були включені тільки ті особи, які відповідають критерію авторства, і бере на себе відповідальність за згоду інших авторів статті на її публікацію в журналі.

## УВАГА!

Для авторів статей дещо доопрацьовані вимоги щодо особистих даних.

Ці данні подаються українською та англійською мовами в такій послідовності:

Прізвище \_\_\_\_\_  
Ім'я \_\_\_\_\_  
По батькові (за бажанням) \_\_\_\_\_  
Науковий ступінь та вчене звання \_\_\_\_\_  
Місце роботи та посада \_\_\_\_\_  
ORCID 0000-0001-3215-4400  
SCOPUS ID 57193059215 (при наявності)  
Індекс DBLP 10 (при наявності)  
e-mail: \_\_\_\_\_  
моб.телефон \_\_\_\_\_

Надсилати скановані рисунки, формули та таблиці не допускається.

Вся стаття оформлюється одним шрифтом **Times New Roman** вказаними нижче розмірами, зверніть увагу на формули, таблиці та рисунки.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ «ЗБІРНИКА ВІКНУ» ЗДІЙСНЮЄ НЕЗАЛЕЖНЕ («СЛІПЕ») ЕКСПЕРТНЕ РЕЦЕНЗУВАННЯ НАДАНИХ ДО ДРУКУ РУКОПИСІВ ТА ПЕРЕВІРКУ ЇХ НА ПЛАГІАТ. РЕЦЕНЗУВАННЯ ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ЗА АНОНІМНОЮ ФОРМОЮ ЯК ДЛЯ АВТОРІВ, ТАК І ДЛЯ РЕЦЕНЗЕНТІВ.**

## **ПОРЯДОК ПОДАННЯ І ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ ДО "ЗБІРНИКА НАУКОВИХ ПРАЦЬ ВІЙСЬКОВОГО ІНСТИТУТУ КИЇВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА"**

До друку приймаються оригінальні рукописи, які не опубліковано раніше, не було відправлено до інших редакцій та які повністю відповідають вимогам щодо оформлення та порядку подання статей.

**Загальні вимоги до технічного оформлення статей:**

*Обсяг рукопису* - рекомендується не менше 12 повних аркушів українською або англійською мовами.

Формат аркуша - **A4 (210 x 297 мм)**.

Розмір полів: верхнє, нижнє, праве, ліве - **2 см**.

Шрифт тексту - **Times New Roman №12**, через міжрядковий інтервал - **1,0**.

Абзац має становити **10 мм**.

Стаття повинна мати такі необхідні елементи:

**УДК;**

**назва статті**, яка лаконічно відображає зміст та новизну статті;

**анотація та ключові слова;**

**вступ та постановка задачі чи проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;

**аналіз останніх досліджень** і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, визначення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, формулювання мети статті;

**виклад основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів, практичних рішень та експериментів;

**висновки** з даного дослідження і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку.  
**список літератури,**  
**References,**  
**дані про авторів** двома мовами.

**Анотація** до статті виконується українською та англійською мовами загальний обсяг кожної не менш ніж **1800** знаків, включаючи ключові слова.

Вона повинна містити коротке повторення структури статті, що включає вступ, цілі і завдання, методи, результати, висновки.

Анотацію друкують курсивом, шрифт Times New Roman, №11. Після анотації розміщуються **ключові слова** (5–7 термінів).

**Список літератури (References)** повинен включати не менш 12 джерел, з яких 50 % видані за останні 10 років. При цьому не менш 25 % джерел повинно відноситися до іноземної періодики. Самоцитування авторів у списку літератури повинно бути, як правило, не більш за 25 %.

Якщо основною мовою статті є українська, то оформлюються два списки літератури:

перший (список літератури мовою оригіналу джерела) – згідно наказу МОН від 12.01.2017 № 40 та відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання»;

другий (REFERENCES) з урахуванням ДСТУ 8302:2015, наказу МОН від 12.01.2017 № 40 та міжнародного Гарвардського стилю BSI (British Standards Institution).

**На адресу редколегії (03680. м. Київ, вул Ломоносова 81, тел.: +38 (044) 521 - 33 - 82) мають бути надіслані наступні матеріали:**

**експертний висновок**, про можливість відкритого публікування, завірений печаткою, сканкопія надсилається на e-mail: lenkov\_s@ukr.net

**Відомості про авторів див.на стор.150.**

**Вимоги до оформлення References**

References потрібно приводити окремим блоком, повторюючи послідовність попередньо наведеного Списку літератури. Джерела при цьому оформлюються за такими основними правилами (Harvard style оформлення BSI: British Standards Institution):

– запис завжди починається з прізвища автора, потім, через кому, ініціали (між ініціалами пропуски не ставляться), за якими в дужках вказується дата видання; два автори відокремлюються «and» без коми; кілька авторів розділяються комами, але останнє прізвище повинно бути відокремлено «and» без коми;

– витяги з публікацій, тобто назви статей журналів, глав в книгах наводять у "лапках";

– назва журналу або книги завжди виділяється курсивом;

– ім'я видавця вказується перед місцем видання;

– коми використовують для поділу елементів запису;

– для джерел українською або російською мовою, що наводяться у References, назви статей журналів, глав в книгах наводять латиницею (транслітерацією) у "лапках" та перекладом на англійську мову у квадратних дужках. Онлайн-конвертер з української мови для транслітерації: <http://translit.kh.ua/?passport>.

**Приклади оформлення References за стилем Harvard British Standards Institution**

**Книга (ДСТУ 8302:2015)**

Інформаційно-психологічна боротьба у воєнній сфері : монографія / Г.В. Певцов, А.М. Гордієнко, С.В. Залкін, С.О. Сідченко, А.О. Феклістов, К.І. Хударковський. Х. : Вид. Рожко С.Г., 2017. 276 с.

### **Книга (Harvard style BSI)**

Pievtsov, H.V., Hordiienko, A.M., Zalkin, S.V., Sidchenko, S.O., Feklistov, A.O. and Khudarkovskyi, K.I. (2017), "Informatsiino-psykholohichna borotba u voiennoi sferi: monohrafiia" [The information and psychological struggle in the military sphere], Rozhko S.H., Kharkiv, 276 p.

### **Стаття із періодичного видання (ДСТУ 8302:2015)**

Карпенко, Д.В. Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 2(27). С. 75–78.

### **Стаття із періодичного видання (Harvard style BSI)**

Karpenko, D.V. (2017), "Stan ta perspektyvy rozvytku zenitnoho raketnoho ozbroiennia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy" [The state and perspectives of the development of anti-aircraft missile armaments in the Air Force of Ukraine], Science and Technology of the Air Force of Ukraine, No. 2(27), pp. 75–78.

### **Дисертація (ДСТУ 8302:2015)**

Белозеров, И.В. Религиозная политика: дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02; защищена 22.01.02; утв. 15.07.02 / Белозеров Иван Валентинович. К., 2002. 215 с.

### **Дисертація (Harvard style BSI)**

Belozerov, I.V. (2002), "Relyhyoznaia polityka: dissertation" [The religious policy: dissertation], Kiev, 215 p.

### **Джерела електронного ресурсу віддаленого доступу (ДСТУ 8302:2015)**

Романов В. К вопросу о путях достижения национальной безопасности в условиях глобализации: проблемы теории и практики в контексте внешней политики России и Польши [Електронний ресурс] Безопасность и оборона, 2016. № 1(2), С. 7–15. Режим доступа до журн.: [http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De\\_Securitate\\_12\\_2016.pdf](http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De_Securitate_12_2016.pdf).

### **Джерела електронного ресурсу віддаленого доступу (Harvard style BSI)**

Romanov, V. (2016), "K voprosu o putyakh dostizheniya natsionalnoy bezopasnosti v usloviyakh globalizatsii: problemy teorii i praktiki v kontekste vneshney politiki Rossii i Polshi" [To the question about the ways to achieve national security in the context of globalization: the problems of theory and practice in the context of the foreign policy of Russia and Poland], Security and Defence Journal, No. 1(2), pp. 7–15, [www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De\\_Securitate\\_12\\_2016.pdf](http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De_Securitate_12_2016.pdf) (accessed 12 July 2017). (примітка: при наведенні URL "http: //" має бути виключено).

Більш детальну інформацію щодо оформлення бібліографічних посилань за стилем Harvard British Standards Institution можна знайти на сайті *Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського* та онлайн генератора посилань *Cite This For Me*.

Редакційна колегія: e-mail: [lenkov\\_s@ukr.net](mailto:lenkov_s@ukr.net)

Шрифт

**СХЕМА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ  
У «ЗБІРНИКУ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ВІКНУ»**

УДК

науковий ступінь, вчене звання  
ініціали та прізвище автора (співавторів)  
Місце роботи автора (співавторів)

12 пт

УДК 32.973.202:07.681

д.т.н., проф. Степанов С.В. (ВІКНУ)  
к.т.н., с.н.с. Українець О.В. (ВІКНУ)  
к.т.н. Саленко В.Д. (ВІКНУ)

12 пт  
жирний

**КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИМИ ПРИСТРОЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ЖЕСТІВ**

*Анотація* до статті виконується українською та англійською мовами (загальний обсяг кожної не менш ніж **1800** знаків, включаючи ключові слова).

11 пт  
курсив,  
жирний

*Для керування електронними пристроями, для сучасного користувача важливими критеріями є такі, як: зручність та простота керування. Для того щоб надати користувачу такі можливості та зручності в використанні, є досить доцільною розробка системи, яка б надавала такі можливості. Керування системою, яка працює на основі жестів, є надзвичайно перспективним, та може суттєво полегшити користувачу роботу з нею, тому що, жести які потрібні для керування системою, можуть бути інтуїтивно зрозумілими користувачу, порівняно з іншими системами які працюють за допомогою комбінацій клавіш.*

*Для вирішення задач керування за допомогою жестів, пропонується програмно-апаратний комплекс, який побудований на основі різних модулів, кожен з яких в свою чергу виконує відповідну роль в системі, наприклад знаходить точку інтересу з множини чи вираховує глибину сцени. Також в системі є ядро, яке відповідає за аналіз модифікаторів та жестів. На основі даних модулів стає можливо створити систему, яка б працювала на основі жестів. Але для створення даної системи, потрібно вирішити певні задачі, такі як: сегментація, скелетизація, спостереження. Кожна з яких містить в собі відповідні математичні моделі та визначення. Запропонований програмно-апаратний комплекс для керування природними жєстами. Суть програмно-апаратного комплексу полягає в тому, щоб забезпечити користувача таким інтерфейсом, щоб він виконував роботу знаходячись частково віддалено від робочого місця, чи маніпулював інструментами на відстані, тобто за допомогою жестів. Використання запропонованого програмно-апаратного комплексу дозволить покращити показники стерильності в операційних, підвищити технічну безпеку під час виконання безпосередньої роботи користувача з приладами.*

*Ключові слова: штучний інтелект, контролери, модулі, жести, глибина сцени, точка інтересу, аналіз модифікаторів, аналіз жестів, сегментація, скелетизація, спостереження.*

**ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ СТАТТІ**

12 пт

**НЕОБХІДНІ ЕЛЕМЕНТИ СТАТТІ:** вступ та постановка проблеми (задачі) у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття, формулювання цілей статті (постановка завдання), виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; їх практичного значення та результатів експерименту чи впровадження; висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку. Література. References.

УВАГА! Таблиці і рисунки друкують після посилань. Якщо у статті кілька таблиць чи рисунків - їх нумерують. Заголовки таблиць і рисунків необхідно розмішувати по

центру, а нумерацію таблиць праворуч від таблиці (стиль **normal**, шрифт – **Times New Roman № 12**). **Рисунки** повинні бути виконані за допомогою редактора **Word**, згруповані і являти собою один графічний об'єкт. **Формули** та позначення по тексту обов'язково набирати за допомогою **Equation Editor** - редактора формул **Word**, а не у текстовому режимі. У редакторі формул мають бути встановлені такі параметри - розміри: загальний – **12 pt**, великі індекси – **10 pt**, малі індекси – **7 pt**, великі символи – **14 pt**, малі символи – **10 pt**; стиль: текст, функції, змінні, матриці-вектори, числа – шрифт **Times New Roman**, для решти стилів – шрифт **Symbol**, при цьому: строк. грецькі – прямі. Великі за розміром вирази та рівняння необхідно записувати у кілька рядків.

## ЛІТЕРАТУРА

Перший (список літератури на мові оригіналу джерела) – згідно наказу МОН № 40 від 12.01.2017 та відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання»;

другий (REFERENCES) з урахуванням ДСТУ 8302:2015, наказу МОН № 40 від 12.01.2017 та міжнародного Гарвардського стилю BSI (British Standards Institution).

### ЛІТЕРАТУРА:

11 пт

### ЗРАЗОК

1. Ленков С.В., Толлок І.В., Цицарев В.М., Ленков Є.С. Моделювання процесів витрачання та поповнення ресурсу угруповання технічних об'єктів. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків. 2018. Вип. 1(53). С. 155 – 162.

2. Жиров Г.Б., Ленков Є.С., Цицарев В.М., Проценко Я.М. Моделювання процесу відмов об'єктів, що відновлюються з ієрархічною конструктивною структурою. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ. 2017. Вип. 55. С. 30-39.

### REFERENCES:

11 пт

### ЗРАЗОК

1. Lienkov, S.V., Tolok, I.V., Tsytarev, V.N. and Lenkov, Ye.S. (2018), "Modeliuvannia protsesiv vytrachannia ta popovnennia resursu uhrupuvannia tekhnichnykh ob'ektiv" [Modeling of processes of expenditure and resource replenishment grouping of technical objects], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 1(53), pp. 155-162.

2. Zhyrov, G.B., Lenkov, Ye.S., Cyrcarev, V.M. and Procenko, Ja.M. (2017), "Modeljuvannja procesu vidmov ob'ektiv, shho vidnovljut'sja z ijerarhichnoju konstruktyvnoju strukturoju" [Simulation of the process of failure of objects that are restored with a hierarchical constructive structure], *Zbirnyk naukovykh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 55, pp. 30-39.

Prof. Stepanov S.V., Ph.D. Ukrainets O.V., Ph.D. Salenko V.D.

11 пт

курсів,  
журний

### CONTROL ELECTRONIC DEVICES USING GESTURES

*For management of electronic devices, for today's user important criteria are: convenience and ease of management. In order to provide the user with such opportunities and usability to use, it is quite reasonable to develop a system that would provide such opportunities. Managing a gesture-based system is extremely promising, but can greatly facilitate the user to work with it, because the gestures that are needed to manage the system can be intuitive to the user, compared to other systems that operate using keyboard shortcuts. To solve the problems of managing using gestures, a software-hardware complex is proposed that is based on different modules, each of which in turn plays an appropriate role in the system, for example, finds a point of interest from a plurality or calculates the depth of a scene. Also, the system has a kernel that is responsible for analyzing modifiers and gestures. Based on the data of the modules it becomes possible to create a system that would work on the basis of gestures. But for the creation of this system, it is necessary to solve certain problems, such as: segmentation, skeletalization, observation. Each of them contains the corresponding*

*mathematical models and definitions. Proposed hardware and software complex for management of natural gestures. The essence of the software and hardware complex is to provide the user with such an interface that he was performing work while being partially remote from the workplace, or manipulating tools at a distance, that is, using gestures. The use of the proposed software-hardware complex will improve the sterility parameters in the operating system, increase the technical safety during the direct work of the user with the devices.*

*Keywords: artificial intelligence, controllers, modules, gestures, depth of the scene, point of interest, analysis of modifiers, gesture analysis, segmentation, skeletonization, observation.*

Дані про авторів див.стор.150

#### ЗРАЗОК

11 пт

**Степанов Сергій Вікторович**, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID – 0000-1202-6512-1234, ORCID ID 0000-0001-3215-4400, SCOPUS ID 57193059215 (при наявності), індекс DBLP 10 (при наявності), e-mail:stepanov@ukr.net, тел. 068 652 26 62.

**Українець Олексій Васильович**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID – 0000-1204-6512-1235, ukr@ukr.net, 073 556 6776. SCOPUS ID 57193059215 (при наявності), індекс DBLP 10 (при наявності), e-mail:stepanov@ukr.net, тел. 068 652 26 62.

**Саленко Володимир Дмитрович**, кандидат технічних наук, науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID – 0000-1201-6512-1236, salenko@ukr.net, 0938763423. SCOPUS ID 57193059215 (при наявності), індекс DBLP 10 (при наявності), e-mail:stepanov@ukr.net, тел. 068 652 26 62.

**Stepanov Sergij**, doctor of technical sciences, professor, Chief Researcher of the Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University (Kiev, Ukraine)

**Ukrainets Oleksij**, candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher of the Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University (Kiev, Ukraine)

**Salenko Volodymyr**, candidate of engineering sciences, Researcher of the Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University (Kiev, Ukraine).

**Наукове видання**



# **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Військового інституту**

**Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка**

**№ 79**

Усі матеріали надруковані в авторській редакції

---

Підписано до друку 15.06.23 р.  
Авт. друк. арк. 22. Формат 60х90/8

---

Надруковано у навчальному картографічному комплексі ВІКНУ

03189, Київ, вул. Ломоносова, 81

т. 521-32-89