

**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**

**№ 71**

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 – 2021**

УДК621.43

ББК 32-26.8-68.49

**Збірник наукових праць** Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2021. № 71. 112 с.

**Голова редакційної колегії:**

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

**Члени редакційної колегії:**

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

*Редакційна колегія прагне до покращення змісту та якості оформлення видання і буде вдячна авторам та читачам за висловлювання зауважень та 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 30.08.21р., протокол № 23.

Відповідальні за макет:  
Ряба Л.О., Солодєєва Л.В.

Відповідальність за новизну і достовірність наведених результатів, тактико-технічних та економічних показників і коректність висловлювань несуть автори. Точка зору редколегії не завжди 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.

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. Ломоносова, 81 тел./факс +38 (044) 521 – 33 – 82

Наклад 300 прим.

Ел.адреса редактора: lenkov\_s@ukr.net

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

## ЗМІСТ

### ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<b>Banzak O.V., Sieliukov O.V., Yefimenko N.A., Konovalenko O.I.</b> Development of a complex for individual dosimetric control.....	<b>5</b>
<b>Lienkov S.V., Zinchik A.G., Lenkov E.S., Bondarenko T.V.</b> Comparison of the effectiveness of methods to optimize the parameters of the maintenance strategy complex technical objects.....	<b>11</b>
<b>Катаєва М.О.</b> Метод компенсації просторової невизначеності при вимірюванні у нанометровому діапазоні.....	<b>22</b>
<b>Кошовий М.Д., Малкова Г.В.</b> Двопараметрична оптимізація плану експерименту при дослідженні шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС.....	<b>31</b>
<b>Мясищев А.А., Овчарук В.В., Степаненко Є.О.</b> Управління вібрацією БПЛА роторного типу за допомогою режекторних фільтрів.....	<b>37</b>

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Вайвала Є.Ю., Цюпа Н.В., Шмідке В.С.</b> Застосування згорткової нейронної мережі з декількома виходами для розпізнавання обігових монет.....	<b>49</b>
<b>Козубцова Л.М.</b> Процесно-ризиковий підхід у плануванні заходів кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.....	<b>59</b>
<b>Толок І.В., Браун В.О., Мірошніченко О.В., Пампуха І.В., Солодєєва Л.В.</b> Аналіз навчально-інформаційних систем нового покоління для безперервної підготовки військових фахівців .....	<b>68</b>
<b>Федченко О.П., Федорієнко В.А., Лаврінчук О.В.</b> Особливості використання спеціального програмного забезпечення на платформі ARCGIS для моніторингу зон конфлікту .....	<b>78</b>
<b>Шворов С.А., Пасічник Н.А., Опришко О.О., Глуган Ф.В., Юхименко А.С.</b> Інформаційна технологія навігації та управління польотом БПЛА на базі спектральних портретів місцевості.....	<b>88</b>

### ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

<b>Зайцев Д.В., Добровольський В.Б., Мельник Я.І., Сизов А.І.</b> Впровадження фахового курсу тактичного рівня 1-1b як основа допідготовки курсантів за стандартами НАТО.....	<b>96</b>
Дані про авторів.....	<b>103</b>
Алфавітний покажчик.....	<b>105</b>
Порядок подання і оформлення статей до "Збірника наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка".....	<b>106</b>

## CONTENTS

### MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

<b>Banzak O.V., Sieliukov O.V., Yefimenko N.A., Konovalenko O.I.</b> Development of a complex for individual dosimetric control.....	5
<b>Lienkov S.V., Zinchik A.G., Lenkov E.S., Bondarenko T.V.</b> Comparison of the effectiveness of methods to optimize the parameters of the maintenance strategy complex technical objects.....	11
<b>Kataeva M.O.</b> Method of spatial uncertainty compensation for measurement in nanometer range.....	22
<b>Koshevoy N.D., Malkova A.V.</b> Two-parameter optimization of the experimental plan when studying the roughness of the silicon surface during deep plasma-chemical etching of MEMS elements.....	31
<b>Myasishchev A.A., Ovcharuk V.V., Stepanenko Ye.O.</b> Control of vibration of rotary type UAV with the help of rejection filters.....	37

### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Vaivala Ye.Yu., Tsopa N.V., Shmidke V.S.</b> Application of a convolutional neural network with multiple outputs for circulating coins recognition.....	49
<b>Kozubtsova L.M.</b> Risk process approach in planning cyber security measures of critical infrastructure facilities.....	59
<b>Tolok I.V., Braun V.O., Miroshnichenko O.V., Pampukha I.V., Solodeeva L.V.</b> Analysis of new generation educational and information systems for continuous training of military specialists.....	68
<b>Fedchenko O.P., Fedoriienko V.A., Lavrinchuk O.V.</b> Features of using the specific software based on ARCGIS platform monitoring conflict zones.....	78
<b>Shvorov S.A., Pasichnyk N.A., Opryshko O.O., Glugan F.V., Yukhimenko A.C.</b> Navigation information technology and uav flight control on the basis of spectral portraits of the location...	88

### GENERAL QUESTIONS

<b>Zaitsev D.V., Dobrovolskyi V.B., Melnyk Ya.I., Sizov A.I.</b> Introduction of the t-level as a basis for student training according to NATO standards.....	96
Data on authors .....	103
Alphabetical index .....	105
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.....	106

# ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

UDC 531:535

D.Sci. Tech., prof. **Banzak O.V.** (SUITC)  
D.Sci. Tech. **Sieliykov O.V.** (KNUCA)  
Dr. Sci. Tech., prof. **Yefimenko N.A.** (ChNU)  
**Konovalenko O.I.** (m/u A 3814)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2021/71-01>

## DEVELOPMENT OF A COMPLEX FOR INDIVIDUAL DOSIMETRIC CONTROL

*At present, practically all branches of industry, many branches of science use sources of ionizing radiation (IR). Nuclear power plants, gamma plants of various capacities, flaw detectors, counters and many other equipment are widely used in the defense complex, medicine, agriculture. However, the most important sector of the use of IR in Ukraine after the elimination of nuclear combat potential is nuclear power. The country has five nuclear power plants (NPP) with reactors of two types, which generate about 40% of the country's total electricity.*

*In this regard, the problems of dosimetry, which today have become an independent scientific and technical area of nuclear physics, are acquiring ever increasing importance. Dosimetry, in its essence, solves the problem of linking physical quantities with the expected radiation effects of the use of IR.*

*When standardizing radiation doses for personnel in accordance with international recommendations and rules, the issue of reducing the dose costs of personnel, and, first of all, repair costs, arose sharply, since the main contribution to the collective radiation dose of NPP personnel is made by maintenance and repair work. At the initial stage, it was possible to reduce the radiation doses mainly due to the implementation of organizational measures of administrative increase in the requirements for the quality of preparation and performance of work in the controlled access area. Further reduction of personnel dose loads can be ensured by introducing ALARA principle into the NPP operation practice. To do this, it is necessary to create a system for monitoring the radiation situation and personal dosimetry, which could ensure the identification of areas with increased radioactivity and measure the full set of their parameters (at least, dose, dose rate, coordinates, time point, personal dosimeter number) in real time. without the participation of the wearer of a personal dosimeter, that is, within the framework of his normal life and without his knowledge, if the dose rate does not exceed the maximum permissible level. When this level is exceeded, the wearer of a personal dosimeter must be warned of the impending danger in order to take part in actions to overcome it, but not as an intermediary in the process of the above measurements.*

*On the basis of this concept, a complex of individual dosimetric control is proposed in this work.*

*Keywords: nuclear power, personnel exposure dose, radiation monitoring, radiation dose rate, personal dosimeter*

**Introduction.** The main task of dosimetry – identification of sources ionizing radiation (IR) that pose a threat to the environment and humans – today is solved using a variety of technical registration tools with varying degrees of efficiency. In addition, the existing variety of terms and values in this industry requires some clarification in order to convey the reliability of the presented research results. Nowadays, almost all industries, many branches of science use IR. Nuclear power plants, gamma plants of various capacities, flaw detectors, counters and many other equipment are widely used in the defense complex, medicine, agriculture [1-3]. However, the most important sector of the use of IR in Ukraine after the elimination of nuclear combat potential is nuclear power [4]. The country has five nuclear power plants (NPP) with reactors of two types, which generate about 40% of the country's total electricity [5, 6].

In this regard, the problems of dosimetry, which today have become an independent scientific and technical area of nuclear physics, are acquiring ever-increasing importance. Dosimetry, in its essence, solves the problem of linking physical quantities with the expected radiation effects of the

use of IR. The main task of dosimetry – identification of sources radiation, posing a threat to the environment and humans – today is solved using a variety of technical registration tools with varying degrees of efficiency. A comparative analysis of such means and methods of their application for registration and dosimetry is presented in this section [7, 8]. In addition, the existing variety of terms and values in this industry requires some clarification in order to ensure the reliability of presented research results.

**Formation of the problem.** The development of nuclear energy, the spread of nuclear technologies have put forward new requirements for the control and metrology of ionizing radiation. The modern level of nuclear instrumentation cannot fully satisfy them. The solution to this problem can be provided by the development of: methods for choosing the optimal type of semiconductor materials and controlling their properties to create uncooled detectors; sensors with higher resolution; electronics with less noise; computer methods and information processing programs with lower estimated costs; control systems for nuclear materials and the state of NPP protective barriers that meet the requirements of existing automatic control of radiation safety (CRS).

**Analysis of previous studies.** The level of development and application of radiation technologies is largely determined by the state of nuclear instrumentation. In a relatively short period of time, this industry has gone through several stages of development, and each of them was marked by the emergence of various devices that register and measure the parameters of ionizing radiation: gas-discharge counters, scintillators, semiconductor detectors, and others. Their appearance and further widespread use was provided in the past by works from Crookes, Rutherford, Geiger and Müller to the works of A.B. Dmitriev, S.N. Perelman, V.G. Tchaikovsky, and V.G. Baranov, which are closer to us in time. I., Golbek G.R., Nemirovsky B.V., Yakubovich A.L. and many others. The basis for the progress of nuclear instrumentation was the simultaneous development of two directions - nuclear physics research and electronics. However, both directions at that time developed independently, without proper mutual connection.

The advent of modern semiconductor sensors for the first time linked nuclear instrumentation and electronics into a single complex – a semiconductor detector. It combines semiconductor primary converter of ionizing radiation (sensor), secondary converter of information from the sensor (electronics) and software for processing this information, interconnected in terms of the problem being solved and parameters. The possibility of the appearance of such a complex is provided in materials science by the works of Vavilov V.S., Baransky P.I., in applied nuclear physics research by M.V. Maksimov, O.V. Maslova. and others. In these works, a technique was shown for the selection of semiconductor materials and a design of sensors was proposed, directions for the creation of electronics and computer programs for detectors were determined. This ensured the creation and effective use of semiconductor detectors in dosimetry, radiation control of materials and technological processes of nuclear power plants.

**Main part.** In this work, a complex is proposed, which consists of a main unit – an individual electronic direct-display dosimeter (ID) and an expansion unit – "cassette boxes" with individual dosimeters nested in the compartments-cells. The multiplicity of the ID connection in the cassette holder is 256 ID. The total number of serviced cassettes is limited only by the capacity of the battery charging module for personal dosimeters (Fig. 1).

The development of modern detecting units designed to monitor the state of protective barriers by measuring the dose rate of gamma radiation in the air as part of the radiation monitoring systems of nuclear power plants is an important and urgent task. The detecting units of AKRB-03 system currently in operation have exhausted their resource (AKRB – radiation safety monitoring equipment) [9 - 11]. The system itself, developed more than 20 years ago, has not only exhausted its resource, but is also morally outdated [12, 13]. It is obvious that new detecting units should have higher metrological and operational parameters. A significant improvement in the metrological and operational characteristics of detectors, as shown above, can be obtained only through the use of new materials, in particular, wide-gap semiconductors such as CdZnTe [14].

The functions of the main unit are as follows:

– presentation of the interface to an individual dosimeter;

- receiving information from an individual dosimeter (personnel number, route, dose, time, errors, temperature, etc.);
- recording of service information into an individual dosimeter (time, dose limit);
- recharging the battery of personal dosimeter while it is in the cell.

Expansion unit (EU) – "cassette holder" serves as an intermediate link between the control computer and the individual dosimeter. All records are stored and processed in a computer. EU presents a computer interface for communication with a dosimeter. The control computer interacts with EU via RS-232 or RS-485 serial interface.

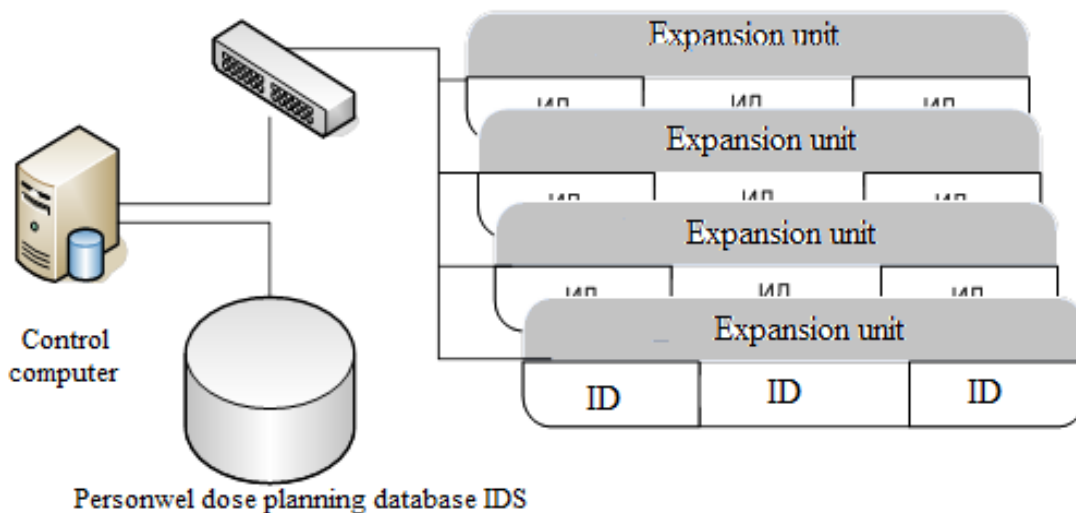


Figure 1 – Block diagram of the individual dosimetric control complex

The individual electronic dosimeter is made in accordance with the requirements of the "Unified requirements for individual dosimetric control ET IDK" and other regulatory documents, since works on the basis of BDMG-CZT detection unit.

The sensitive element of the dosimeter is made on basis of CdZnTe crystal and is a complete element of the detector. The dosimeter uses the algorithm for software correction of the "stiffness course" of the recorded radiation, which was considered earlier.

Functionally, an individual dosimeter consists of the following units (Fig. 2):

- detection (detector, preamplifier, pulse normalizer);
- detector power supply (programmable voltage supply to the detector);
- temperature measurement (dose measurement correction is implemented on DS18B20);
- real time clock (for calculating the dose rate DS1302);
- indications and notifications (indication of time, ambient temperature, dose rate, dose, thresholds for setting dose load, battery discharge, etc., indicator from NOKIA telephone);
- log memory (to save intermediate dose measurement results on the way of personnel and at the workplace AT24C512);
- wireless interface (to receive access control labels for certain zones, as well as presence at the workplace);
- single-wire interface (for data transmission through the main unit to a computer);
- power control (to control battery charging);
- microcontroller (for general organization of operation ATMEGA8 device control).

The design of the dosimeter is a standard miniature plastic case from Bopla for hand-held devices, BOPLA-Arteb 335 series in shockproof dust and moisture resistant design. Its three-dimensional model is shown in Fig. 3.

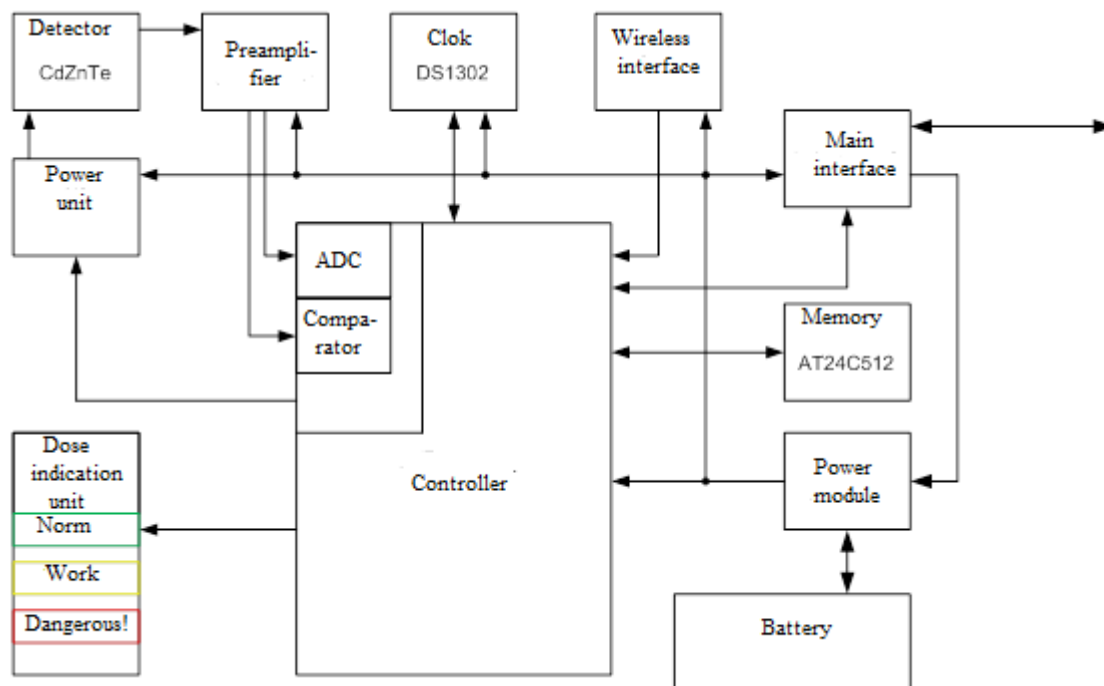


Figure 1 – Block diagram of an individual dosimeter (functions of blocks in text)

For the first time, a complex of individual dosimetric control has been developed. The complex consists of an individual electronic direct display dosimeter (ID) and an expansion unit (EU) with ID located in the cells.

The use of such a complex will allow for the first time to create a system for monitoring the radiation situation and personal dosimetry capable of detecting areas with increased radioactivity, measuring a full set of their parameters in real time, the radiation dose of ID carrier, etc. and will ensure the introduction of ALARA principle into the practice of NPP.

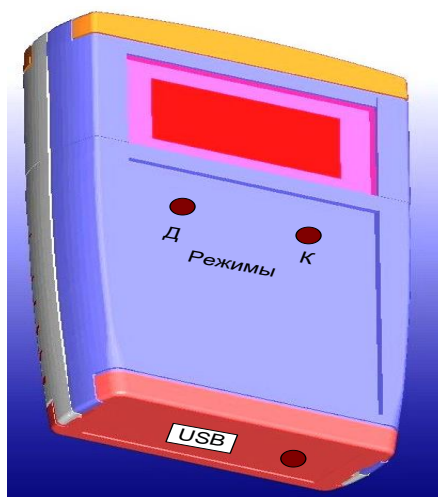


Figure 1 – Appearance of an individual dosimeter: D - dose indication;  
K - indication of control dose levels

**Conclusions.** For the first time, a complex of individual dosimetric control has been developed. The complex consists of an individual electronic direct display dosimeter (ID) and an expansion unit (EU) with ID located in the cells.



The use of such a complex will allow for the first time to create a system for monitoring the radiation situation and personal dosimetry capable of detecting areas with increased radioactivity, measuring a full set of their parameters in real time, the radiation dose of ID carrier, etc. and will ensure the introduction of ALARA principle into the practice of NPP.

#### REFERENCES:

1. Vavilov V.S. Effect of radiation on semiconductors / V.S. Vavilov, N.P. Kekelidze, L.S. Smirnov. - Moscow: Nauka, 1988. -192 p.
2. Lenkov S.V. Physical and technical foundations of radiation technology of semiconductors / S.V. Lenkov, V.A. Mokritsky, D.A. Peregudov, G.T. Tarielashvili. - Monograph. - Odessa: Astroprint, 2002. 297 p.
3. Garkavenko A.S. Radiation modification of the physical properties of wide-gap semiconductors and the creation of high-power lasers on their basis / Lvov: ZUKTs, 2012. - 258 p.
4. Banzak O.V. New generation semiconductor detectors for radiation monitoring and dosimetry of ionizing radiation / O.V. Banzak, O.V. Maslov, V.A. Mokritsky: Ed. V.A. Mokritsky, O.V. Maslov. - Monograph. - Odessa, 2013. - Publishing house "VMV". - 220 p.
5. Bouchet J.M. PWR primary flow measurements by correlation analysis of nitrogen-16 fluctuations / J.M. Bouchet, et al. – Progress in Nuclear Energy. – 1982. – Vol. 9.
6. Awadalla S.A. Characterization of detector-grade CdZnTe crystals grown by traveling heater method (THM) / S.A. Awadalla, J. Mackenzie, H. Chen, eds. // Journal of Crystal Growth. – Vol. 312, issue 4. – 2010. – 507-513c.
7. Grybos P. Front-end Electronics for Multichannel Semiconductor Detector Systems; EuCARD Editorial Series on Accelerator Science and Technology, Vol.08 / Institute of Electronic Systems Warsaw University of Technology. – Warsaw: 2010. – 201 p.
8. Dumitrescu A. Comparison of a digital and an analogical gamma spectrometer at low count rates / A. Dumitrescu // U.P.B. Sci. Bull., Series A. – Vol. 73. – Iss. 4, 2011. – P. 127-138.
9. Maslov O. Passive Computer Gamma- Tomography of Nuclear Fuel / O. Maslov, V. Mokritsky, O. Banzak, // ANIMMA. Third International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications – Marseille, June 23-27, 2013. – Book of Abstracts – P. 51.
10. Maslov O.V. The Improved CdZnTe Dose Rate Probe / O.V. Maslov, M.V. Maksimov, L.L. Kalnev // 2008 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and 16<sup>th</sup> Room Temperature Semiconductor Detector Workshop – Dresden: 19–25 Oct. 2008. – P. 12-87.
11. Maslov O. Multiple energies passive computer tomography of nuclear fuel / O. Maslov // Proceedings of the International Ukrainian-Japanese Conference on Scientific and Industrial Cooperation – Odesa 24 – 25 October 2013. – P. 114-116.
12. Masuruk K. Dopant incorporation during liquid phase epitaxy / K. Masuruk, T.Bryskewicz // J. Appl. Phys., 1981. – V. 52. – N3. – part 1. – P. 1347–1350.
13. Mokritsky V.A., Maslov O.V., Banzak O.V. Methods and means controls of nuclear materials and state of protective barriers at nuclear power plants // Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. - K. : MIKNU, 2019. - № 63. – P. 66 – 72.
14. Mokritskij V.A., Maslov O.V., Banzak O.V. The detector on basis of CdZnTe-gauge for systems radiating-technological control // Collection of scientific works of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. - K.: MIKNU, 2018. - № 58. - P. 68 - 73.

**д.т.н., проф. Банзак О.В., д.т.н., с.н.с. Сєлюков О.В.,  
д.т.н., проф. Єфименко Н.А., Коноваленко О.І.**

#### **РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧНОГО КОНТРОЛЮ**

*У даний час практично всі галузі промисловості, багато галузей науки застосовують джерела іонізуючих випромінювань (ІІ). Широко використовуються в оборонному комплексі, медицині, сільському господарстві ядерні енергетичні установки, гамма-установки різної потужності, дефектоскопи, лічильники і багато іншої апаратури. Однак найбільш важливою галуззю використання ІІ на Україні після ліквідації бойового ядерного потенціалу є атомна енергетика. У країні працює п'ять атомних електростанцій (АЕС) з реакторами двох типів, які виробляють близько 40% всієї електроенергії країни.*

*У зв'язку з цим все більшого значення набувають проблеми дозиметрії, яка сьогодні стала самостійним науково-технічним напрямком ядерної фізики. Дозиметрія за своєю суттю вирішує завдання зв'язку фізичних величин з очікуваними радіаційними ефектами застосування II.*

*При нормуванні доз опромінення персоналу відповідно до міжнародних рекомендацій і правил гостро постало питання щодо зниження дозових витрат персоналу, і, в першу чергу, ремонтного, так як основний внесок в колективну дозу опромінення персоналу АЕС вносять роботи з технічного обслуговування і ремонту. На початковому етапі знижувати дози опромінення вдавалося, в основному, за рахунок виконання організаційних заходів адміністративного підвищення вимог до якості підготовки та проведення робіт в зоні контрольованого доступу. Подальше зниження дозових навантажень персоналу може бути забезпечено за рахунок впровадження в практику експлуатації АЕС принципу ALARA [3]. Для цього необхідне створення такої системи контролю радіаційної обстановки та персональної дозиметрії, яка могла б забезпечити виявлення ділянок з підвищеною радіоактивністю і вимірювати повний набір їх параметрів (як мінімум, дозу, потужність дози, координати, момент часу, номер персонального дозиметра) в реальному масштабі часу без участі носія персонального дозиметра, т. е. в рамках його нормальної життєдіяльності і без його відома, якщо потужність дози не перевищує гранично допустимого рівня. При перевищенні цього рівня носій персонального дозиметра повинен попереджуватися проте, що йому загрожує небезпека, щоб взяти участь в діях по її подоланню, але не в якості посередника в процесі вищезазначених вимірювань.*

*На основі такої концепції в даній роботі запропоновано комплекс індивідуального дозиметричного контролю.*

*Ключові слова: атомна енергетика, доза опромінення персоналу, контроль радіаційної обстановки, потужність дози опромінення, персональний дозиметр.*

## COMPARISON OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS TO OPTIMIZE THE PARAMETERS OF THE MAINTENANCE STRATEGY COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

*The present article is devoted to comparing the effectiveness of methods for optimizing the parameters of maintenance strategy of complex technical objects. First of all, it concerns the methods for optimizing the parameters of maintenance strategy by state, by resource and adaptive technical maintenance (TM). In addition, a comparative assessment of indicators of target functions of the object without maintenance is made. That is, the article is devoted to one of the important and not fully solved problems: ensuring the reliability of operation of complex objects of machinery of ordinary and high responsibility.*

*The basic principles and elements of the construction of the methodology are considered, the technology of performing the optimization task of the corresponding strategy developed by the authors earlier is applied. The calculation of parameters under the condition of the optimal methods for solving problems, namely, simulation and statistical modeling, is proposed.*

*The best strategy in terms of mean time between failures (MTBF) and unit cost of operation is the "adaptive TM" strategy. Then comes the "condition-based TM" strategy. The worst is the "TM by lifetime" strategy. The strategies "TM on condition" and "adaptive TM" are very close to the obtained indicators. This is due to their common essence - when TM is used information on the actual current state of the object. The effectiveness of various TM strategies depends significantly on the reliability-value structure of the object. If the distribution of the cost of renewable elements about correlates with the distribution of their uptime indicators, the difference in the efficiency of different TM strategies is reduced.*

*The optimal parameters of different TM strategies depend significantly on both the reliability-value structure of the object, and on the given requirements to the object's failure-free operation level.*

*Key words: complex engineering objects, maintenance strategy, change of inspection frequency, maintenance and repair.*

**Introduction and problem statement.** The process of maintenance of complex technical objects is very necessary to improve their reliability and extend their technical life, especially when these objects are impossible or impractical to replace with new ones. This is usually due to economic, social, hazard and other some difficulties [1-3].

Despite the fact that complex objects in modern conditions have in their composition built-in systems of technical diagnosis (STD), means of which are carried out continuous or periodic control of the technical condition, as well as the search for faults and failures, to restore the resource is possible only by conducting maintenance and repair (MAR).

The content of the MAR process depends on the complexity of the object, the design features of the component and element composition, the presence and degree of development of the built-in STD, the purpose of the object and the modes of its application. The content of the MAR process is determined by the following main components:

- maintenance work;
- repairs (current, scheduled, preventive, etc.);
- conducting analyses and tests;
- providing TM and repair of spare parts for tools and accessories (SPTA).

Maintenance according to [4-6] is "a set of operations or operations to maintain the serviceability or operability of the object during its intended use, downtime, storage and transportation". Further we will consider only TM when used as intended. TM consists in periodic inspection of the technical condition of the object and replacement of its individual elements that are in a pre-failure state. Maintenance is carried out when the object is in good or serviceable condition.

Thanks to carrying out TM there is a "rarefaction" of a stream of failures of object and at the expense of it raises level of its reliability.

Repair according to [4] is "a set of operations to restore serviceability or operability of the object and restore the resource of the object or its components. A distinction is made between routine and scheduled repairs.

Current repair (CR) is designed to restore the performance of a complex object, carried out at random moments of time, each time a failure of the object occurs. During maintenance, as a rule, replacement of one or more components or elements, the failure of which led to the failure of the object as a whole, is carried out.

Scheduled repair (SR) is designed to replenish the resource of the object, it is carried out at pre-scheduled points in time. In the case of a planned repair, a large part of the elements of the object are usually replaced. The greater the number of replaced elements, the greater the value of the resource, which is accumulated as a result of the planned repair. In practice, for the convenience of planning and organization of planned repair, the notion of type of planned repair is introduced. With the help of the notion of type of repair the scope of repair is specified and the rules of assignment of terms of their performance and ensuring. Most often two types of planned repairs are defined - major (MJR) and medium (MR). In this case, it is assumed that the volume of overhaul is significantly greater than the volume of medium repairs. As a result of performance of MJR is carried out close to full restoration of the resource of the object. At performance of MR there is only a partial restoration of a resource.

The MAR process is carried out according to the appropriate system, which is understood as a set of interrelated means, documentation, and performers required to maintain the required level of reliability of complex radioelectronic objects [7]. The elements (subsystems) of MAR system are [8-12]:

- technical maintenance system,
- system of current maintenance,
- system of repair organizations,
- system of providing spare parts, tools and accessories;
- control system.

Figure 1. shows a typical schematic structure of the MAR process with the definition of the person (operator) in the process.

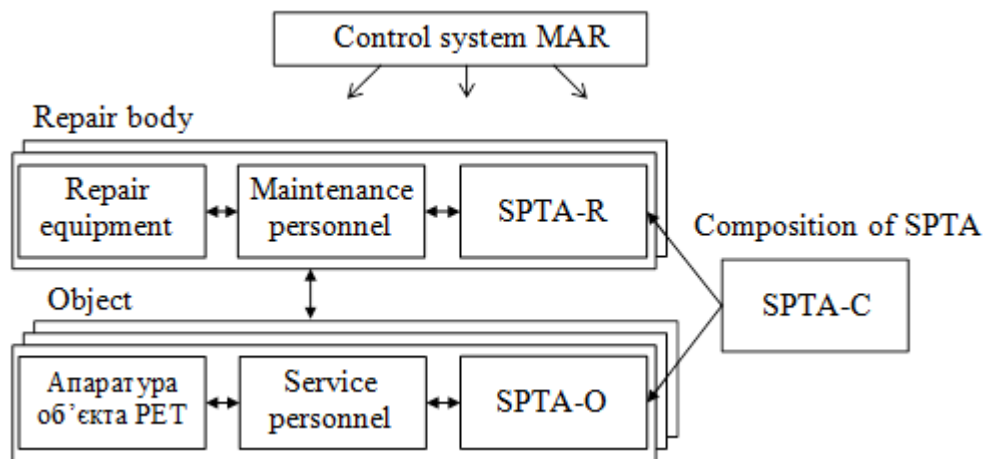


Figure 1 – Typical structure of the MAR process of complex objects

In general, there are several TM strategies for complex objects [3-13]. Of these, we will consider comparisons of the following TM strategies:

- condition maintenance;
- adaptive TM;
- resource maintenance (durability restoration);

- without TM.

### **A comparative study of different TM strategies**

The complexity of TM processes and the variety of factors affecting them significantly complicate the choice between different TM strategies. For an objective comparison of the advantages and disadvantages of various TM strategies, it is necessary to ensure the approximate equality (sameness) of the conditions in which they are applied.

When comparing different TM strategies, we will be guided by the following principles:

- it is possible to compare various TM strategies only by results of their application to the same object;

- test objects on which comparison of strategies TM, should be comparable (identical) on structure of time and cost of TM and CR;

- quality indicators of process TM (target functions) on which comparison of various TM strategies, should be estimated on equal intervals of operation of object and at the identical parameters of process of modeling (if comparison of strategies TM is carried out by results of modeling)

- characteristics of process TM received at optimum parameters of TM strategies should be compared, that is potential possibilities of various TM strategies should be compared.

This study uses 4 test objects differing in their structural and reliability characteristics (the characteristics of the test objects are given in [12,13]). This, among other things, makes it possible to test and simultaneously demonstrate the "workability" of the developed methods for determining the optimal parameters of different TM strategies with different initial data.

To ensure the comparability of the structure of time and cost of TM and SR, the same for all elements and objects characteristics of maintainability and cost were set:

- average element recovery time = 1 h;

- average duration of TM = 1 h;

- cost of the element = 10 c.u. ;

- cost of the operation of current repair (replacement) of the element = 1 c.u. ;

- cost of element TM operation = 1 c.u. .

The STD characteristics for the test objects are proposed as follows:

- duration of diagnostics at TM = 0.5 h ;

- cost of diagnostics operation at TM = 1 c.u.

The same for all test objects are also set and indicators, which depend on the purpose of the object - the specific loss of value, which is incurred by the external system (in which this object is used) in the object failure state = 10 c.u. / hour, and in the TM state = 1 c.u. / hour.

For all test objects, the optimal parameters for the three TM strategies are determined using the developed techniques. For brevity, as before, we will call them: "condition TM "adaptive TM" and "resource TM ".

All calculations were performed for the duration of operation = 20 years at continuous operation of the objects.

The optimal parameters of different TM strategies were determined under the idealized assumption of the existence for test objects of measurable determinants for the least reliable elements belonging to the set of renewable elements  $E_B$ . Subsets of potentially serviceable elements  $E_{T_0}$  were specified such that all less reliable elements were included [14-15]. There were no elements in the test objects whose reliability was lower than the reliability of any of the elements  $E_{T_0}$  ( $E_{T_0} \subset E_B$ ). Obviously, under this condition with the optimal parameters of TM strategies provides the maximum, potentially possible efficiency of TM, most likely unattainable in practice.

Table 1-4 shows the final results of calculations of the optimal parameters of different TM strategies. Figures 2-5 show the corresponding graphs of average MTBF  $T_0$  and specific cost of operation  $c_{yt}$  on the number of serviced elements, obtained with the optimal parameters of the corresponding TM strategies. All detailed calculations, on the basis of which these tables and graphs

are constructed, were given by this time in [16] (for object Test-1) and in the appendices (for objects Test-2,3,4).

Table 1

Comparative estimates of the indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$ , and  $K_{TH}$  for the object Test-1 at different TM strategies

TM strategy		Condition TM	Adaptive TM	Resource maintenance	Without TM
Indicators (target functions)	$T_0$ , h	1660	1662	1609	1236
	$c_{yd}$ , c.u./hour	0,01461	0,01408	0,01695	0,02187
	$K_{TH}$	0,99851	0,99877	0,99689	0,99919
	$\varepsilon$	0,180	0,179	0,184	0,085
Parameters of the optimal strategy TM ( $T_0^{TP} = 1500$ h)		$ E_{TO}^*  = 3$ $U_{TO}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $T_K^* = 1200$ h	$ E_{TO}^*  = 3$ $U_{TO}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,45; \beta = 0,5$	$N_{TO}^* = 1$ $ E_{TO1}^*  = 3$ $T_{TO}^* = 1400$ h	-

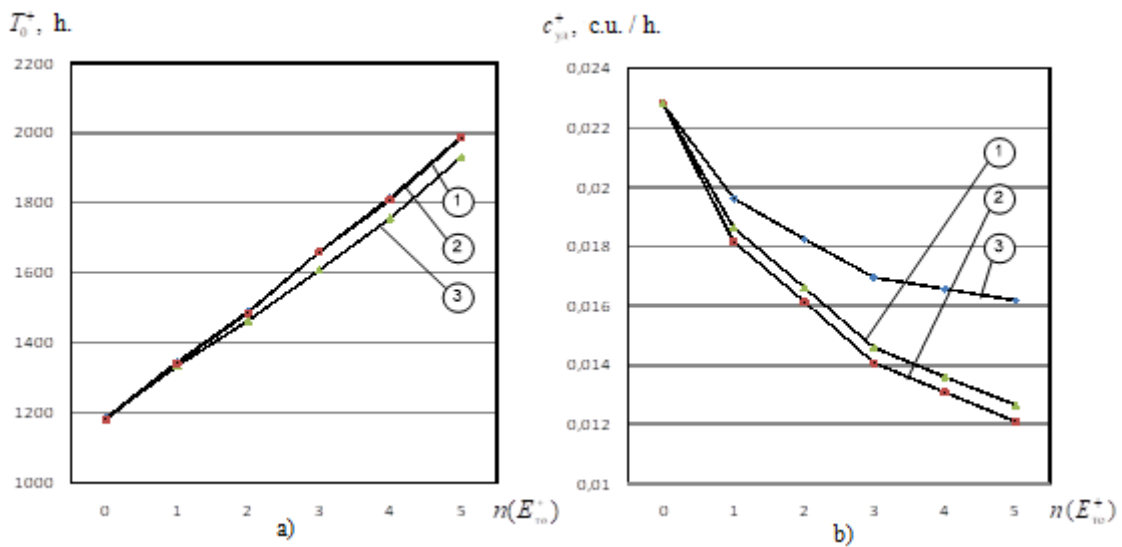


Figure 2 – Plots of dependence of indicators  $T_0^+$  (a) and  $c_{yd}^+$  (b) on the number of elements served under different TM strategies (Test-1 object):

- 1 - condition TM;
- 2 - adaptive TM;
- 3 - resource maintenance.

Table 2

Comparative estimates of the indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$ , and  $K_{TH}$  for the object Test-2 at different TM strategies

TM strategy		Condition TM	Adaptive TM	Resource maintenance	Without TM
Indicators (target functions)	$T_0$ , h	695	702	676	294
	$c_{yd}$ , c.u./hour	0,09852	0,08801	0,12009	0,66572
	$K_{TH}$	0,98610	0,99374	0,97564	0,99708
	$\varepsilon$	0,111	0,112	0,113	0,069
Parameters of the optimal strategy TM ( $T_0^{TP} = 600$ h)		$ E_{to}^*  = 5$ $U_{to}^* = \{0,55; 0,45; 0,25; 0,6; 0,5\}$ $T_k^* = 250$ h	$ E_{to}^*  = 5$ $U_{to}^* = \{0,6; 0,55; 0,6, 0,5; 0,6\}$ $\gamma^* = 0,45; \beta = 0,5$	$N_{to}^* = 1$ $ E_{to1}^*  = 5$ $T_{to}^* = 240$ h	-

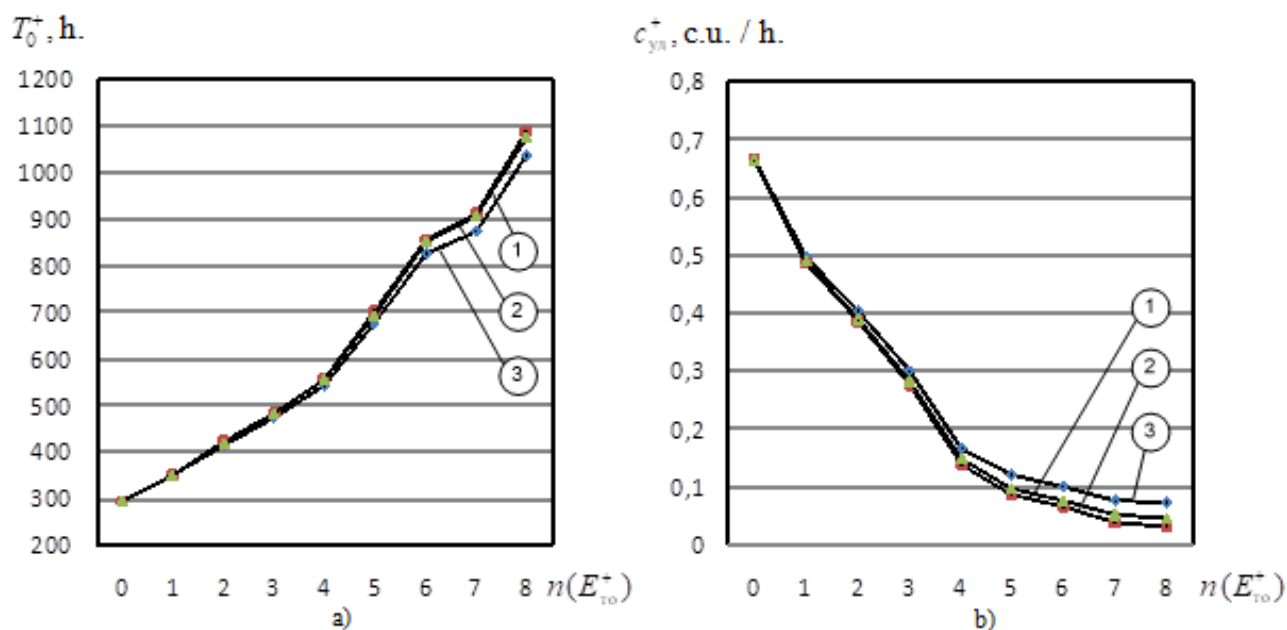


Figure 3 – Plots of dependence of indicators  $T_0^+$  (a) and  $c_{yd}^+$  (b) on the number of elements served under different TM strategies (Test-2 object):

- 1 - condition TM;
- 2 - adaptive TM;
- 3 - resource maintenance.

Table 3

Comparative estimates of the indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$ , and  $K_{TH}$  for the object Test-3 at different TM strategies

TM strategy		Condition TM	Adaptive TM	Resource maintenance	Without TM
Indicators (target functions)	$T_0$ , h	15194	15136	15009	9458
	$c_{yd}$ , c.u./hour	0,00154	0,00151	0,00169	0,00232
	$K_{TH}$	0,99982	0,99984	0,99967	0,99978
	$\varepsilon$	0,487	0,448	0,493	0,367
Parameters of the optimal strategy TM ( $T_0^{TP} = 15000$ h)		$ E_{to}^*  = 3$ $U_{to}^* = \{0,5; 0,5; 0,5\}$ $T_k^* = 10500$ h	$ E_{to}^*  = 3$ $U_{to}^* = \{0,7; 0,6; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,4; \beta = 0,5$	$N_{to}^* = 1$ $ E_{to1}^*  = 4$ $T_{to}^* = 16000$ h	-

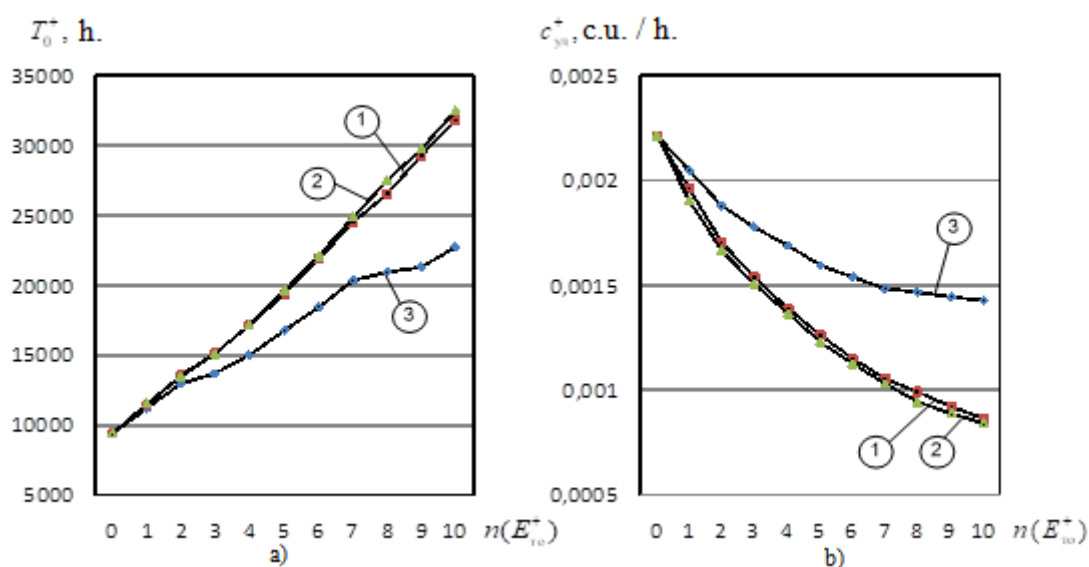


Figure 4 – Plots of dependence of indicators  $T_0^+$  (a) and  $c_{yd}^+$  (b) on the number of elements served under different TM strategies (Test-3 object):

- 1 - condition TM;
- 2 - adaptive TM;
- 3 - resource maintenance.



Table 4

Comparative estimates of the indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$ , and  $K_{TH}$  for the object Test-3 at different TM strategies

TM strategy		Condition TM	Adaptive TM	Resource maintenance	Without TM
Indicators (target functions)	$T_0, h$	6575	5566	4879	914
	$c_{yd}$ , c.u./hour	0,00668	0,00637	0,01180	0,02296
	$K_{TH}$	0,99736	0,99776	0,99323	0,99890
	$\varepsilon$	0,268	0,209	0,311	0,113
Parameters of the optimal strategy TM ( $T_0^{TP} = 5000 h$ )		$ E_{TO}^*  = 4$ $U_{TO}^* = \{0,5; 0,55; 0,65; 0,85\}$ $T_K^* = 500 h$	$ E_{TO}^*  = 3$ $U_{TO}^* = \{0,55; 0,55; 0,55\}$ $\gamma^* = 0,5; \beta = 0,5$	$N_{TO}^* = 3$ $ E_{TO1}^*  = 3$ $T_{TO1}^* = 600 h$ $ E_{TO2}^*  = 3$ $T_{TO2}^* = 6000 h$ $ E_{TO3}^*  = 4$ $T_{TO3}^* = 22000 h$	-

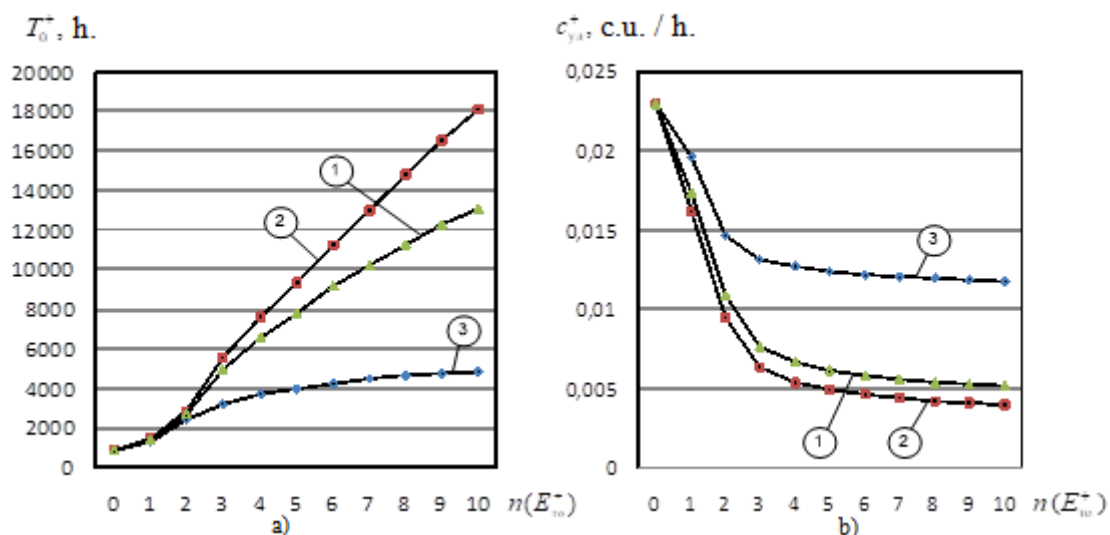


Figure 5 – Plots of dependence of indicators  $T_0^+$  (a) and  $c_{yd}^+$  (b) on the number of elements served under different TM strategies (Test-4 object):

- 1 - condition TM;
- 2 - adaptive TM;
- 3 - resource maintenance.

For the object Test-4 given requirement  $T_0^{TP} = 5000$  hours at the optimal strategy "resource maintenance" is not provided. Despite the fact, that all potentially serviceable elements are used.

The "adaptive TM" strategy was not investigated separately. The adaptive TM  $\beta$  parameter (exponential smoothing constant) was set to 0.5 for all test objects. This corresponds to a neutral situation, when the "weight" of the initial data about the reliability performance of the elements (always a priori information) and the data about the actual measured values of the determining parameters (a posteriori information) is about the same.

Without going into the study of the "adaptive TM" strategy, we can assume that adaptive TM is more advantageous in the case of unreliable initial information about the fault tolerance rates of the object elements. Let us check this assumption as follows.

Let's calculate indicators  $T_0$  and  $c_{yd}$  for the test objects in the case when the average time to failure of all renewable elements  $T_{cpi}$  is 2 times less in comparison with the indicators, at which the parameters of the optimal TM strategy were calculated.

Obviously, in this case the indicators obtained in  $T'_0$  and  $c'_{yd}$  should be worse, in comparison with the indicators  $T_0$  and  $c_{yd}$ , obtained at the initial values of  $T_{cpi}$ . Tables 5 and 6 show the values of the coefficients of relative losses in the level of no-failure  $\delta_{T_0}$  and in the unit cost of operation  $\delta_{c_{yd}}$ , which were determined by the formulas:

$$\delta_{T_0} = \frac{T_0 - T'_0}{T_0} \cdot 100; \quad \delta_{c_{yd}} = \frac{c'_{yd} - c_{yd}}{c_{yd}} \cdot 100,$$

where  $T_0$  ( $c_{yd}$ ) - is the average MTBF (unit cost of operation), obtained with the optimal parameters, provided that the indicators  $T_{cpi}$  correspond to the values set for the test objects in the test examples;

$T'_0$  ( $c'_{yd}$ ) - the same indicators obtained with the optimal parameters, but provided that the indicators  $T_{cpi}$  in the original data are reduced by 2 times.

Table 5

Coefficient of relative loss of reliability level  $\delta_{T_0}$  (in %)

Type of TM strategy	Technical object			
	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4
Condition TM	52	53	67	79
Adaptive TM	49	49	63	56
Resource TM	55	59	69	82

Table 6

Coefficient of relative losses of unit cost of operation  $\delta_{c_{yd}}$  (in %)

Type of TM strategy	Technical object			
	Test-1	Test-2	Test-3	Test-4
Condition TM	110	144	187	192
Adaptive TM	98	100	167	117
Resource TM	121	712	185	166

In Figure 6 and 7, the same coefficients are shown in the form of graphs.

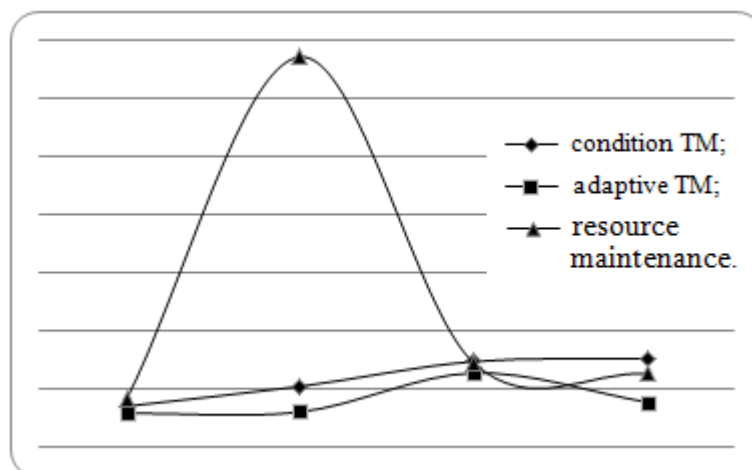


Figure 6 – Coefficient of relative loss of reliability level  $\delta_{T_0}$  (in %)

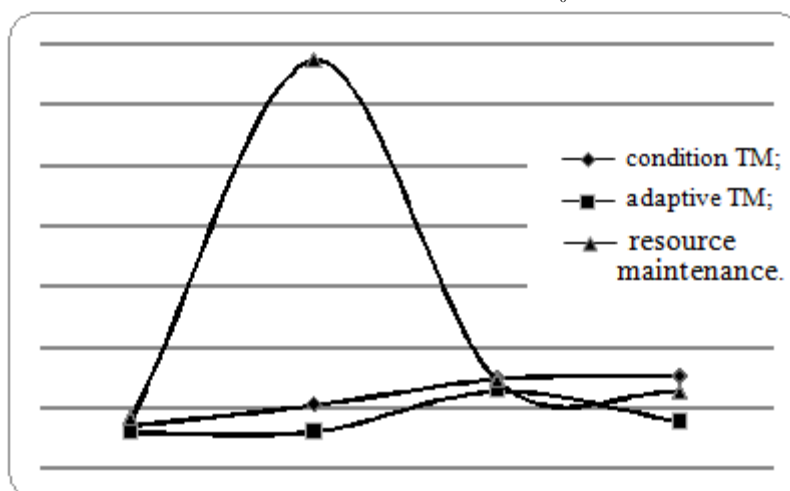


Figure 7 – Coefficient of relative losses of unit cost of operation  $\delta_{C_{yn}}$  (in %)

The obtained data fully confirm the proposed assumption that the strategy of "adaptive TM" is more preferable in the case of unreliable (inaccurate) information about the reliability indicators of the elements of the object.

The value of loss rate  $\delta_{C_{yn}} = 712\%$  obtained for the Test-4 object is not a random outlier or an error. Such large losses in the unit cost at "resource maintenance" are explained by the high cost of less reliable elements of the Test-4 object. This result is an additional confirmation of the critical sensitivity of the optimal parameters of the "resource maintenance" strategy in the case of inaccurate initial data about the reliability of the object.

### Conclusions

The following conclusions can be drawn from the results:

1. This article considers one of the important and not fully solved problems: ensuring the reliability of operation of complex objects of technology and the continuation of their technical life by comparing the effectiveness of various TM strategies.

2. The best strategy in terms of average failure time  $T_0$  and unit cost of operation  $C_{yn}$  is the "adaptive TM" strategy. This is followed by the "condition-based TM" strategy. The worst is the "TM by resource" strategy. The TM strategy is considered better if the graph of function  $T_0^+$  is located higher (for function  $C_{yn}^+$ , lower) with respect to the corresponding graph for the comparable strategy.

The TM strategy that is best behind the indicator  $T_0^+$  is usually also best behind the indicator  $c_{yd}^+$ , and vice versa.

3. The strategies "condition TM" and "adaptive TM" are very close to the indicators obtained. This is due to their common essence - when performing TM, information about the actual current state of the object is used.

4. The effectiveness of different TM strategies depends significantly on the reliability-value structure of the facility. If the distribution of the cost of the renewable (including maintained) elements closely correlates with the distribution of their no-failure rates, the difference in the efficiency of different TM strategies is reduced. This is well seen on the example of the Test-2 object, for which the least reliable elements are simultaneously the most expensive.

5. The optimal parameters of different TM strategies depend essentially both on the reliability-cost structure of the object, and on the given requirement to the level of the object fault-tolerance  $T_0^{TP}$ . The greater the given value  $T_0^{TP}$ , the greater the number of serviceable elements should be included in the optimal TM strategy.

#### LITERATURE:

1. Lanetskii B.N., Luk'yanchuk V.V., Terebukha I.N. (2011) Kompleksnaya model' kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya i vosstanovleniya rabotosposobnosti slozhnoi tekhnicheskoi sistemy s mnogourovnevoi strukturoi [An integrated model for monitoring the technical condition and restoring the operability of a complex technical system with a multi-level structure]. Kharkiv: Weapons systems and military equipment, 4, 73-75 p. [in Ukraine]

2. Forecasting reliability of complex technology objects. Parameters optimization of their technical exploitation: [monography] in English / Sergey Lenkov, Igor Tolok, Vadim Tsitsarev, Genadiy Zhyrov, Evgen Lenkov, Yuriy Khlaponin, Bohdan Borowik; under edition S.V. Lenkov. – Poland, Bielsko-Biala: Publishing house «BEL », 2018. – 253 p.

3. Lanets'kii, B.M., Burtsev, V.V., Karpenko, V.I., Lisovenko, V.V. (2006) Naukovo-tekhnichne suprovodzhennya ekspluatatsii i remontu zasobiv zenitnikh raketnikh sistem: osnovni polozhennya, suchasni stan ta propozitsii shchodo udoskonalennya. [Scientific and technical support of operation and repair of anti-aircraft missile systems: basic provisions, current status and suggestions for improvement]. Kharkiv: Information processing systems, 3, 75 – 80 p. [in Ukraine],

4. DSTU 3576-97. (1998) Ekspluatatsiya ta remont viis'kovoï tekhniki. Termini ta viznachennya [Operation and repair of military equipment. Terms and definitions]. Kyiv: Ukrainian national standardization system, 59 p.

5. DSTU 2860-94. (1996) Nadiinist' tekhniki. Termini ta viznachennya [Reliability of equipment. Terms and definitions.]. Kyiv: Ukrainian national standardization system, 96 p.

6. DSTU 3577-97. (1998) Vidi tekhnichnogo obslugovuvannya. Zamina komplektual'nykh virobiv. Zagal'ni polozhennya [Types of maintenance. Replacement of components. General provisions]. Kyiv: Ukrainian national standardization system, 9 p.

7. Berezovskaya YU.V., Boryak K.F., Braun V.O., Lenkov S.V. (2012) Modelirovanie i optimizatsiya protsessov tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnykh ob"ektov radioelektronnoi tekhniki [Modeling and optimization of maintenance processes for complex objects of radio electronic equipment] Lenkova S.V. (Ed.). Nikolaev: Saint Gross, 1, 150 p. [in Ukraine]

8. Barzilovich E.YU., Belyaev YU.K., Kashtanov V.A. (1983) Voprosy matematicheskoi teorii nadezhnosti [Questions of the mathematical theory of reliability] Gnedenko B.V. (Ed.). Moscow: Radio and communication, 376 p.

9. Lanetskii B.N., Luk'yanchuk V.V., Artemenko A.A. (2016) Kompleksnoe otsenivanie pokazatelei bezotkaznosti i ostatochnoi dolgovechnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem, ehkspluatiruemykh po tekhnicheskomu sostoyaniyu [Comprehensive assessment of indicators of reliability and residual durability of complex technical systems operated by technical condition] Basic provisions of the Information Processing System, 2, 40-43 p.

10. Strel'nikov V.P., Fedukhin A.V. (2002) Otsenka i prognozirovanie nadezhnosti ehlektronnykh ehlementov i sistem. [Assessment and prediction of the reliability of electronic components and systems] Kyiv: Logos, 486 p. [in Ukraine]

11. Shishanov M.O., Veretnov A.O., (2019) Metodichni osnovi doslidzhennya remontopridatnosti viis'kovoii avtomobil'noii tekhniki. [Methodical bases of research of maintainability of military automobile equipment] Kyiv: Weapons and military equipment, 23, 53-58 p. [in Ukraine]
12. S. Lenkov, G. Zhyrov, D. Zaytsev, I. Tolok, E. Lenkov, T. Bondarenko, Y. Gunchenko, V. Zagrebnyuk, O. Antonenko/ Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure // Skhidno-Evropeis'kii zhurnal peredovikh tekhnologii. – Kharkiv, 2017. - №4/4(88) – С. 34 – 42. DOI:10.15587/1729-4061.2017.108395.
13. Genadiy Zhyrov, Serhii Lienkov, Yurii Husak, Hennadii Banzak, Igor Tolok. Analysis of problem optimization of parameters maintenance process according to state with constant periodicity of control. // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research Available. ISSN 2347-3983. Volume 8. No. 6, June 2020, P.2605-2611. DOI:10.30534/ijeter/2020/63862020.
13. Zhiron G.B. (2017) Algorimt modelyuvannya protsesiv tekhnichnogo obslugovuvannya za resursom skladnikh radioelektronnikh ob'ektiv [Algorithm for modeling maintenance processes based on the resource of complex electronic objects] Kyiv: MIKNU, XIII International Scientific and Practical Conference "Military Education and Science: Present and Future", 36 p. [in Ukraine]
14. Lenkov E.S., Zhiron G.B., Bondarenko T.V. (2016) Formalizovannaya matematicheskaya model' protsesa adaptivnogo tekhnicheskogo obsluzhivaniya po sostoyaniyu slozhnoi radioehlektronnoi tekhniki [Formalized mathematical model of the process of adaptive maintenance on the state of complex electronic equipment]. Odessa: Informatics and mathematical methods in modeling 2, 365-371 p. [in Ukraine]
15. Zhiron G.B., Lenkov E.S., Bondarenko T.V. (2017) Algoritmichna model' protsesu tekhnichnogo obslugovuvannya za stanom z postiinoyu periodichnistyu kontrolyu [Algorithmic model of maintenance process according to the state with constant periodicity of control] Kyiv: Modern special equipment 1, 26-29 p. [in Ukraine]
16. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, etc.; under edition S. V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.

**д.т.н., проф. Ленков С.В., к.т.н. Зінчик А.Г., к.т.н. Ленков Є.С., Бондаренко Т.В.  
ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИК ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ  
ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНІКИ**

*Стаття присвячена проведенню порівняння ефективності методик оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування складних об'єктів техніки. Перш за все, це стосується методик оптимізації параметрів стратегії технічного обслуговування за станом, за ресурсом та адаптивного технічного обслуговування (ТО). Крім цього зроблено порівняльні оцінки показників цільових функцій об'єкту без технічного обслуговування. Тобто стаття присвячена одній із важливих і до кінця не розв'язаних задач: забезпеченню надійності експлуатації складних об'єктів техніки звичайної та високої відповідальності.*

*Розглянуті основні принципи та елементи побудови методики, застосована технологія виконання завдання оптимізації відповідної стратегії, що розроблена авторами раніше. Запропоновано розрахунок параметрів за умовою оптимальними методами вирішення задач, а саме імітаційно статистичним моделюванням.*

*Кращою за показниками середнього напрацювання на відмову і питомої вартості експлуатації є стратегія "адаптивне ТО". Потім йде стратегія "ТО за станом". Найгіршою є стратегія "ТО за ресурсом". Стратегії "ТО за станом" і "адаптивне ТО" дуже близькі до отримуваних показниками. Це пояснюється їх загальною сутністю - при проведенні ТО використовується інформація про фактично поточний стан об'єкта. Ефективність різних стратегій ТО істотно залежить від надійнісно-вартісної структури об'єкта. Якщо розподіл вартості відновлюваних елементів близько корелюється з розподілом їх показників безвідмовності, відмінність в ефективності різних стратегій ТО скорочується.*

*Оптимальні параметри різних стратегій ТО істотно залежать як від надійнісно-вартісної структури об'єкта, так і від заданої вимоги до рівня безвідмовності об'єкта.*

*Ключові слова: складні об'єкти техніки, стратегія технічного обслуговування, зміна періодичності контролю, технічне обслуговування і ремонт.*

## МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ ПРОСТОРОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ У НАНОМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ

*В статті проведено аналіз основних дестабілізуючих факторів, які є причиною виникнення дрейфу при проведенні вимірювань скануючим зондовим мікроскопом (СЗМ) у нанометровому діапазоні. Визначено, що тепловий дрейф є основною причиною просторової невизначеності в механічній системі СЗМ, оскільки внаслідок теплового розширення та стиснення може спостерігатися зміщення зонда СЗМ або зразка без застосування будь-якої рушійної напруги до п'єзоелектричного приводного механізму. Встановлено, що тепловий дрейф може мати значний вплив на достовірність отримання вимірювальних результатів у вигляді цифрового зображення, оскільки значно спотворює положення наноб'єкту протягом послідовного сканування. Розроблено методи для компенсації просторової невизначеності СЗМ та його п'єзоелектричного приводного механізму, а саме: гістерезису, повзучості і теплового дрейфу. Доведено, що гістерезис можливо зменшити, проводячи сканування в одному напрямку, а для усунення повзучості рекомендовано робити паузи у кілька хвилин після кожного великого руху сканування. Доведено, що дрейф у z-напрямку може розглядатися як некорельована величину до площини ху і можливо усунути перетворенням оригінальних цифрових зображень на градієнтні. Експерименти показали, що використання методу фазової кореляції для вимірювання зміщення двох градієнтних зображень є більш ефективним, ніж використання вихідних зображень. Крім того, у двох послідовних градієнтних зображень, топографічних змін немає, а використовуючи властивість зсуву перетворення Фур'є, метод фазової кореляції може перетворити зсув просторової області на різницю фаз у частотній області. Запропоновано методи розрахунку, які аналізують вплив теплового розширення приводу датчика на загальний дрейф системи. Результати показали, що хоча довжина розширення приводу датчика є найбільшою серед усіх основних компонентів системи, це може бути не основною причиною загального дрейфу системи.*

*Ключові слова: скануючий зондовий мікроскоп; автоматична наноманіпуляція; автоматизована послідовна обробка зображень; дрейф нановимірювань*

**Вступ.** Скануючий зондовий мікроскоп (СЗМ) один з базових інструментів нанотехнології, оскільки здатний як вимірювати рельєф з атомарним дозволом, так і поатомно його модифікувати. Однак, існуючі на даний час методи СЗМ все ще недостатньо досконалі. Основною проблемою, яка вникає при роботі з СЗМ є позиціонування зонда, на роботу якого впливають численні дестабілізуючі фактори: зовнішні вібрації, шуми, термодрейфи, нелінійність, гістерезис, повзучість тощо. В результаті погіршується точність вимірювань, зменшується їх достовірність, знижується граничний дозвіл приладу. Спотворення ведуть до неправильної інтерпретації вимірювальної інформації та отримання недостовірного зображення рельєфу наноб'єкта. Тому, актуальною є задача розробки нових та удосконалення існуючих методів вимірювання наноб'єктів за допомогою СЗМ із врахуванням впливів зовнішніх дестабілізуючих факторів.

**Постановка проблеми.** Отримання результатів вимірювань за допомогою скануючого зондового мікроскопу у вигляді цифрового зображення є досить розповсюдженим методом при виробництві нових наноматеріалів, дослідженні фізичних властивостей наноб'єктів та дослідження їх геометричних параметрів. Зважаючи на стрімкий розвиток нанотехнологій, для подальшого ефективного використання цього методу існує ряд задач, які вимагають якнайшвидшого вирішення. Однією з них є дрейф просторового положення наноб'єктів або зонда СЗМ у процесі вимірювання. Причиною цього дрейфу зазвичай виступають дестабілізуючі фактори навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Точність вимірювання рельєфу поверхні, фізичні розміри елементів якого лежать в діапазоні від декількох ангстрем до декількох

десятків нанометрів, багато в чому визначається величиною дрейфу скануючого зондового мікроскопа. Як правило, дрейф інструменту включає в себе дві основні компоненти: одна з них викликана теплової деформацією механічних вузлів приладу, інша - кріп використовуваних п'єзоманіпуляторів [1]. Питаннями розробки нових методів і способів компенсації дрейфу займалося багато вітчизняних та закордонних вчених. Авторами [1-5] було розроблено прості підходи компенсування дрейфу, в яких передбачалося, що швидкість дрейфу залишається постійною. Однак таке припущення не враховує той факт, що дрейф, як правило, не є лінійним. Інший підхід полягає в оцінці дрейфу методами фільтрації Калмана та розробці компенсатора [2, 6-7]. Цей метод є набагато ефективнішим, але не враховує вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів на результати вимірювань [8].

Інші із запропонованих методів пов'язані з удосконаленням конструкції приладу. Компенсування дрейфу відбувається шляхом зустрічного включення п'єзоелементів сканера, із застосуванням матеріалів, що мають малий коефіцієнт теплового розширення, а також з введенням теплоізолюючих оболонок для досягнення термостабілізації пристрої [9, 10]. Але, ці підходи є пасивними і забезпечують зменшення тільки температурного дрейфу.

Ще одним методом є вбудовування в СЗМ лінійних високочутливих x-, y-, z-датчиків положення зонда, кожен з яких управляється за допомогою замкнутої слідкуючої системи. Завдання слідкуючої системи полягає в тому, щоб постійно компенсувати різницю, що виникає між заданим переміщенням зонда по поверхні нанооб'єкта і його фактичним положенням у просторі, що вимірюється за допомогою датчика положення. У цьому випадку, для усунення дрейфу не потрібна модернізація стандартного мікроскопа, а основні недоліки полягають в тому, що через вплив нелінійної складової не вдається повністю усунути викликані дрейфом спотворення на великих сканах, а через додаткові шуми, що вносяться датчиками замкнутих слідкуючих систем, усунення дрейфу при роботі мікроскопа поблизу або на межі свого дозволу є взагалі неможливим [1]. Іншими недоліками даного методу є істотне обмеження швидкості сканування, пов'язане з великими постійними часу інтегруючих ланок слідкуючої системи, а також велике спотворення лівого і правого країв скану через неузгодженість слідкуючої системи по координаті X в цих місцях при зміні напрямку переміщення зонда на протилежне.

**Метою статті є** розробка методу компенсації просторової невизначеності СЗМ та його п'єзоелектричного приводного механізму, а саме: гістерезису, повзучості і теплового дрейфу [7] є актуальною та вимагає подальшого дослідження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Слід зазначити, що саме тепловий дрейф є основною причиною просторової невизначеності в механічній системі СЗМ, оскільки внаслідок теплового розширення та стиснення може спостерігатися зміщення зонда СЗМ або зразка без застосування будь-якої рушійної напруги до п'єзоелектричного приводного механізму. Такий дрейф може мати значний вплив на достовірність отримання вимірювальних результатів у вигляді цифрового зображення, оскільки значно спотворює положення нанооб'єкту протягом послідовного сканування СЗМ.

Поведінка дрейфу СЗМ як правило є випадковим процесом, оскільки частково пов'язана зі змінами стану навколишнього середовища, такими як температура, вологість, вібрація.

Тепловий дрейф - найбільш невизначений фактор вимірювання. Як правило, тепло, яке спричиняє зміну температури сканера, в основному надходить від компонентів, які містяться в системі СЗМ, коли температура навколишнього середовища суворо контролюється. У корпусі СЗМ під час процедури вимірювання є кілька ключових компонентів, тобто привід датчика, консольний наконечник (нітрид кремнію), зразок решітки (кремній) та платформа зразка (сталь), які можуть впливати на взаємне розташування між наконечником і зразками. У таблиці 1 наведено механічні зміни розміру компонентів внаслідок теплового розширення на 1,0°C зміни температури, припускаючи, що вихідні ділянки зразкової платформи та решітки є зоною сканування.

Таблиця 1

Порівняння розширення довжини компонентів вимірювального пристрою в умовах підвищення температури на 1°C

Компоненти та матеріали АФМ	П'єзоактуатор (ПЗТ)	Консольний наконечник (нітрид кремнію)	Зразок решітки (кремній)	Зразок платформ (сталь)
Лінійний коефіцієнт теплового розширення (/ К)	$1 \sim 5 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$2,6 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-5}$
Довжина прямокутника (мкм)	40000	134	10	10
Коефіцієнт температурного розштрєння (нм / К)	40 ... 200	$8,4 \times 10^{-2}$	$1,82 \times 10^{-2}$	$28,2 \times 10^{-2}$

Дані табл. 1 вказують на те, що при зміні температури на 1,0 °С загальна довжина приводу датчика є найбільшою порівняно з іншими компонентами, а отже, може бути найбільш домінуючим фактором загального дрейфу системи.

Наприклад, на рис.1 (а) та (б) наведені цифрові зображення 10 × 10 мкм нанооб'єкту з нанофункціями за допомогою СЗМ у різний час  $T_1$  і  $T_2$ .

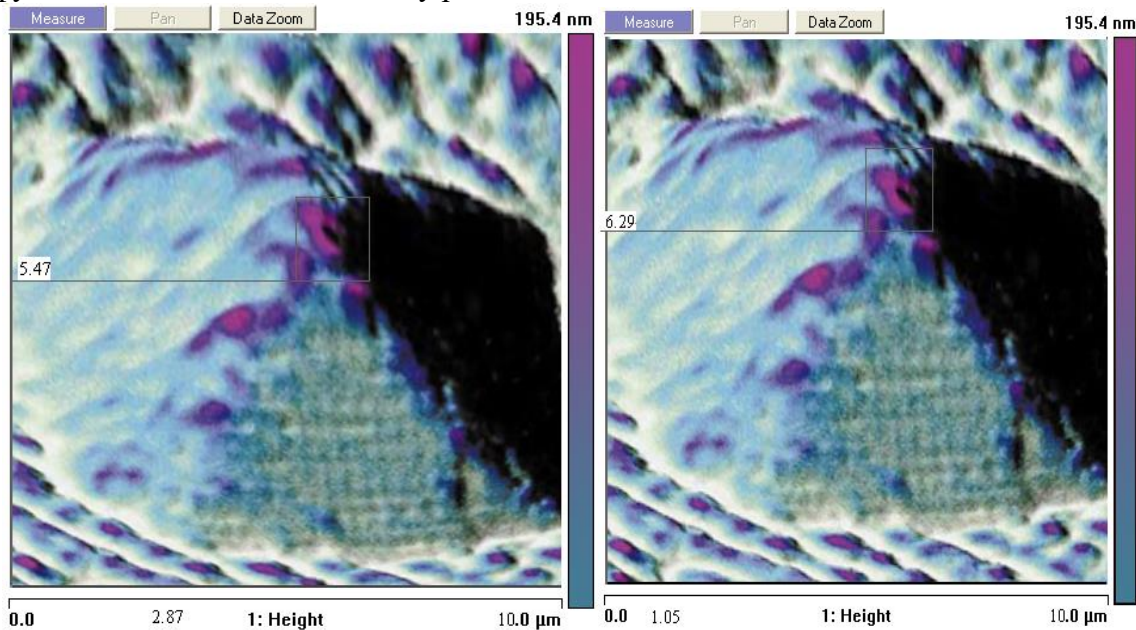


Рисунок 1 – Приклад впливу дрейфу в нановимірюваннях

(а) – перше вимірювання нанооб'єкту (б) повторне вимірювання нанооб'єкту з інтервалом у 5 годин.

Як правило, ці зсуви та невизначеності спричинені нанопозиціонуванням виконавчих механізмів, вироблених з п'єзоелектричних матеріалів (ПЗМ). Встановлено, що типовий тепловий коефіцієнт розширення ПЗМ дорівнює  $(1 \dots 5) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ . Це означає, що зміна температури на один градус спричинить переміщення приводу датчика в довжину приблизно на  $(40 \dots 200)$  нм, припускаючи, що його початкова довжина становить 40 мм.

Відхилення від початкового положення датчика внаслідок впливу дестабілізуючих факторів розраховується за величиною похідної від функції  $\omega(t)$  для останнього підінтервалу часу вимірювань



$$\frac{d\omega(t)}{dt} = -\omega_1 \gamma \alpha t^{\alpha-1} e^{-\gamma t \alpha},$$

де  $\omega$  – шлях на останньому підінтервалі від початкового положення датчика. Додатковий час вимірювань нанооб'єкту визначається наступним чином

$$\left. \begin{aligned} \omega(t_k) &= \omega_1 e^{-\gamma t_k^\alpha} \\ \omega(t_k + t_{\text{доп}})_{\text{доп}} &= \omega_1 e^{-\gamma(t_k + t_{\text{доп}})^\alpha} \end{aligned} \right\}$$

де  $\omega(t_k)$ - параметр виявлення відхилень розташування датчика СЗМ в  $k$ -му підінтервалі часу вимірювань;  $\omega(t_k + t_{\text{доп}})_{\text{доп}}$  - допустиме значення параметра відхилень від початкового розташування датчика, що забезпечує виконання вимоги  $\Omega(t) \leq \omega_{\text{доп}}$ . Розв'язком цих рівнянь буде значення додаткового часу:

$$t_{\text{доп}} = \sqrt[a]{t_k^\alpha - \left(\frac{1}{\gamma}\right) \ln \frac{\omega(t_k + t_{\text{доп}})_{\text{доп}}}{\omega(t_k)}} - t_k,$$

Слід зазначити [6 – 8], що збільшенням тривалості проведення вимірювань при сталому значенні параметра відхилень від початкового розташування датчика не задовольняє вимогу  $\Omega(t) \leq \omega_{\text{доп}}$ . Інтенсивність прояву зсуву даичика в позиції  $z$  дорівнюватиме

$$\lambda_z = \lambda_{z0} a_{z1} a_{z2} a_{z3}, \quad (1)$$

де  $\lambda_{z0}$  - початкова інтенсивність прояву відхилень від початкового розташування датчика в позиції  $z$  при початковому вимірюванні,  $a_{z1}$  - середня відносна інтенсивність прояву відхилень від початкового розташування датчика при підвищенні температури,  $a_{z2}$  - середня відносна інтенсивність прояву відхилень від початкового розташування датчика під впливом температурного розширення;  $a_{z3}$  - середня відносна інтенсивність прояву відхилень від початкового розташування датчика під впливом інших дестабілізуючих факторів. Сумарне значення параметра потоку прояву відхилень від початкового розташування датчика буде дорівнювати

$$\omega_j = \sum_{z=1}^{n_j} \lambda_{z0} a_{z1} a_{z2} a_{z3},$$

де  $n_j$  – кількість вимірювальних операцій для  $j$ -ї точки у відносній системі координат. Для початкового режиму вимірювань, вираз (1) можна записати наступним чином

$$\omega_j^{(1)}(t) = \sum_{z=1}^{n_j} \lambda_{z0} a_{z1}^{(1)} a_{z2}^{(1)} a_{z3}^{(1)}.$$

Значення параметра відхилень від початкового розташування датчика не повинно перевищувати допустиме значення:

$$\omega(t)_{\text{доп}} \geq \frac{1}{A} \omega(t),$$

де  $A$  – коефіцієнт додаткового виявлення відхилень від початкового розташування датчика;  $\omega(t)_{\text{доп}}$  – допустиме значення параметра прояву відхилень від початкового розташування датчика під час проведення вимірювань в нанометровому діапазоні.

При більш інтенсивному впливі дестабілізуючих факторів, математична модель рухів датчика має бути дотримана рівність

$$e^{-\gamma t_{\text{інт}}^{a_{\text{інт}}}} = \frac{B}{Ae^{-\gamma t^a}},$$

де  $B = \sum^{n\gamma} \lambda_{z_0} a_{z_1}^{(1)} a_{z_2}^{(1)} a_{z_3}^{(1)} / \sum^{n\gamma} \lambda_{z_0} a_{z_1}^{(2)} a_{z_2}^{(2)} a_{z_3}^{(2)}$  – коефіцієнт збільшення значення параметра потоку відхилень від початкового розташування датчика.

При більш інтенсивному впливі дестабілізуючих факторів час проведення випробувань визначається за формулою

$$t_{\text{інт}} = a_{\text{інт}} \sqrt{t^a - \frac{1}{\gamma} \ln \frac{B}{A}},$$

де  $t$  – час проведення вимірювань в початкових умовах;  $a_{\text{інт}}$  – коефіцієнт, що визначає інтенсивність впливу дестабілізуючих факторів в нових умовах.

Коефіцієнт  $a_{\text{інт}}$  визначається при обробці даних про відхилення від початкового розташування датчика за умови підвищеної інтенсивності впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, отриманих в перших підінтервалах часу проведення вимірювань нанооб'єкту.

Зазвичай виробники СЗМ можуть запропонувати деякі методи для поліпшення нелінійності датчиків, такі як гістерезис та повзучість. Доведено, що гістерезис можна зменшити, проводячи сканування в одному напрямку, а для усунення повзучості рекомендовано робити паузи у кілька хвилин після кожного великого руху сканування [2].

Цифрові зображення реконструюються з топографічних даних, які представляють інформацію про висоту дискретних точок на поверхні зразка, тобто різні кольори у цифрових зображеннях мають різну висоту топографії зразка.

Викликані дрейфом спотворення описуються лінійними перетвореннями, які справедливі у випадку, коли швидкість дрейфу СЗМ змінюється досить повільно. В якості вихідних даних використовується одна або дві пари зустрічно сканованих зображень (ВСИ) рельєфу поверхні. Відповідно до запропонованого способу для виправлення викривлень необхідно в кожному ВСИ розпізнати одну і ту ж особливість поверхні і визначити її латеральні координати. Знаходячи коефіцієнти лінійних перетворень, роблять корекцію ВСИ в латеральній і вертикальній площинах.

Поснавши виправлені ВСИ, виконують усереднення рельєфу в області їх перекриття. Спосіб дозволяє оцінювати похибка виправлення дрейфу і отримувати виправлені зображення, похибка в яких не перевищує деякого наперед заданого значення.

Доведено, що дрейф у  $z$ -напрямку може розглядатися як некорельована величина до площини  $xy$ . Отже, вплив  $z$ -дрейфу може бути усунутий перетворенням оригінальних цифрових зображень на градієнтні [5].

Для компенсації впливу  $z$ -дрейфу запропоновано співставляти два цифрових зображення нанооб'єкту, зроблених у різний час

$$h_{k+1}(x, y) = h_k(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k) + \Delta z_k, \quad (2)$$

де  $\Delta x_k, \Delta y_k, \Delta z_k$  - дрейф у напрямках  $x, y$  та  $z$  відповідно між двома проміжками часу  $k$  та  $k + 1$ .

Градiєнт  $x$ -напрямку вимірювань може бути розрахований наступним чином

$$g_{kx}(x, y) = h_k(x, y) - h_k(x - 1, y). \quad (3)$$

Аналогічно градієнт у-напрямку може бути обчислений як

$$g_{ky}(x, y) = h_k(x, y) - h_k(x, y - 1). \quad (4)$$

Підставивши (2) у (3) та (4), ми можемо отримати

$$\begin{aligned} g_{kx+1}(x, y) &= h_{k+1}(x, y) - h_{k+1}(x - 1, y) = \\ &= h_k(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k) + \Delta z_k - (h_k(x + \Delta x_k - 1, y + \Delta y_k) + \Delta z_k) = \\ &= g_{kx}(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k), \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} g_{kx+1}(x, y) &= h_{k+1}(x, y) - h_{k+1}(x, y - 1) = \\ &= h_k(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k) + \Delta z_k - (h_k(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k - 1) + \Delta z_k) = \\ &= g_{ky}(x + \Delta x_k, y + \Delta y_k). \end{aligned} \quad (6)$$

Потім усувається зсув у напрямку z.

Наші експерименти показали, що використання методу фазової кореляції для вимірювання зміщення двох градієнтних зображень є більш ефективним, ніж використання вихідних зображень. Крім того, у двох послідовних градієнтних зображень, встановлено, що топографічних змін немає.

Використовуючи властивість зсуву перетворення Фур'є, метод фазової кореляції може перетворити зсув просторової області на різницю фаз у частотній області.

Ми можемо описати пару послідовних зображень s як  $h_k(x, y)$  і  $h_{k+1}(x, y)$ , а їх градієнти -  $g_k(x, y)$  і  $g_{k+1}(x, y)$  відповідно.

Перетворення Фур'є для  $h_k(x, y)$  і  $h_{k+1}(x, y)$  є  $H_k(f_x, f_y)$  і  $H_{k+1}(f_x, f_y)$ . Припускаючи, що є зсув переміщення  $(\Delta x, \Delta y)$  між двома послідовними зображеннями, зв'язок між двома перетвореннями Фур'є зображень представляється як

$$H_{k+1}(f_x, f_y) = H_k(f_x, f_y) \exp[-j2\pi(\Delta x f_x + \Delta y f_y)]. \quad (7)$$

Перехресною кореляційною функцією двох кадрів, зроблених у різний час є

$$c_{k,k+1}(x, y) = \varepsilon^{-1} \left( H_k^*(f_x, f_y) H_{k+1}(f_x, f_y) \right) = \delta(x - \Delta x, y - \Delta y). \quad (8)$$

Оскільки для того, щоб усунути дрейф напрямку z, використовуються градієнтні зображення, тоді співвідношення (8) можна представити як

$$c_{k,k+1}(x, y) = \varepsilon^{-1} \left( G_k^*(f_x, f_y) G_{k+1}(f_x, f_y) \right) = \delta(x - \Delta x, y - \Delta y). \quad (9)$$

У отриманому співвідношенні (8) функції  $G_k(f_x, f_y)$  і  $G_{k+1}(f_x, f_y)$  є двовимірним дискретним перетворенням Фур'є  $g_k(x, y)$  і  $g_{k+1}(x, y)$  відповідно,  $\varepsilon^{-1}$  позначає зворотне перетворення Фур'є та позначає складну спряжену. Рівняння (8) також є імпульсною функцією в площині  $xu$ , а рівняння є оцінкою дрейфу між двома послідовними кадрами.

Припустимо, що дрейф СЗМ можна описати як зсув між системою координат зонда  $O_{вз}(x_{вз}, y_{вз}, z_{вз})$  та системою координат вимірювального об'єкта  $O_{ов}(x_{ов}, y_{ов}, z_{ов})$  у базовій системі координат СЗМ  $O_{бс}(x_{бс}, y_{бс}, z_{бс})$ , як показано на рис. 2.

У процесі вимірювання СЗМ, зонд приводиться в дію приводом ПЗМ. При зміні напруги до приводу, датчик буде рухатися у відповідний напрямок, тоді як зонд може дрейфувати по

відношенню до базової системи координат. Отже, ми можемо описати відношення між системою координат зонда та базової системи координат наступним чином:

$$O_{ВЗ} = O_{бс} + ВЗ_{ВЗ,бс}, \quad (10)$$

де  $ВЗ_{ВЗ,бс} = (t_{бсХ}, t_{бсУ}, t_{бсZ})^{ВЗ}$  – це вектор переводу з однієї системи координат в іншу.

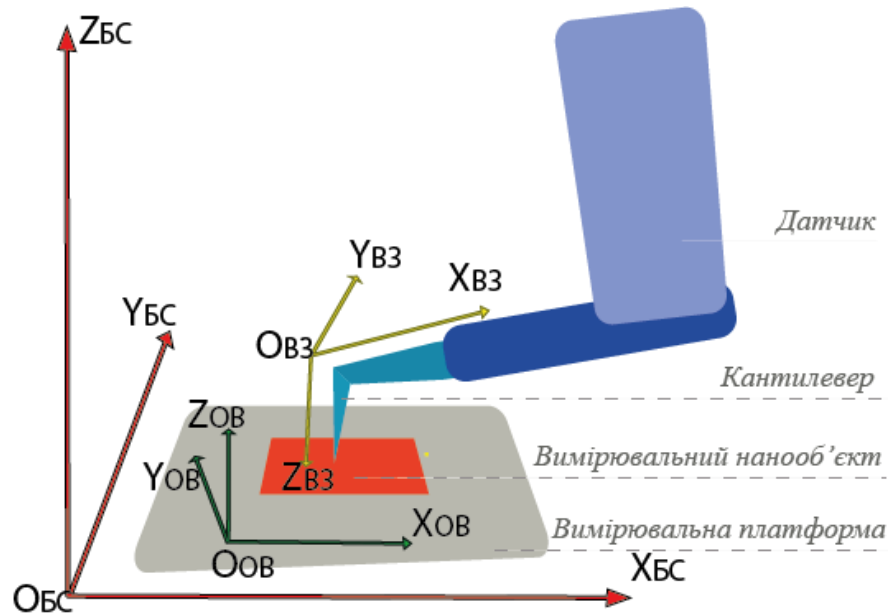


Рисунок 2 – Системи сканування ЗСМ з визначеними системами координат

Таким чином, якщо гістерезис компенсується або не враховує повзучість та нелінійність кривої переміщення. Переведення з однієї системи координат в іншу буде складатися з двох частин: одна - це п'єзо-розширення  $П_p$ ; інша – дрейф  $Д_{ВЗ,бс}$  зонда щодо базової системи координат, тобто

$$З_{ВЗ,бс} = П_p + Д_{ВЗ,бс}. \quad (11)$$

Зв'язок переводу системи координат вимірювального об'єкту у базову систему координат можна записати як

$$O_{ов} = O_{бс} + ЗВ_{ов,бс}, \quad (12)$$

де  $ЗВ_{ВЗ,бс} = (t_{овХ} t_{овУ} t_{овZ})^{ЗВ}$  - вектор переводу, який містить лише дрейф  $D_{SB}$  між системою координат вимірювального об'єкту і базовою системою координат. Взаємозв'язок відносної системи координат вимірювального наноб'єкту і системи координат  $O_{ВЗ}$  визначається наступним чином:

$$O_{ов} = O_{ВЗ} + ЗВ_{ов,бс} - ЗВ_{ВЗ,бс}, \quad (13)$$

Перетворення (12), (13) описує відповідну зміну положення вимірювального об'єкту та зонду, що може вплинути на топографічну карту під час сканування зображень ЗСМ.

#### Висновки й перспективи подальших досліджень

Виходячи з проведених досліджень, можна зробити висновок, що дрейф системи АСМ не повністю залежить від зміни температури системи під час її роботи, тобто теплове розширення приводу датчика не є єдиним домінуючим фактором, що спричинює загальний дрейф системи. Подальше дослідження слід провести для розуміння інших факторів, що впливають на явище дрейфу СЗМ. Цифрове зображення наноб'єкту та його положення у

системі координат СЗМ має бути кількісно виміряно і компенсуватися з метою підвищення надійності та можливості повтору нановізуалізації та наноманіпуляції.

Слід також підкреслити, що використання методу фазової кореляції для вимірювання зміщення двох градієнтних зображень є більш ефективним, ніж використання вихідних зображень. Крім того, у двох послідовних градієнтних зображень, топографічних змін немає. Використовуючи властивість зсуву перетворення Фур'є, метод фазової кореляції може перетворити зсув просторової області на різницю фаз у частотній області.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Нестеров С.Б. Сканирующие зондовые микроскопы / Нестеров С.Б., Логинов Б.А., Зилова О.С., Сабирзянов Н.Р. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007 г., 200 стр.
2. Андреева Н.В. Экспериментальные методы исследования: методики туннельной и атомно-силовой микроскопии / Андреева Н.В., Габдуллин П.Г., Журкин А.М. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2015. - 105 стр.
3. Бромберг Э. М. Тестовые методики повышения точности измерений / Э. М. Бромберг. – М: Энергия, 2008. – 242 с.
4. Кононогов, С. А. Исследование измерительных и калибровочных возможностей средств измерений нанометрового диапазона / С. А. Кононогов // *Законодательная и прикладная метрология*. – 2008. – № 3. – С. 19 – 25.
5. Тодуа П. А. Метрология и стандартизация в нанотехнологиях и nanoиндустрии / П. А. Тодуа. // *Измерительная техника*. – 2008. – №5. – С. 5 – 7.
6. Optical coherence tomography today: speed, contrast, and multimodality / [W. Drexler, M. Liu, A. Kumar та ін.]. // *Biomed*. – 2014. – №19. – С. 12–19.
7. Optical coherence tomography: a review of clinical development from bench to bedside / [ A. M. Zysk, F. T. Nguyen, A. L. Oldenburg та ін.]. // *Biomed*. – 2007/ - № 12(5).
8. Pearson, E.S. *Biometrika* / E.S. Pearson, S.C. Chandra . – *Annals of mathematical statistics*, 1936. – 116 p.
9. Ferguson, T. S. Proceeding of the 4 Berkeley symposium on mathematical statistics and probability / T.S. Ferguson. – *Annals of mathematical statistics*, 2003. – 253 p.
10. Дэйвид Г. Порядковые статистики: пер. с англ. под редакцией Петрова В.В. / Г. Дэйвид. – М.: Наука, 1979. – 336 с.

#### REFERENCES:

1. Nesterov S., Loginov B., Zilova O., Sabirzyanov N. “Scanning probe microscopes” (2007) [MEI Publishing House] 200 p.
2. Andreeva N., Gabdullin P., Zhurkin A. “Experimental methods of research: methods of tunnel and atomic force microscopy” (2015) [ St. Petersburg State Polytechnic University], 105 p.
3. Bromberg E.M. “Test methods for improving the accuracy of measurements” (2008) [Energy], 242c.
4. Kononogov S. “Research of measuring and calibration capabilities of nanometer measuring instruments” (2008) [Legislative and applied metrology], № 3, pp. 19 - 25.
5. Todua P. ‘Metrology and standardization in nanotechnology and nanoindustry’ (2008) [Measuring equipment], №5. - pp. 5 - 7.
6. W. Drexler, M. Liu, A. Kumar “Optical coherence tomography today: speed, contrast, and multimodality” (2014) [Biomed], №19, pp. 12–19.
7. A. M. Zysk, F. T. Nguyen, A. L. Oldenburg “Optical coherence tomography: a review of clinical development from bench to bedside” (2007) [Biomed], № 12 (5).
8. E.S. Pearson, S.C. Chandra “Annals of mathematical statistics” (1996) - 116 p.
9. Ferguson, T. S. “Proceeding of the 4 Berkeley symposium on mathematical statistics and probability” (2003), 253 p.
10. David G. “Ordinal statistics: trans. with English edited by VV Petrov” (2009) [Science], 336 c.

**METHOD OF SPATIAL UNCERTAINTY COMPENSATION FOR MEASUREMENT IN  
NANOMETER RANGE**

*The article analyzes the main destabilizing factors that cause drift when measuring with a scanning probe microscope (SPM) in the nanometer range. It is determined that thermal drift is the main cause of spatial uncertainty in the mechanical system of SPM, because due to thermal expansion and compression can be displaced SPM probe or sample without applying any driving voltage to the piezoelectric drive mechanism. It has been established that thermal drift can have a significant effect on the reliability of measurement results in the form of a digital image, as it significantly distorts the position of the nanoobject during sequential scanning. Methods have been developed to compensate for the spatial uncertainty of the SPM and its piezoelectric drive mechanism, namely: hysteresis, creep, and thermal drift. It has been shown that hysteresis can be reduced by scanning in one direction, and it is recommended to pause for a few minutes after each major scan movement to eliminate creep. It is proved that drift in the z-direction can be considered as an uncorrelated value to the xy plane and can be eliminated by converting the original digital images to the gradient. Experiments have shown that the use of a phase correlation method to measure the offset of two gradient images is more effective than the use of original images. In addition, in two consecutive gradient images, there are no topographic changes, and using the Fourier transform shear property, the phase correlation method can convert the shift of the spatial region to the phase difference in the frequency domain. Calculation methods are proposed that analyze the effect of thermal expansion of the sensor drive on the overall drift of the system. The results showed that although the extension length of the sensor drive is the largest among all major system components, this may not be the main cause of overall system drift.*

*Key words: Scanning Probe Microscope; automatic nanomanipulation; automated sequential image processing; the drift of new dimensions.*

## ДВОПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПЛАНУ ЕКСПЕРИМЕНТУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ КРЕМНІЮ В ПРОЦЕСАХ ГЛИБОКОГО ПЛАЗМОХІМІЧНОГО ТРАВЛЕННЯ МЕМС

*У науці і техніці все більше зростає необхідність раціонального використання праці вчених і інженерів, а також засобів виробництва – технічного обладнання і матеріалів. Одним з напрямків підвищення продуктивності наукової праці є застосування передових математичних методів і обчислювальних засобів. До таких методів відноситься планування експерименту. Його якісна і оптимальна реалізація дозволяє успішно вирішувати наукові, виробничі та технологічні проблеми.*

*В даний час широко використовують різні методи планування при проведенні досліджень. Планування експерименту припускає одночасну зміну всіх факторів, які впливають на досліджуваний процес, що дозволяє встановити ступінь взаємодії факторів і зменшити кількість експериментів. Доцільно проводити досліді при мінімальних вартісних витратах. Але в той же момент при плануванні ще одним важливим критерієм є час. Це особливо актуально при дослідженні дорогих і тривалих процесів. Тому мета планування експерименту полягає в створенні схеми, яка необхідна для отримання якомога більшої інформації при найменших витратах та з найкоротшою тривалістю дослідження. Більш точно планування експерименту можна визначити як процедуру вибору числа і умов проведення дослідів, достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. Важливою перевагою є його універсальність, придатність в величезній більшості областей. Об'єкт дослідження: процеси оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними і часовими витратами. Предмет дослідження: метод двопараметричної оптимізації, розроблений на основі алгоритму гравітаційного пошуку з допомогою узагальненого критерію вартості та часу проведення експерименту. При дослідженні шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС проаналізовано працездатність та ефективність методу двопараметричної оптимізації у порівнянні з початковим та оптимальним планами експерименту (без урахування узагальненого критерію).*

*Ключові слова: план експерименту, початковий план, гравітаційний пошук, двопараметрична оптимізація, узагальнений критерій, нормуючі значення, вартість.*

**Вступ.** Сучасні методи планування експерименту і обробки його результатів, розроблені на основі математичної статистики, дозволяють істотно скоротити число дослідів, підвищити точність і значно зменшити обсяг експериментальних досліджень. Це зменшує терміни їх проведення і в значній мірі підвищує їх економічність і ефективність.

Знання та використання цих методів робить працю експериментатора більш цілеспрямованою і організованою, істотно підвищує як продуктивність праці, так і надійність одержуваних результатів.

За допомогою розробленого методу гравітаційного пошуку [1] проведено двопараметричну оптимізацію з використанням узагальненого критерію вартості та часу проведення експерименту. Реалізація полягає у перестановці рядків матриці планування та знаходження мінімального значення вартості перестановки (тривалості проведення) по відношенню до першого рядка матриці.

Працездатність та ефективність двопараметричної оптимізації проаналізовано на прикладі дослідження шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС [2].

Об'єкт дослідження: процес двопараметричної оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними та часовими витратами.

Предмет дослідження: метод побудови матриці планування експерименту, оптимальної за вартістю реалізації та часовими витратами, з використанням алгоритму гравітаційного пошуку та узагальненим критерієм вартості та тривалості проведення експерименту.

Мета дослідження: оцінка впливу узагальненого критерію вартості та часу проведення експерименту на оптимізацію плану багатofакторного експерименту.

**Аналіз існуючих публікацій.** Для вирішення задачі оптимізації за вартісними (часовими) витратами можливе застосування методів комбінаторної оптимізації [3-6]. Відомі приклади побудови багатofакторних планів експерименту, засновані на використанні таких методів оптимізації: метод табу – пошуку [7], стрибаючих жаб [8], мурашиний алгоритм [9]. Була доведена ефективність застосування цих методів при дослідженні ряду різних об'єктів: технологічних процесів, приладів, систем. Кожен з цих методів має свої переваги і недоліки. Їх суттєвими недоліками є: низька швидкодія, не завжди знаходиться точне рішення, а вдається знайти лише близьке до оптимального значення.

Зважаючи на це, доцільно для порівняння результатів оптимізації планів експерименту дослідити метод гравітаційного пошуку [1], в якому використовуються аналогії руху твердих тіл внаслідок їх гравітаційної взаємодії [10]. Його реалізація полягає у перестановці рядків матриці планування експерименту та знаходження мінімального значення вартості перестановки по відношенню до першого рядка матриці.

Приклад двопараметричної оптимізації було розглянуто при дослідженні ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП) [11].

**Основні матеріали дослідження.** Для дослідження шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС було розроблено алгоритм оптимізації планів проведення експерименту, що заснований на використанні методу гравітаційного пошуку. Раніше цим методом було досліджено фотоелектричні перетворювачі кутових переміщень [1]. При цьому, в якості критерію оптимізації застосовувалась мінімальна вартість реалізації експерименту. Основною метою цієї статті є дослідження впливу на процес оптимізації не тільки вартості, але і тривалості проведення експерименту

$$S_0 = \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^k S_{i,j} \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$t_0 = \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^k t_{i,j} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $S_{i,j}$  – вартість установки  $i$ -го фактору в  $j$ -му досліді;

$t_{i,j}$  – тривалість установки  $i$ -го фактору в  $j$ -му досліді;

$k$  – кількість факторів;

$n$  – число дослідів.

При дослідженні плазмохімічного травлення МЕМС та складанні плану експерименту були враховані три вхідних фактори процесу, імовірно здатних найбільшою мірою впливати на оптимізацію процесу:  $x_1$  – відношення тривалості стадій пасивації і травлення,  $x_2$  – тиск в реакторі, Па,  $x_3$  – температура електрода-підложкотримача, °С.

Середньоарифметичне відхилення профілю є параметром оптимізації. Для побудови математичної моделі у вигляді  $U = f(x_1, x_2, x_3)$  достатньо застосувати повний факторний експеримент  $2^3$ .

Повний опис процесу дослідження шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС наведено у роботі [2].

У табл. 1 показана початкова матриця планування експерименту.



Таблиця 1

Початкова матриця планування експерименту

Номер досліду	Фактори		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Вартості змін значень рівнів факторів приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Вартості змін значень рівнів факторів

Перехід рівнів	S <sub>x1</sub> , у.о.	S <sub>x2</sub> , у.о.	S <sub>x3</sub> , у.о.
-1 → +1	4	10	20
+1 → -1	6	14	16

Час змін значень рівнів факторів приведені в табл. 3.

Таблиця 3

Час змін значень рівнів факторів

Перехід рівнів	t <sub>x1</sub> , хв.	t <sub>x2</sub> , хв.	t <sub>x3</sub> , хв.
-1 → +1	13	8	20
+1 → -1	11	12	14

Вартість реалізації та тривалість проведення початкового плану експерименту складає S<sub>поч</sub> = 88 у.о. та t<sub>поч</sub> = 133 хв. відповідно.

Оптимальні за вартістю та тривалістю проведення плани експерименту, отримані з використанням методу гравітаційного пошуку, представлені в табл. 4.

Таблиця 4

Оптимальні плани експерименту, отримані методом гравітаційного пошуку

Вартість експерименту, у.о.				Тривалість експерименту, хв.			
Номер досліду	Фактори			Номер досліду	Фактори		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>		x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	2	-1	+1	-1
3	+1	+1	-1	3	+1	+1	-1
4	-1	+1	-1	4	+1	-1	-1
5	-1	+1	+1	5	+1	-1	+1
6	+1	+1	+1	6	+1	+1	+1
7	+1	-1	+1	7	-1	+1	+1
8	-1	-1	+1	8	-1	-1	+1

Вартість реалізації та тривалість проведення оптимальних планів експерименту складає  $S_{\text{опт}} = 64$  у.о. та  $t_{\text{опт}} = 48$  хв. У порівнянні з початковими планами експерименту маємо виграти у 1,4 та 1,6 разів відповідно.

Також метод гравітаційного пошуку було використано для двопараметричної оптимізації плану експерименту, де в якості критерію оптимізації використовується узагальнений критерій вартості та часу проведення експерименту

$$\frac{K_1}{N_1} \sum S_{i \rightarrow j} + \frac{K_2}{N_2} \sum t_{i \rightarrow j} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $S_{i \rightarrow j}$  – вартість переходу з  $i$ -го експерименту в  $j$ -ий;

$t_{i \rightarrow j}$  – час переходу з  $i$ -го експерименту в  $j$ -ий;

$K_1, K_2$  – вагові коефіцієнти для вартісного і часового параметрів оптимізації відповідно;

$N_1, N_2$  – нормуючі значення для вартісного і часового параметрів оптимізації відповідно.

Нормуючі значення визначаються наступним способом:

$$N_1 = \max \{S_{1 \rightarrow 2}, S_{1 \rightarrow 3}, \dots, S_{2 \rightarrow 1}, S_{2 \rightarrow 3}, \dots, S_{i \rightarrow j}, \dots, S_{n-1 \rightarrow n}\}; \quad (4)$$

$$N_2 = \max \{t_{1 \rightarrow 2}, t_{1 \rightarrow 3}, \dots, t_{2 \rightarrow 1}, t_{2 \rightarrow 3}, \dots, t_{i \rightarrow j}, \dots, t_{n-1 \rightarrow n}\}.$$

Вагові коефіцієнти  $K_1, K_2$  дозволяють варіювати значимістю відповідного параметра оптимізації: чим вище значення вагового коефіцієнта, тим вище значимість відповідного параметра оптимізації.

Використовуючи метод гравітаційного пошуку, проведено двопараметричну оптимізацію вихідного плану. Було отримано оптимальні плани для вагових коефіцієнтів  $K_1 = 1, K_2 = 2$  та  $K_1 = 2, K_2 = 1$ . Нормуючі значення дорівнюють  $N_1 = 40$  у.о.,  $N_2 = 45$  хв. Відповідно до вагових коефіцієнтів, отримуємо такі узагальнені критерії оптимізації:  $K'_1 = \frac{1}{40} = 0,025, K'_2 = \frac{2}{45} = 0,04$  ( $K_1 = 1, K_2 = 2$ ) та  $K'_1 = \frac{2}{40} = 0,05, K'_2 = \frac{1}{45} = 0,02$  ( $K_1 = 2, K_2 = 1$ ) відповідно. Плани експерименту, оптимальні за вартістю та часом проведення з використанням  $K'_1$  та  $K'_2$ , показано у табл. 5.

Таблиця 5

Оптимальні плани експерименту з використанням узагальненого критерію

Номер досліджу	$K_1 = 1, K_2 = 2$			Номер досліджу	$K_1 = 2, K_2 = 1$		
	Фактори				Фактори		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$		$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1	2	+1	-1	-1
3	+1	+1	-1	3	+1	+1	-1
4	-1	+1	-1	4	-1	+1	-1
5	-1	+1	+1	5	-1	+1	+1
6	+1	+1	+1	6	+1	+1	+1
7	+1	-1	+1	7	+1	-1	+1
8	-1	-1	+1	8	-1	-1	+1

При дослідженні оптимальних планів експерименту з використанням узагальненого критерію, ми бачимо, що матриці з ваговими коефіцієнтами  $K_1 = 1, K_2 = 2$  та  $K_1 = 2, K_2 = 1$  не відрізняються між собою. При проведенні експерименту зі значеннями коефіцієнтів

$K_1 = 1, K_2 = 2$ , вартість реалізації та тривалість проведення досліду складає  $S_{\text{опт}} = 64$  у.о. та  $t_{\text{опт}} = 88$  хв. відповідно. Зважаючи на те, що оптимальні плани експериментів однакові, вартість реалізації та тривалість проведення технологічного процесу для випадку, коли  $K_1 = 2, K_2 = 1$  такі ж, як і при  $K_1 = 1, K_2 = 2$ , тому вплив вагових коефіцієнтів незначний.

**Висновки.** Для двопараметричної оптимізації планів багатofакторного експерименту за вартісними та часовими витратами було використано метод гравітаційного пошуку.

Доведена його працездатність та ефективність при дослідженні шорсткості поверхні кремнію в процесах глибокого плазмохімічного травлення МЕМС. Результати показали, що у порівнянні з початковими планами експериментів, маємо вигаши за вартісними та часовими витратами у 1,4 та 1,6 разів відповідно.

У результаті дослідження встановлено, що у нашому прикладі вплив вагових коефіцієнтів незначний. Має сенс дослідити двопараметричну оптимізацію для більшої кількості факторів і з більшою різницею у значеннях вагових коефіцієнтів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Кошовий М. Д., Малкова Г. В. Застосування методу гравітаційного пошуку для мінімізації вартості проведення багатofакторного експерименту. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. 2020. №69. С. 51-58.

2. Кошевой Н. Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: изд. Шевченко Р.В., 2013. 317 с.

3. Hoskins D. S. Combinatorics and Statistical Inferecing, Applied Optimal Designs, 2007, No. 4, pp. 147–179.

4. Bailey R. A., Cameron P. G. Combinatorics of optimal designs, Surveys in Combinatorics, 2009, Vol. 365, pp. 19–73.

5. Rodrigues M. I., Iemma A. F. Experimental Design and Process Optimization. N.-Y., CRC Press, 2016, 336 p.

6. Яковлев С.В. Свойства задач комбинаторной оптимизации на полиэдрально-сферических множествах, Кибернетика и системный анализ, 2018, Т. 54, №1, С. 99–109.

7. Кошевой Н. Д., Костенко Е. М., Беляева А. А. Сравнительный анализ методов оптимизации при исследовании весоизмерительной системы и терморегулятора. Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №4. С. 179-187.

8. Кошевой Н.Д., Муратов В.В. Применение алгоритма прыгающих лягушек для оптимизации по стоимостным (временным) затратам планов полного факторного эксперимента. Радиоелектронні і комп'ютерні системи. 2018. № 4. С. 53-60.

9. Кошевой Н.Д., Чуйко А.С. Применение муравьиных алгоритмов для оптимизации факторных планов эксперимента. Математичне моделювання. 2013. №1. С. 92-97.

10. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. Информационные технологии. 2012. №7. С. 1-32.

11. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М., Чуйко А.С. Оптимизация комбинаторных планов эксперимента. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. 2013. №43. С. 26-33.

#### REFERENCES:

1. Koshevoy M.D., Malkova H.V. application of the gravity search method to minimize the cost of conducting a multifactor experiment. Collection of Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University. 2020. No. 69. pp. 51-58.

2. Koshevoy N.D., Kostenko E.M. Experimentally-optimal cost and time planning of the experiment: a monograph. Poltava: ed. Shevchenko R.V., 2013. 317 p.

3. Hoskins D. S. Combinatorics and Statistical Inferecing, Applied Optimal Designs, 2007, No. 4, pp. 147–179.

4. Bailey R. A., Cameron P. G. Combinatorics of optimal designs, Surveys in Combinatorics, 2009, Vol. 365, pp. 19–73.

5. Rodrigues M. I., Iemma A. F. Experimental Design and Process Optimization. N.-Y., CRC Press, 2016, 336 p.

6. Yakovlev S.V. Properties of combinatorial optimization problems over polyhedral-spherical sets, Cybernetics and Systems Analysis, 2018, Vol. 54, No. 1, pp. 99–109.

7. Koshevoy N.D., Kostenko E.M., Belyaeva A.A. Comparative analysis of optimization methods in the study of weighing system and thermostat. Radio electronics, informatics, control. 2018. No. 4, pp. 179-187.
8. Koshevoy N.D., Muratov V.V. Application of the jumping frog algorithm for time and cost optimization of plans for a full factorial experiment. Radioelectronic and computer systems. 2018. No. 4, pp. 53-60.
9. Koshevoy N.D., Chuiko A.S. Application of ant algorithms to optimize factorial experimental designs. Mathematical modeling. 2013. No. 1, pp. 92-97.
10. Karpenko A.P. Population algorithms for global search engine optimization. Review of new and little-known algorithms. Information Technology. 2012. No. 7, pp. 1-32.
11. Koshevoy N.D., Kostenko E.M., Chuiko A.S. Optimization of combinatorial experimental plans. Collection of research papers of the National Mining University. 2013. No. 43. pp. 26-33.

**D.Sci. Tech., prof. Koshevoy N.D., Malkova A.V.**

## **TWO-PARAMETER OPTIMIZATION OF THE EXPERIMENTAL PLAN WHEN STUDYING THE ROUGHNESS OF THE SILICON SURFACE DURING DEEP PLASMA-CHEMICAL ETCHING OF MEMS ELEMENTS**

*In science and technology, the need for the rational use of the labor of scientists and engineers, as well as the means of production - technical equipment and materials - is growing more and more. One of the ways to increase the productivity of scientific work is the use of advanced mathematical methods and computational tools. These methods include experiment planning. Its high-quality and optimal implementation allows us to successfully solve scientific, production and technological problems.*

*Currently, various planning methods are widely used in research. The planning of an experiment involves a simultaneous change in all factors affecting the process under study, which makes it possible to establish the degree of interaction of factors and to reduce the number of experiments. It is advisable to conduct experiments with minimal cost. But at the same time, when planning, another important criterion is time. This is especially true when examining expensive and time-consuming processes. Therefore, the goal of experiment planning is to create a scheme that is necessary to obtain as much information as possible at the lowest cost and with a short study duration. More precisely, the planning of an experiment can be defined as a procedure for choosing the number and conditions of experiments that are necessary and sufficient to solve the problem with the required accuracy. An important advantage is its versatility, suitability in most areas. Object of research: the processes of optimizing the plans of a multifactorial experiment in terms of cost and time costs. Subject of research: a two-parameter optimization method developed on the basis of a gravity search algorithm using a generalized criterion of cost and time of the experiment. In the study of the roughness of the silicon surface in the processes of deep plasma-chemical etching of MEMS elements, the operability and efficiency of the two-parameter optimization method were analyzed in comparison with the initial and optimal experimental plans (without taking into account the generalized criterion).*

*Key words: experimental plan, initial plan, gravity search, two-parameter optimization, generalized criterion, normalizing values, cost.*

## УПРАВЛІННЯ ВІБРАЦІЄЮ БПЛА РОТОРНОГО ТИПУ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕЖЕКТОРНИХ ФІЛЬТРІВ

*У роботі на базі прошивки Arducopter ver.4.0.7, встановленої на польотні контролери на базі мікроконтролерів сімейства STM32F4, розглянуті питання зменшення впливу вібрацій на IMU (інерційно вимірювальний пристрій) польотного контролера. Дослідження проводилися в ході льотних випробувань трьох мультикоптерів з рамами 250мм, 550мм і 850мм, зібраних в лабораторії. Відзначено, що firmware arducopter містить ефективний інструментарій, що дозволяє виявляти рівень вібрації і керувати нею. На підставі аналізу графіків вібро-прискорення показано, що для коптерів з рамою, розміром менше 250мм, високо швидкісними ( $kv > 2300$ ) моторами і малими пропелерами (діаметром  $< 5$  ") в якості типу вібро - ізоляційного матеріалу можливе використання дешевої віброзахисту на основі двостороннього скотча з спіненого матеріалу. Для коптерів з рамою 450, 550мм і більше, з низько швидкісними моторами ( $kv < 1000$ ) і пропелерами діаметром більше 10 ", доцільно використання більш складних вібро прокладок на гумових амортизаторах. У роботі розглянуто використання програмних фільтрів для зменшення впливу вібрацій працюючих моторів на показання акселерометра і гіроскопа. В якості таких фільтрів використовувалися динамічні режекторні фільтри, які в роботі налаштовувалися на частотний діапазон, пов'язаний з обертанням двигунів. Зниження вібраційного шуму розглянуто на основі положення дросельної заслінки. Частота в середині дросельної заслінки визначається аналізом журналів, а потім зміна положення дросельної заслінки вище середньої використовується для відстеження збільшення частоти шуму. На прикладі гексакоптера з рамою 850мм показано, що такі фільтри значно скорочують амплітуду не тільки виявленої основної частоти, а й гармоніки. Встановлено, що при правильному виборі механічної віброзахисту, використанні режекторних фільтрів, мотори коптера менше нагріваються, і як наслідок - зменшується енергія споживання. Це особливо помітно для мульти коптерів великого розміру. Помічено, що при FPV польотах з курсовою відео камерою на великому коптере (850мм) вібрація відео зображення помітно зменшилася. Показана можливість використання вібраційних графіків для виявлення причин деяких аварій мультикоптерів, наприклад, при руйнуванні пропелера.*

*Ключові слова: Arducopter, Ardupilot, GPS приймач, БПЛА, AltHold, Loiter, RTL, Land, PosHold, Auto, Notch Filters, Польотний контролер*

**Вступ.** В даний час відомо, що для виконання топографо-геодезичної зйомки з метою складання плану місцевості, обприскування сільськогосподарських полів, проведення рятувальних робіт, військових розвідувальних операцій широко використовуються безпілотні літальні апарати (БПЛА) роторного типу (квадрокоптера, гексакоптери, ортокоптери) [1-3]. Для вирішення таких завдань БПЛА повинен вміти працювати в повністю автоматичному режимі при обльоті території по заданому маршруту. Дуже важливо, щоб під час польоту апарат був досить стійкий до зовнішніх впливів (наприклад, до поривів вітру). Велике значення для вирішення перерахованих завдань, забезпечення стійкості польоту має програмне забезпечення, апаратні засоби.

**Виклад проблеми.** З джерел відомо, що для підтримки стійкості Мультикоптер широко застосовуються математичні моделі, побудовані на базі PID регуляторів [4]. Для функціонування їх дані надходять з IMU (акселерометр, гіроскоп, компас), бародатчиків, GPS приймачів, датчиків оптичного потоку, сонарів і т.д. Для їх обробки широко використовуються такі математичні моделі як комплементарний фільтр, фільтр Маджвіка, фільтр Калмана [5-7]. Від якості використовуваних математичних моделей, які втілені в програмне забезпечення польотних контролерів, в значній мірі залежить стійкість польоту БПЛА. Крім цього особливе значення на поведінку БПЛА під час польоту надають вібрації, викликані обертанням моторів.

Автопілот оснащено акселерометром, чутливими до вібрацій. Ці значення акселерометра об'єднуються з даними барометра і GPS для оцінки положення БПЛА. Через надмірні вібрацій оцінка положення може бути порушена. Це призводить до дуже поганої роботи в режимах, які залежать від точного позиціонування (наприклад, на коптері: режими AltHold, Loiter, RTL, Land, PosHold і Auto [8] - firmware arducopter).

**Аналіз останніх досліджень.** Для стабільного польоту коптера в першу чергу необхідно зменшити частоту і амплітуду вібрації, які є характеристикою роботи двигунів (пропелерів), що обертаються під час польоту. Ці вібрації характеризуються високою частотою з низькою амплітудою. Метою гасіння вібрації є зменшення високочастотних і середньочастотних вібрацій польотного контролера, на якому встановлені барометр, гіроскоп і акселерометр. Для гасіння вібрацій в БПЛА широко використовуються механічні виброгасителі у вигляді спіненого матеріалу, антивібраційні демпфируючі пластини з гумовими амортизаторами для кріплення до рами мультикоптера польотного контролера і т.д. [9]. Для подальшого усунення вібрацій знайшли широке застосування режекторні фільтри, які використовуються в різних прошивках БПЛА [10,11]. Режекторний фільтр - це програмний фільтр нижніх частот, що дозволяє видалити більшу частину залишившихся після механічного фільтра вібраційного шуму. Розглянуті в роботі динамічні режекторні фільтри налаштовуються на діапазон, пов'язаний з частотою обертання двигуна для двигунів мультикоптер. Для їх аналізу широко використовується математичний апарат дискретного перетворення Фур'є, застосування якого висвітлено в роботі [12].

**Основний матеріал і результати роботи.** В роботі розглядаються тестові мультикоптер (рис.1), побудовані на базі прошивок Ardupilot ver 4.0.7 (2021р.), Які встановлені на польотні контролери з мікроконтролерами STM32F4:

1. Гексакоптер з рамою 850мм. Мотор BE4108-380kv, пропелер дволопатекий 16x55;
2. Квадрокоптер з рамою 250мм. Мотор MT2204-2300kv, пропелер трилопатекий 5x45;
3. Гексакоптер з рамою 550мм. Мотор A2212-1000kv, пропелер дволопатекий 10x45.

Установка і налаштування програмного забезпечення виконувалася так, як представлено в роботі [13,14].



Рисунок 1 – Мультикоптери, що тестуються

Попередньо, як показала практика складання мультикоптер [9], польотний контролер для квадрокоптера з розміром рами не більше 250 мм і високоспритними моторами ( $kv > 2300$ ) закріплюють з використанням двостороннього скотча з спіненого матеріалу. Для коптерів з розмірами рами приблизно більше 450мм, на які встановлювалися мотори з  $kv < 1000$ , польотний контролер кріплять до рами за допомогою антивібраційних гумових амортизаторів. Кріплення польотних контролерів розглянутих в роботі мультикоптер показано на рис. 2.

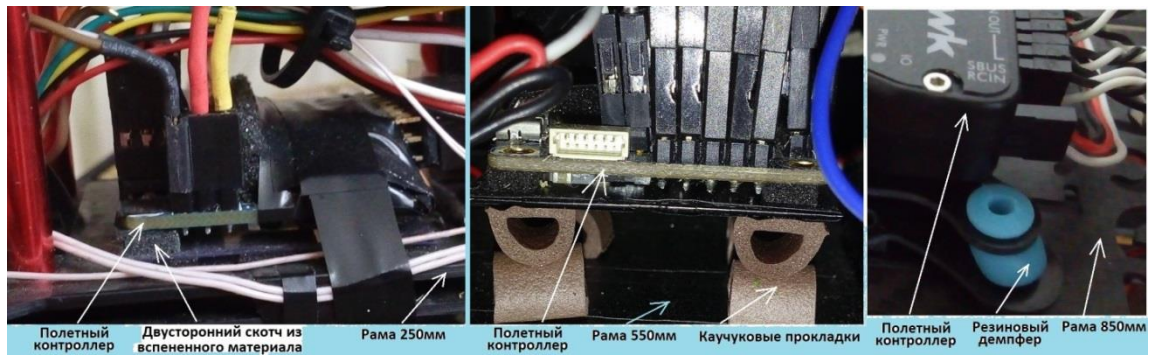


Рисунок 2 – Способи кріплення літальних контролерів до рами мультикоптера

В обох випадках, якщо не забезпечується адекватна віброізоляція, збільшують масу автопілота додатковим важком або зменшують жорсткість антивібраційного матеріалу, не перевищуючи деякого значення, яке підбирається при тестуванні коптера. Якщо використовуються м'які вібраційні прокладки, польотний контролер починає сильно розгойдуватися, що призводить до непередбачуваної поведінки коптера.

Для попереднього налаштування антивібраційних прокладок між рамою коптера і польотних контролером в firmware arducopter використовують повідомлення журналу флеш-даних, які зберігаються в флеш-пам'яті автопілота (SD-карті) у вигляді балок і які можуть бути завантажені після польоту.

Копіювання логів з польотного контролера виконується за допомогою протоколу MAVLink [15]. Для цього комп'ютер зі встановленою наземною станцією (Mission Planner) підключається до БПЛА за допомогою кабелю micro USB. Вибирається вкладка "DataFlash Logs" (рис.3) і натискається кнопка "Download DataFlash Log Via MAVLink". У вікні можна вибрати цікавлять Log files і скопіювати їх на комп'ютер, натиснувши на кнопки "Download All Logs" або "Download Selected Logs".



Рисунок 3 – Копіювання Logs з літального контролера

Для відображення графіків необхідно повернутися до попереднього вікна і натиснути на кнопку "Review a Log". Після вибору файлу відкривається вікно як на рис.4.

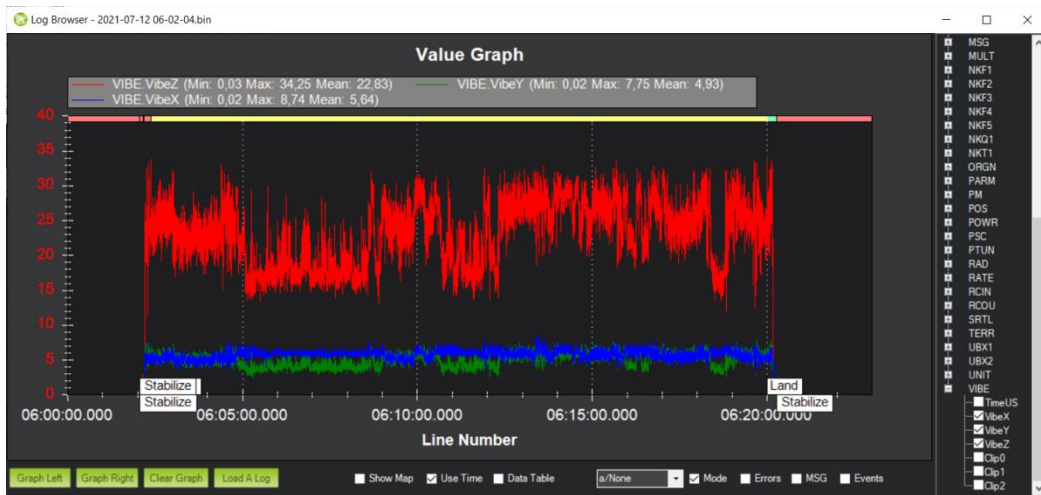


Рисунок 4 – Графіки значень VibeX, VibeY та VibeZ повідомлення VIBE

У цьому вікні побудовані графіки значень VibeX, VibeY і VibeZ повідомлення VIBE. Вони показують відхилення вихідного сигналу акселерометра в м / с / с. З малюнку 4 видно, що деякі значення VibeZ досягають 35 м / с / с. Згідно з рекомендаціями джерела [16] прийнятні рівні вібрації нижче 30 м / с / с. На рівнях вище 30 м / с / с можуть виникнути проблеми, а на рівнях вище 60 м / с / с майже завжди виникають проблеми з утриманням позиції або висоти. Дані на рис.4 відповідають гексакоптеру з рамою 550 мм.

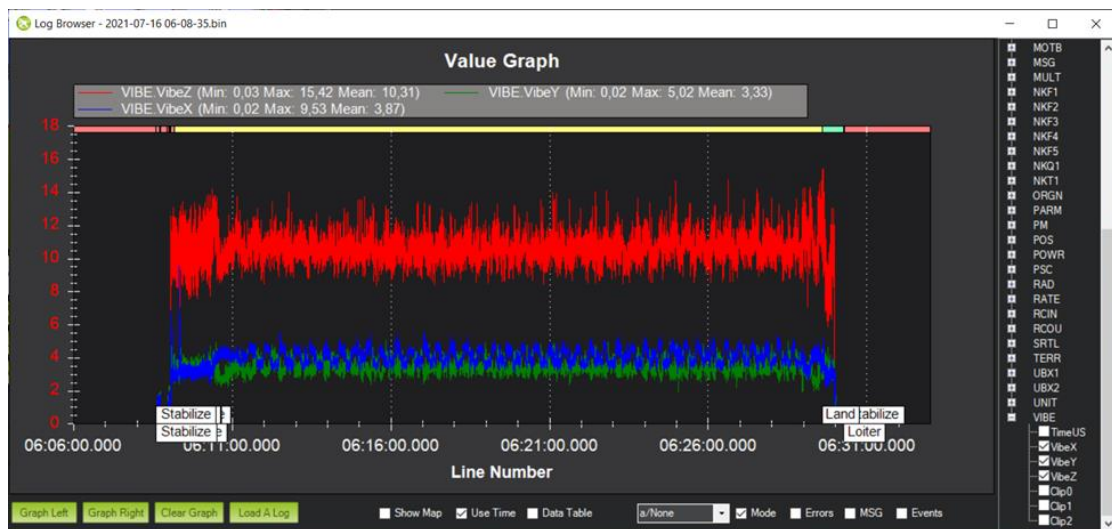


Рисунок 5 – Графіки значень VibeX, VibeY та VibeZ повідомлення VIBE після встановлення грузика

Для зменшення рівня вібрації на польотному контролері був встановлений грузик вагою близько 7 грамів. На рис. 5 показані рівні вібрації для цього випадку. З рис. 5 видно, що вібрації зменшилися в два рази і максимальна величина не перевищила значення 15.4 м / с / с. На рис.6 показані графіки вібрацій в безвітряну погоду для рам 250мм і 550мм в разі, коли польотні контролери встановлені на двосторонньому скотчі зі спіненого матеріалу.



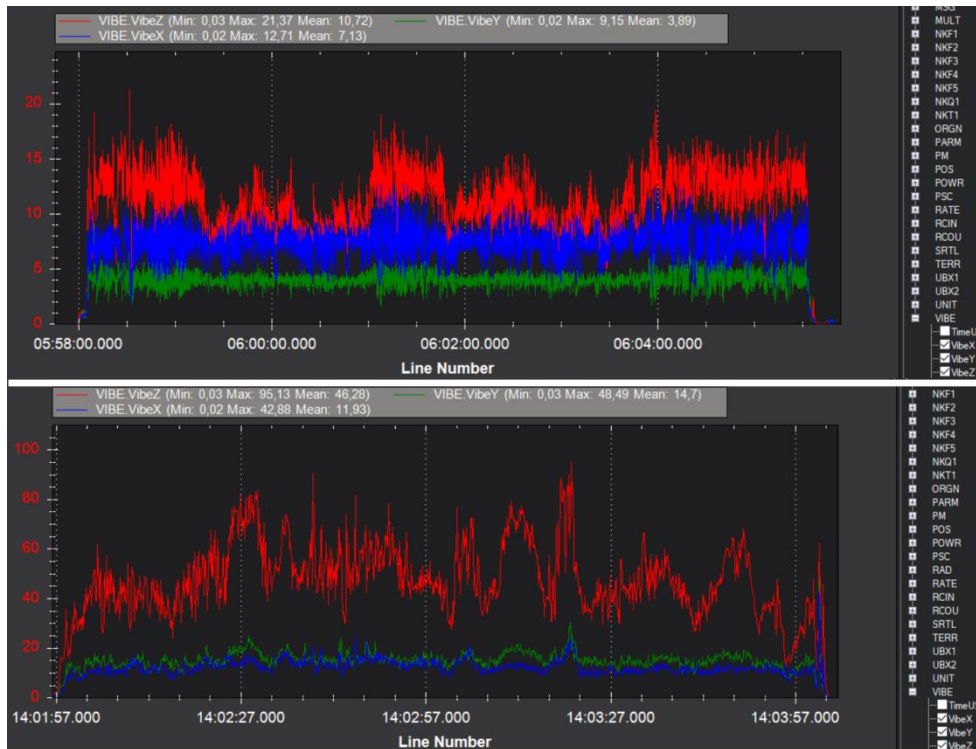


Рисунок 6 – Графіки вібрацій для рам 250 мм та 550 мм відповідно для двухстороннього скотчу зі спіненого матеріалу

Видно, що для рами 250мм значення прискорення вібрацій не перевищувало  $30 \text{ м / с / с}$ . Для рами 550мм практично на всіх ділянках польоту прискорення вібрацій перевищує  $30 \text{ м / с / с}$ , досягаючи максимального значення  $95 \text{ м / с / с}$ . Тестові польоти показали, що в режимі утримання висоти гексакоптер поведився неадекватно. Тому для рами 550мм з моторами 1000kv і пропелерами 10x45 польотний контролер закріплювався на рамі з використанням каучукових прокладок (див. рис. 2).

Вібраційні графіки можуть бути також корисними для виявлення причин аварій мультикоптер.

Log Browser - 2021-07-07 17-14-37.bin

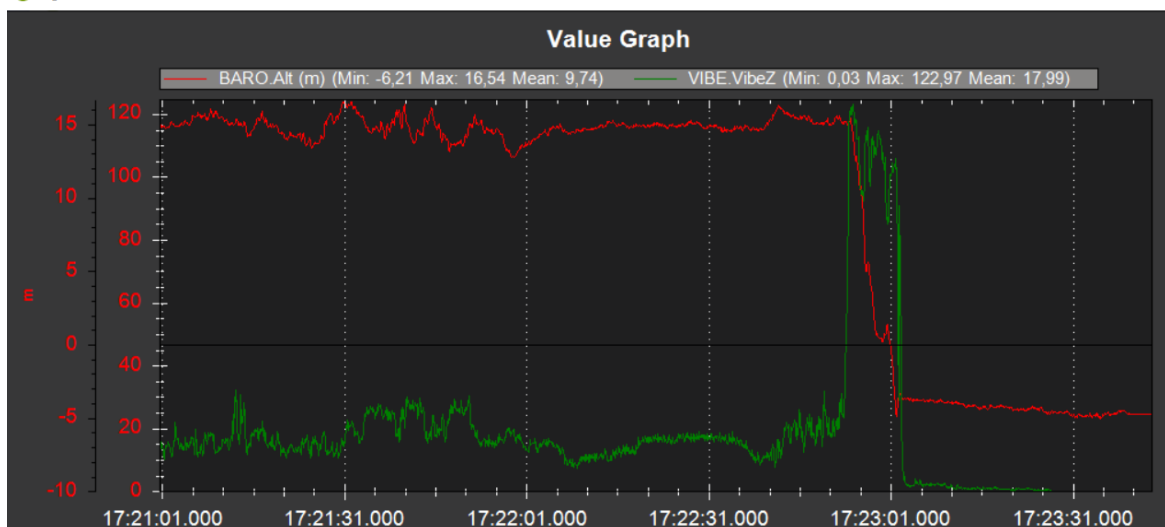


Рисунок 7 – Графік для виявлення причин аварій мультикоптера

Як приклад на рис. 7 наведено графік, який відображає різкий сплеск вібрації в кінці польоту (зелена крива). Червона крива показує висоту польоту по барометра. На висоті 15м видно пік вібрацій, після якого крива висоти різко знижується. У цьому польоті гексакоптер з рамою 550 зазнав аварії. Згідно рис. 7 можна зробити висновок, що падіння було викликано руйнуванням пропелера в повітрі, а не ударом його об землю. Розглянуте механічне демпфірування може бути недостатнім, і для видалення додаткових шумів необхідно використовувати програмну фільтрацію.

Для автопілота вібраційний шум виглядає як будь-яка інша обурення (наприклад, вітер), яке автопілот повинен враховувати для управління БПЛА. ArduPilot використовує програмний фільтр нижніх частот, щоб видалити більшу частину цього залишився вібраційного шуму. Але така фільтрація має і небажаний побічний ефект - видаляється інформація про орієнтацію і управління коптером. Таким чином, хоча агресивна фільтрація може усунути вібраційний шум, вона також може знизити керованість та швидкість реакції БПЛА. Ця проблема стає особливо гострою на коптерах з дуже високим рівнем вібраційного шуму на гармоніках обертання несучого гвинта.

Для мультикоптера практично всі вібрації виходять від двигунів, тому більша частина вібраційного шуму пов'язана з частотою обертання двигуна. Отже, можливо теоретично сконструювати програмний фільтр, який націлений тільки на цей шум, залишаючи в спокої всю корисну інформацію гіроскопа. Для цієї мети можна використовувати режекторний фільтр, який націлений на вузьку смугу частот - обертання двигунів. ArduPilot підтримує два різних режекторних фільтра: статичний режекторний фільтр, який встановлюється на фіксовану частоту, і динамічні режекторні фільтри, які можуть бути налаштовані на діапазон, пов'язаний з частотою обертання двигуна для двигунів мультикоптер. Динамічні режекторні фільтри являють собою набір з декількох фільтрів, розміщених на гармоніках основної частоти фільтра.

З введенням динамічної режекторної фільтрації потреба в статичній режекторній фільтрації знижується. Однак статична фільтрація може бути використана для певної резонансної частоти (наприклад, рами коптера). Тут розглядається тільки динамічна фільтрація. Глобально динамічна режекторна фільтрація включається установкою параметра `INS_HNTCH_ENABLE = 1`. Після перезавантаження польотного контролера з'являться всі додаткові параметри (рис. 8).

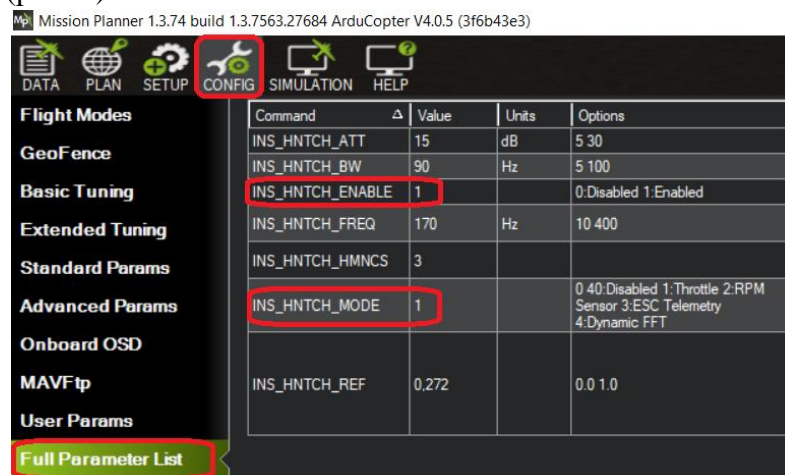


Рисунок 8 – Установка динамічної режекторної фільтрації

Основою для роботи динамічного режекторного фільтра є управління його центральною частотою. Ardupilot дозволяє використовувати п'ять способів управління. Тут розглядається

спосіб на основі положення дросельної заслінки. В цьому випадку частота в середині дросельної заслінки визначається аналізом журналів, а потім зміна положення дросельної заслінки вище цього значення використовується для відстеження збільшення частоти вібраційного шуму. Для включення цього способу управління встановлюється параметр `INS_HNTCH_MODE = 1`. Щоб налаштувати динамічний режекторний фільтр на основі дросельної заслінки, важливо встановити базовий рівень, який ідентифікує шум двигуна на рівні ширяння дросельної заслінки. Для цього використовується пакетний пробовідбірник періодичної дії IMU (інерціальное вимірювальний пристрій) для отримання журналів для аналізу. Він записує високочастотні дані з датчиків IMU в журнал флеш-пам'яті на автопілоті. Згодом ці дані аналізуються після польоту для діагностики проблем з вібрацією за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

ШПФ перетворює дані з тимчасової в частотну область. Тобто дані акселерометра, записані під час польоту, перетворюються в графік, який показує частоти вібрації. Особливістю цих графіків є пік на частоті обертання лопаті гвинта. Це викликає прискорення в корпусі Мультикоптер, тобто вібрацію.

Розглянемо послідовність дій. Спочатку виконується передпольотна настройка, тобто встановлюються у вкладці "Full Parameter List" параметри:

1. `INS_LOG_BAT_MASK = 1` для збору даних з першого IMU;
2. Біт `IMU_RAW` в параметрі `LOG_BITMASK` не повинен перевірятися. Наприклад, значення параметра `LOG_BITMASK`, яке встановлено за замовчуванням не перевіряє біт `IMU_RAW`.

Польотний і післяполітний аналіз:

1. Виконується звичайний політ тривалістю не менше 3-4 хвилин з наступним завантаженням журналів флеш-пам'яті;
2. В запущеній програмі Mission Planner нажмуть `Ctrl-F`, далі кнопка `FFT`, кнопка «новий журнал DF» і вибирається файл журналу `.bin` (рис. 9).



Рисунок 9 – Підготовка до аналізу за допомогою швидкого перетворення Фур'є

Дані акселерометра відображаються у верхньому лівому вікні з вертикальною віссю, яка б показала амплітуду, і горизонтальною віссю, яка б показала частоту. Амплітуда, що не масштабується до корисного значення, що означає, що графік корисний для визначення частоти вібрації, але не для визначення того, чи є рівні амплітуди занадто високими чи ні. У конфігурації за замовчуванням відображаються необроблені дані акселерометра і гіроскопа до їх фільтрації. Фільтрація - це ключова частина запобігання попаданню шуму в контури і двигуни ПІД-регулювання, тому важливо мати можливість переглядати дані після того, як вони були відфільтровані.

При виборі файлу, наприклад для квадрокоптера з рамою 250мм графіки представлені на рис. 10. Тут видно значний пік шуму, відповідний частоті обертання двигуна.

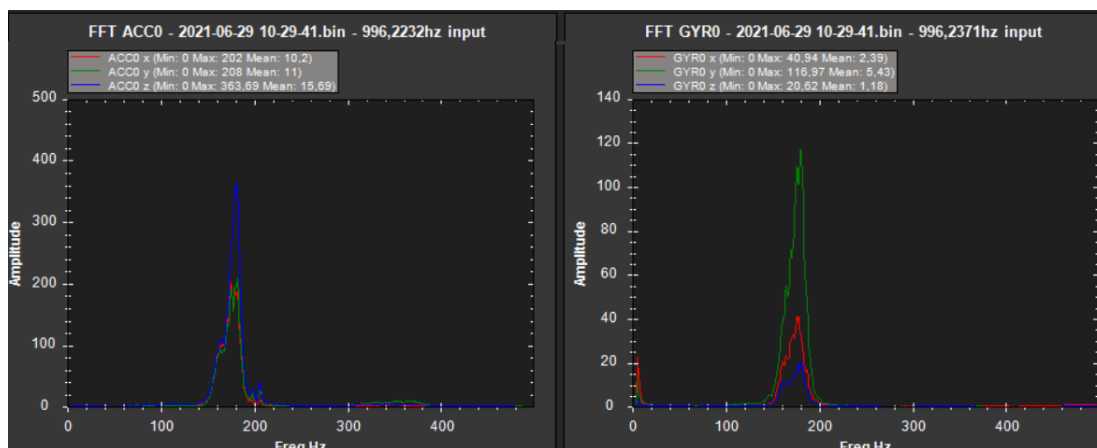


Рисунок 10 – Вібраційний шум коптера з рамою 250мм

Для фільтрації піку шуму виконуємо визначення середнього значення дросельної заслінки при зависанні. Для цього переглядаємо значення параметра MOT\_THST\_HOVER за умови, що параметр встановлений в значення MOT\_HOVER\_LEARN = 2. Для випробовується квадрокоптера з рамою 250 мм і трилопатевиими пропелерами 5x45, MOT\_THST\_HOVER = 0.272.

Таким чином, за допомогою графіків і параметра MOT\_THST\_HOVER отримана частота двигуна для ширяючого польоту hover\_freq = 170 Гц і значення тяги hover\_thrust = 0.272. Виконаємо конфігурацію гармонійної режекції для режиму дросельної заслінки, встановлюючи такі значення параметрів:

1. INS\_HNTCH\_ENABLE = 1, для включення гармонійного вирізу.
2. INS\_HNTCH\_REF = 0.272, для установки опорного значення гармонійної режекції.
3. INS\_HNTCH\_FREQ = 170, для установки опорної частоти гармонійної режекції.
4. INS\_HNTCH\_BW =  $170/2 \sim 90$ , для установки смуги пропускання гармонійної режекції.
5. INS\_LOG\_BAT\_OPT = 2 для захоплення даних гіроскопа після фільтра.

Після 3-4-х хвилинного польоту в тому ж режимі графік видозміниться, і значення амплітуд значно зменшаться, як показано на рис. 11.

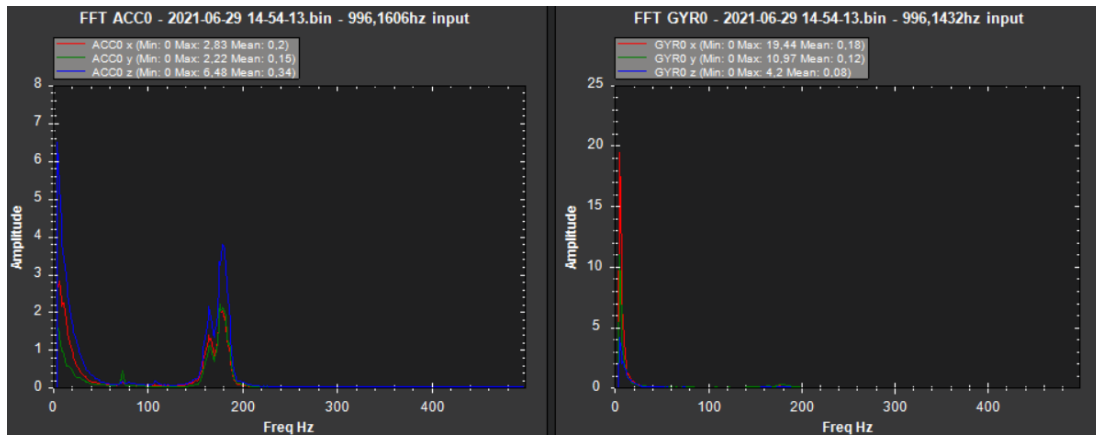


Рисунок 11 – Результат фільтрації вібраційного шуму коптера з рамою 250мм

Аналогічно виконується фільтрація для гексакоптера з рамою 850мм. Рис. 12 - це графіки амплітуд і частот до фільтрації, рис. 13 - після.

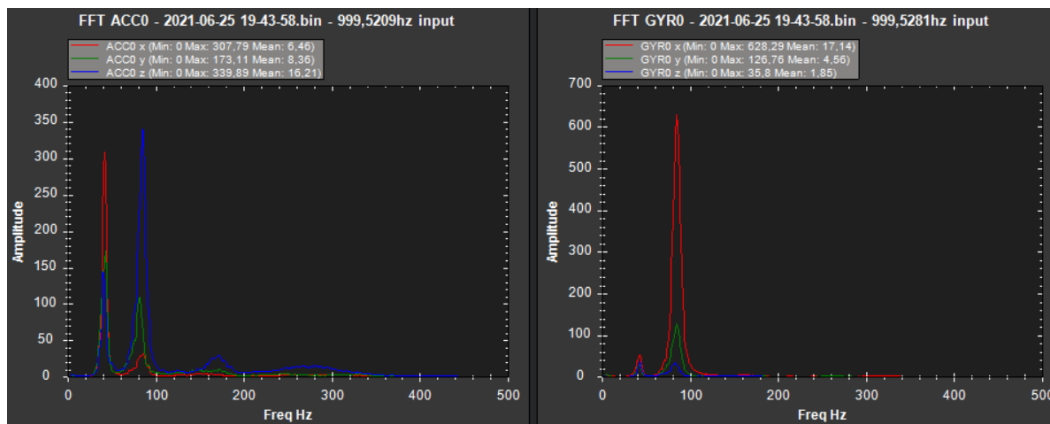


Рисунок 12 – Вібраційний шум коптера з рамою 850мм

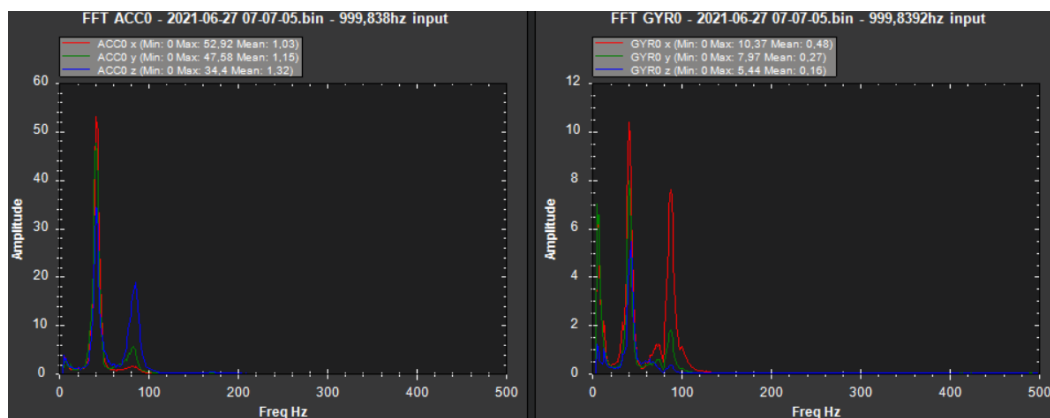


Рисунок 13 – Результат фільтрації вібраційного шуму коптера з рамою 850мм

Для гексакоптера з рамою 850мм фільтрація проводилася по частоті 80Гц, тому що на ній була найбільша амплітуда. Внаслідок того, що використовується динамічний режекторний фільтр, який враховує і гармоніки, була значно пригнічена і амплітуда на частоті 40Гц. Аналогічно виконувалася фільтрація для гексакоптера з рамою 550мм.

## Висновки

1. В ході польотних випробувань показано на прикладах трьох мультикоптерах, що firmware arducopter містить ефективний інструментарій, що дозволяє виявляти рівень вібрації і керувати нею.

2. На підставі аналізу графіків вібро-прискорення показано, що для коптерів з рамою, розміром менше 250мм, високо спритними ( $k_v > 2300$ ) моторами і малими пропелерами (діаметром  $< 5$  ") в якості типу вібро - ізоляційного матеріалу можливе використання двостороннього скотча з спіненого матеріалу. Для коптерів з рамою 450, 550мм і більше, з низько спритними моторами ( $k_v < 1000$ ) і пропелерами діаметром більше 10 ", доцільно використання більш складних вібро прокладок на гумових амортизаторах.

3. Показано, що після вибору конкретного типу віброізоляційного матеріалу необхідно проводити оцінку віброізоляції за допомогою представленого в роботі інструментарію. На підставі цієї оцінки виконувати коригування віброізоляції (змінювати пружність, додавати додаткові важки для обважнення польотного контролера і т.д.).

4. Розглянуто використання програмних фільтрів для зменшення впливу вібрацій працюють моторів на показання акселерометра і гіроскопа. В якості таких фільтрів використовуються динамічні режекторні фільтри, які в роботі налаштовуються на діапазон, пов'язаний з частотою обертання двигуна. На прикладі гексакоптера з рамою 850мм показано, що такі фільтри значно скорочують амплітуду не тільки виявленої основної частоти, а й гармоніки.

5. У статті розглянуто зниження вібраційного шуму на основі положення дросельної заслінки. Частота в середині дросельної заслінки визначається аналізом журналів, а потім зміна положення дросельної заслінки вище середньої використовується для відстеження збільшення частоти шуму.

6. Встановлено, що при правильному виборі механічної віброзахисту, використанні режекторного фільтрів, мотори коптера менше нагріваються, і як наслідок - зменшується енергія споживання. Це особливо помітно для мульти коптерів великого розміру. Помічено, що при FPV польотах з курсовою відео камерою на великому коптере (850мм) вібрація відео зображення помітно зменшилася.

7. Показана можливість використання вібраційних графіків для виявлення причин деяких аварій мультикоптер, наприклад, при руйнуванні пропелера.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Бойко А. Области применения беспилотников. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>

2. Модернізований безпілотник Spectator від ВАТ "Меридіан" ім. С.П Корольова". [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo)

3. Бойко А. Опрыскивание растений с беспилотников. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/opryskivanie-rasteniy-s-bespilotnikov>

4. Luis E. Romero, David F. Pozo, Jorge A. Rosales. Quadcopter stabilization by using PID controllers. [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21401/1/IEE\\_17\\_Romero%20et%20al.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21401/1/IEE_17_Romero%20et%20al.pdf)

5. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arduino-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>

6. Фільтр Маджвика. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://habr.com/ru/post/255661/>

7. Starlino. DCM Tutorial – An Introduction to Orientation Kinematics. [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: [http://www.starlino.com/dcm\\_tutorial.html](http://www.starlino.com/dcm_tutorial.html)

8. Copter Mission Command List. [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/mission-command-list.html>

9. Vibration Damping. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/rover/docs/common-vibration-damping.html#common-vibration-damping>

10. Betaflight Filter Settings : Tuning Filters with Blackbox Explorer. [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://lenorde-fpv.com/betaflight-filter-settings-part1/>
11. Managing Gyro Noise with the Static Notch and Dynamic Harmonic Notch Filters. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-notch-filtering.html#common-imu-notch-filtering-static-notch>
12. Measuring Vibration with IMU Batch Sampler. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-batchsampling.html>
13. S. Lienkov, A. Myasishev, L. Komarova, N. Lytvynenko, V. Shvab, O. Lytvynenko. Creation of a Rotor-Type UAV with Flight Controllers, Based On a ATmega2560 and STM32f405 Microprocessors. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Vol. 8, No. 8, ISSN 2347 – 3983, <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/104882020>.
14. М'ясищев А.А., Ленков С.В., Зінчик А.Г., Пампуха І.В., Ряба Л.О. Проектування багатофункціонального БПЛА роторного типу на базі прошивки Ardupilot. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2021.-Вип №70. с. 49-59
15. MAVLink Developer Guide. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <https://mavlink.io/en/>
16. Measuring Vibration. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/common-measuring-vibration.html>

#### REFERENCES:

1. Bojko A. Oblasti primeneniya bespilotnikov. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>
2. Modernizovaniy bespilotnik Spectator vid VAT "Meridian" im. S.P Korol'ova". [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo)
3. Bojko A. Opryskivanie rastenij s bespilotnikov. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/opryskivanie-rasteniy-s-bespilotnikov>
4. Luis E. Romero, David F. Pozo, Jorge A. Rosales. Quadcopter stabilization by using PID controllers. [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: [https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21401/1/IEE\\_17\\_Romero%20et%20al.pdf](https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/21401/1/IEE_17_Romero%20et%20al.pdf)
5. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>
6. Fil'tr Madzhvika. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://habr.com/ru/post/255661/>
7. Starlino. DCM Tutorial – An Introduction to Orientation Kinematics. [Electronic resource]. – 2011. – Mode of access: [http://www.starlino.com/dcm\\_tutorial.html](http://www.starlino.com/dcm_tutorial.html)
8. Copter Mission Command List. [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/mission-command-list.html>
9. Vibration Damping. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/rover/docs/common-vibration-damping.html#common-vibration-damping>
10. Betaflight Filter Settings: Tuning Filters with Blackbox Explorer. [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://lenorde-fpv.com/betaflight-filter-settings-part1/>
11. Managing Gyro Noise with the Static Notch and Dynamic Harmonic Notch Filters. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-notch-filtering.html#common-imu-notch-filtering-static-notch>
12. Measuring Vibration with IMU Batch Sampler. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-imu-batchsampling.html>
13. S. Lienkov, A. Myasishev, L. Komarova, N. Lytvynenko, V. Shvab, O. Lytvynenko. Creation of a Rotor-Type UAV with Flight Controllers, Based On a ATmega2560 and STM32f405 Microprocessors. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Vol. 8, No. 8, ISSN 2347 – 3983, <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/104882020>.
14. Myasishchev A.A., Lenkov S.V., Zinchik A.G., Pampuha I.V., Ryaba L.O. (2021) Proektuvannya bagatofunkcional'nogo BPLA rotornogo tipu na bazi proshivki Ardupilot. Zvirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. K.: VIKNU, Vip 70, pp. 49-59.
15. MAVLink Developer Guide. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <https://mavlink.io/en/>
16. Measuring Vibration. [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/common-measuring-vibration.html>

D.Sci. Tech., prof. Myasishchev A.A., D.Sci., prof. Ovcharuk V.V., PhD Stepanenko Ye.O.  
CONTROL OF VIBRATION OF ROTARY TYPE UAV WITH THE HELP OF REJECTION  
FILTERS

*In the work based on the Arducopter ver.4.0.7 firmware installed on flight controllers based on the STM32F4 microcontrollers, the issues of reducing the influence of vibrations on the IM U (inertial measuring device) of the flight controller are considered. The research was carried out during flight tests of three multicopters with frames of 250mm, 550mm and 850mm, assembled in a laboratory. It is noted that the firmware arducopter contains an effective toolkit for detecting and controlling vibration levels. Based on the analysis of vibration acceleration graphs, it is shown that for copters with a frame less than 250mm, high-speed ( $kv > 2300$ ) motors and small propellers (<5 " foam tape. For copters with frames 450, 550mm and more, with low-speed motors ( $kv < 1000$ ) and propellers with a diameter greater than 10", it is advisable to use more complex vibration pads on rubber shock absorbers. The paper considers the use of software filters to reduce the impact of vibrations of running motors on the readings of the accelerometer and gyroscope. As such filters, we used dynamic notch filters, which were tuned in operation to the frequency range associated with the rotation of the motors. Vibration noise reduction is considered based on throttle position. The mid-throttle frequency is determined by analyzing the logs, and then the above-average throttle position change is used to track the increase in noise frequency. Using the example of a hexacopter with a frame of 850 mm, it is shown that such filters significantly reduce the amplitude of not only the detected fundamental frequency, but also the harmonics. It was found that with the correct choice of mechanical vibration protection, using notch filters, the motors of the copter heat up less, and as a result, the energy consumption decreases. This is especially true for large multi-copters. It was noticed that during FPV flights with a FPV camera on a large copter (850mm), the vibration of the video image was noticeably reduced. The possibility of using vibration graphs to identify the causes of some accidents of a multicopter, for example, when a propeller is destroyed, is shown.*

*Keywords: Arducopter, Ardupilot, GPS receiver, UAV, AltHold, Loiter, RTL, Land, PosHold, Auto, Notch Filters, STM32F4, Flight controller*



**ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ З ДЕКІЛЬКОМА ВИХОДАМИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБІГОВИХ МОНЕТ**

*Проблема розпізнавання обігових монет може постати як перед досвідченими колекціонерами, так і перед звичайними туристами або колекціонерами-початківцями. Найлегшим рішенням для тих, хто не має достатньо знань для самостійного розпізнавання монет, може стати розпізнавання за допомогою програмного засобу, побудованого на основі нейронної мережі. Оскільки більшість характеристик монет можна визначити за зображеннями аверсу та реверсу а сам процес створення фотографій для розпізнавання є швидким та не потребує додаткових вимірювальних приладів, найзручнішим підходом для вирішення даної проблеми є розпізнавання монет за зображеннями.*

*У роботі розглянуто проблему розпізнавання обігових монет за допомогою згорткових нейронних мереж, які містять шари, призначені спеціально для роботи із зображеннями. Описано традиційний підхід до вирішення задачі розпізнавання зображень, який передбачає використання звичайної згорткової нейронної мережі з одним виходом, коли кожному зображенню поставлено у відповідність клас, який однозначно його визначає. Аналіз даного підходу та отриманих результатів показує що для вирішення поставленої задачі для зібраного набору даних, коли виникає досить велика кількість класів, така архітектура не є оптимальною. Для підвищення точності розпізнавання запропоновано архітектуру згорткової нейронної мережі з декількома виходами, яка передбачає розгалуження структури нейронної мережі на декілька гілок на певному етапі. При використанні такої нейронної мережі зображенням у відповідність наводиться перелік із декількох незалежних характеристик замість одного складеного класу. Таким чином задача розпізнавання монети розбивається на декілька підзадач, кожній із яких відповідає окрема гілка нейронної мережі. Також в роботі був проведений порівняльний аналіз результатів отриманих при застосуванні традиційної нейронної мережі та мережі із декількома виходами були визначені причини відмінностей у результатах та переваги і недоліки кожного із розглянутих підходів.*

*Ключові слова: згорткова нейронна мережа, нейронна мережа з декількома виходами, розпізнавання зображень, машинне навчання, штучний інтелект.*

**Вступ.** Нумізматика, як наука що вивчає історію монет та їх виготовлення, і, власне, колекціонування монет виникле ще за часів Древнього Риму і за весь час свого існування не втрачає своєї популярності. Навіть у наш час, коли стрімко розвивається безготівковий розрахунок, випуск металевих монет як для обігу, так і виключно для колекціонування не припиняється. Ситуації, в яких виникає необхідність розпізнати певну монету можуть виникнути і в колекціонерів, і в зацікавлених людей, і в звичайних туристів. Звичайно, що досвідчені колекціонери впораються власними силами, проте для початківців та інших осіб така задача може стати суттєвою проблемою. У такому випадку найлегшим рішенням є розпізнавання монети за допомогою програмних засобів, що нададуть користувачеві базову інформацію про монету. Серед усіх характеристик монети більшість, такі як номінал та грошова одиниця, країна та рік випуску, позначення монетних дворів та правителів можуть бути визначені за зображеннями аверсу та реверсу монети, на відміну від, наприклад, діаметру та ваги монети, визначення яких потребує додаткових інструментів. Оскільки фотографій аверсу та реверсу достатньо для визначення базових характеристик монет і створення таких фотографій не потребує багато зусиль та приладів, для користувачів найзручнішим підходом

є розпізнавання монет саме за цими зображеннями. На сьогодні найкращим підходом до розпізнавання зображень вважається використання згорткової нейронної мережі. У даній роботі представлено результати застосування нейронних мереж для розпізнавання монет на прикладі датасету зображень, що містить фотографії сучасних обігових монет деяких країн Європи.

**Постановка задачі.** Задача даного дослідження полягає у побудові згорткової нейронної мережі для розпізнавання обігових монет країн Європи. Задля пошуку найкращого рішення було розглянуто традиційний підхід до розпізнавання зображень та внесено зміни до моделі нейронної мережі з метою підвищення точності розпізнавання зображень з урахуванням особливостей вхідних даних.

Для якісного навчання будь-якої згорткової нейронної мережі необхідно забезпечити якомога більший тренувальний датасет розмічених зображень, тобто зображень, яким поставлені у відповідність певні класи. Для переважної більшості задач розпізнавання зображень неважко знайти готові датасети на спеціалізованих сайтах у мережі Інтернет, проте для даного дослідження, за відсутності готового датасету, виникає необхідність власноруч розмітити зображення, що знаходяться у вільному доступі у мережі Інтернет та власні фотографії.

**Аналіз останніх досліджень.** При виникненні задачі розпізнавання зображень зазвичай використовується традиційний підхід – використання звичайної згорткової нейронної мережі, яка була вперше описана Яном ЛеКуном у 1995 році [1]. Згорткова нейронна мережа приймає на вхід певне зображення та повертає вектор чисел, що відображають впевненість нейронної мережі у відповідності зображення кожному із заданих класів. При такому підході кожне зображення у тренувальному датасеті визначається одним і лише одним класом, який повинен повною мірою охарактеризувати дане зображення і визначити відмінності від інших. Для розпізнавання обігових монет кожному зображенню монети буде доречним поставити у відповідність характеристику, що містить номінал, грошову одиницю та країну монети. Таким чином будуть отримані класи виду «1 копійка, Україна» для кожного із зображень. Для країн Європи можна отримати декілька сотень таких класів, що при невеликій кількості зображень у датасеті призведе до досить малого обсягу зображень у кожному окремому класі.

Традиційна згорткова нейронна мережа, приклад якої подано на рис. 1, складається із послідовного чергування шарів згортки (convolution) із функцією активації ReLU, які являють собою набір фільтрів, що після проходження по зображенню формують мапи ознак для кожного фільтру, і агрегування (pooling), які виконують підвибірку і слугують для зменшення розділення мап ознак [2]. На виході такої мережі розміщено один або декілька звичайних повнозв'язних нейронних шарів для класифікації зображення.

Для більшості задач розпізнавання зображень звичним підходом є використання готової архітектури нейронної мережі, здебільшого обирають архітектури переможців щорічного змагання ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge (ILSVRC) [3], під час якого оцінюються алгоритми виявлення об'єктів та розпізнавання зображень. Найчастіше використовують мережі VGG16 [4] або ResNet50 [5], що були навчені на наборі зображень ImageNet, і застосовують метод передавального навчання, описаний Стево Бозіновським [6], для переносу навчання з великого датасету ImageNet на менший. У даній роботі, з огляду на специфіку вхідних даних і обмеженість ресурсів для навчання нейронних мереж, використання такого підходу не надає суттєво кращого результату і виникає необхідність у проектуванні власної нейронної мережі.

**Основна частина.** Для даного дослідження було зібрано датасет, що містить більше ніж 40000 зображень монет, до нього увійшли сучасні обігові монети України, Польщі, Великобританії та країн Євросоюзу (Австрія, Андорра, Бельгія, Ватикан, Греція, Ірландія, Іспанія, Італія, Кіпр, Латвія, Литва, Люксембург, Мальта, Монако, Нідерланди, Німеччина, Португалія, Сан-Марино, Словаччина, Словенія, Фінляндія, Франція, Естонія), усього монети належать до 26 країн. Усі зображення були приведені до спільного вигляду і мають ширину 300 пікселів і висоту 150 пікселів, оскільки кожне з них містить два квадратних (150\*150

пікселів) зображення, на яких подано фотографії монети із двох сторін на білому або світло-сірому фоні. Датасет було розділено на дві частини, 80% від загальної кількості становлять тренувальні дані, на яких мережа навчатиметься, а 20% – тестові, яких мережа «не бачила», та на яких перевірялася її робота. Під час навчання нейронної мережі тренувальні дані було знову розділено на 80% виключно для тренування та 20% для валідації під час кожної епохи навчання, що дозволило швидко визначити перенавчання.

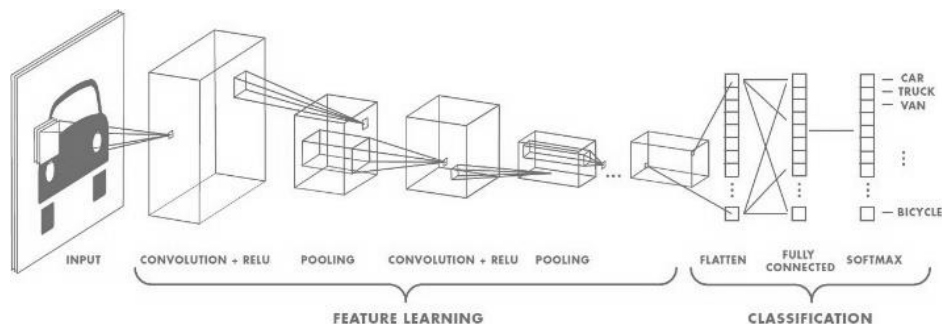


Рисунок 1 – Згорткова нейронна мережа

Через специфічні особливості вхідних даних, кількість тренувальних зображень для монет кожного класу суттєво залежить від часу, протягом якого вона випускалася та тиражів випуску. Як наслідок, найбільшим недоліком зібраного датасету є нерівномірність розподілення зображень за класами, наприклад, найменше усього зображень зібрано для монет невеликої Андорри, а найбільше – для монет Німеччини, які випускаються одразу на 5 монетних дворах дуже великими тиражами. Загалом, зображення були розподілені на 212 класів виду «номінал, грошова одиниця, країна». У датасеті наявні 8 грошових одиниць: копійка, гривня, грош, злотий, пенні, фунт, євроцент та євро і 8 номіналів: 0.500, 1, 2, 5, 10, 20, 25 та 50. Також необхідно зауважити, що до датасету було включено як звичайні обігові монети, так і пам'ятні монети, що були випущені в обіг меншими тиражами, це такі монети, як, наприклад, пам'ятні українські гривні та пам'ятні монети номіналом 2 євро у країнах Євросоюзу. Останні досить сильно ускладнюють розпізнавання, адже усі монети євро мають спільний дизайн реверсу, і, хоча звичайні монети мають індивідуальні дизайни аверсу для монет кожної країни і інколи зазначення назви країни, на деяких пам'ятних монетах вказівки на країну походження є досить непомітними і для людини.

Для роботи із нейронною мережею було застосовано середовище Google Colab, яке надає потужності для створення, навчання, тестування та використання нейронних мереж. Блокноти Google Colab надають можливість працювати з відкритою бібліотекою для машинного навчання TensorFlow [7] та Keras [8] – надбудовою над нею. TensorFlow підтримує декілька популярних мов програмування, проте найбільш зручним та оптимальним вибором є саме мова Python, яка зазвичай використовується при розробці нейронних мереж.

Враховуючи специфіку вхідних даних, які передбачають прямокутне (300\*150 пікселів) зображення замість традиційно квадратного та вузько стандартизоване подання зображення (дві сторони монети на білому або світло-сірому фоні) і обмеженість ресурсів, що надає Google Colab для навчання нейронних мереж, було вирішено застосувати власну нейронну мережу, що задається кодом представленим на рис. 2.

```
model = keras.models.Sequential([
    keras.layers.experimental.preprocessing.Rescaling(1./255, input_shape=(150, 300, 3)),
    keras.layers.Conv2D(64, 3, activation='relu'),
    keras.layers.MaxPooling2D(),
    keras.layers.Conv2D(128, 3, activation='relu'),
    keras.layers.MaxPooling2D(),
    keras.layers.Conv2D(256, 3, activation='relu'),
    keras.layers.MaxPooling2D(),
    keras.layers.Flatten(),
    keras.layers.Dense(512, activation='relu'),
    keras.layers.Dense(256, activation='relu'),
    keras.layers.Dense(212)
])
```

Рисунок 2 – Задання нейронної мережі

Дана нейронна мережа є досить нескладною і містить три пари шарів згортки, що містять 64, 128 та 256 фільтрів розміру 3\*3 і чергуються з шарами максимізаційного агрегування (max pooling), що містять фільтри розміром 2\*2, які віднаходять і передають на наступний шар максимальне значення. На виході нейронної мережі розміщено 2 повнозв'язних шари із функцією активації ReLU та кількістю нейронів 512 і 256 і один повнозв'язний шар із 212 нейронів для класифікації. Граф отриманої нейронної мережі подано на рис. 3.

Результати роботи мережі, отримані після навчання протягом 10 епох подані на рис. 4. Для наочності ці дані було представлено також у вигляді графіків точності розпізнавання та функції втрат на тренувальних та валідаційних даних (рис. 5).

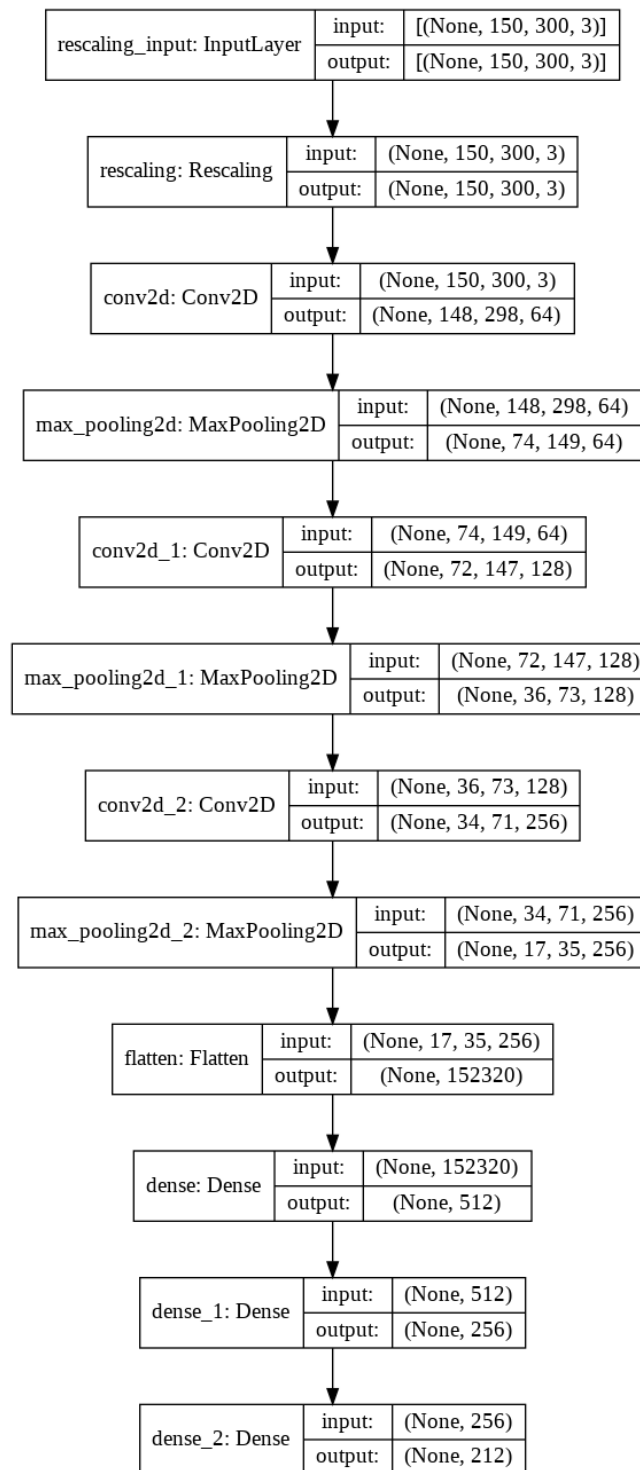


Рисунок 3 – Граф нейронної мережі

```

Epoch 1/10
810/810 [=====] - 194s 236ms/step - loss: 3.9809 - accuracy: 0.1064 - val_loss: 3.1180 - val_accuracy: 0.2072
Epoch 2/10
810/810 [=====] - 189s 233ms/step - loss: 1.2578 - accuracy: 0.6597 - val_loss: 0.4496 - val_accuracy: 0.8691
Epoch 3/10
810/810 [=====] - 189s 233ms/step - loss: 0.2589 - accuracy: 0.9241 - val_loss: 0.3044 - val_accuracy: 0.9103
Epoch 4/10
810/810 [=====] - 188s 232ms/step - loss: 0.1232 - accuracy: 0.9628 - val_loss: 0.2728 - val_accuracy: 0.9239
Epoch 5/10
810/810 [=====] - 188s 232ms/step - loss: 0.0834 - accuracy: 0.9751 - val_loss: 0.2574 - val_accuracy: 0.9349
Epoch 6/10
810/810 [=====] - 188s 231ms/step - loss: 0.0684 - accuracy: 0.9792 - val_loss: 0.3021 - val_accuracy: 0.9324
Epoch 7/10
810/810 [=====] - 187s 231ms/step - loss: 0.0559 - accuracy: 0.9837 - val_loss: 0.2058 - val_accuracy: 0.9460
Epoch 8/10
810/810 [=====] - 187s 231ms/step - loss: 0.0461 - accuracy: 0.9860 - val_loss: 0.2041 - val_accuracy: 0.9529
Epoch 9/10
810/810 [=====] - 187s 230ms/step - loss: 0.0418 - accuracy: 0.9879 - val_loss: 0.2009 - val_accuracy: 0.9531
Epoch 10/10
810/810 [=====] - 187s 230ms/step - loss: 0.0259 - accuracy: 0.9915 - val_loss: 0.3338 - val_accuracy: 0.9372

```

Рисунок 4 – Результати навчання нейронної мережі

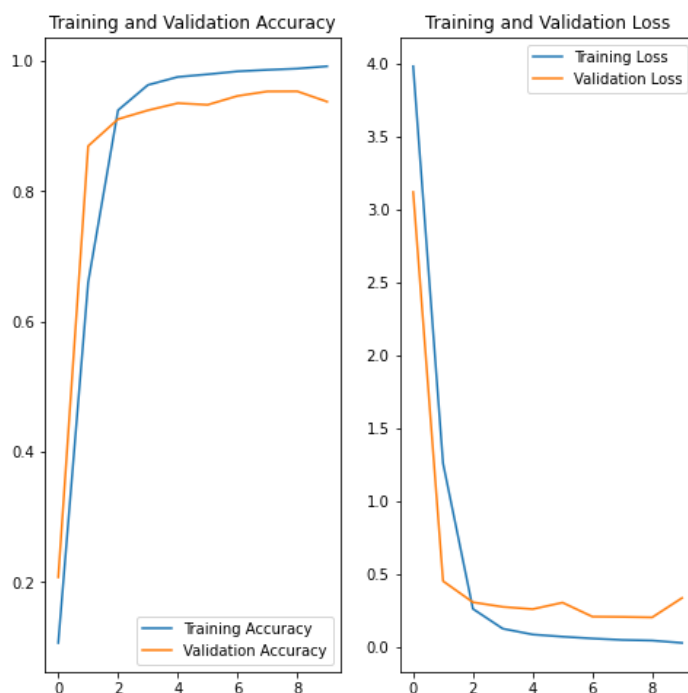


Рисунок 5 – Графік точності розпізнавання та функції втрат

За характером графіків валідаційних даних можна побачити, що збільшення кількості епох призведе лише до перенавчання, коли мережа починає «завчати» тренувальні дані, збільшуючи при цьому точність їх розпізнавання, при майже незмінній точності на валідаційних даних. Точність розпізнавання на тестових даних становила 0,9365 (рис. 6).

```

254/254 [=====] - 18s 69ms/step - loss: 0.3274 - accuracy: 0.9365
[0.32737427949905396, 0.9365196824073792]

```

Рисунок 6 – Результати тестування нейронної мережі

Протягом роботи над нейронною мережею було проведено декілька експериментів з її ускладненням шляхом додавання додаткових шарів та нейронів, проте таке ускладнення себе не виправдало, адже точність розпізнавання тестових даних не зазнала суттєвого збільшення, залишаючись у межах 93-94%, при цьому значно збільшився обсяг необхідних обчислювальних ресурсів та часу на навчання. Для збільшення точності розпізнавання можна внести зміни до датасету зображень, розширивши їх за допомогою аугментації зображень, або застосувати іншу структуру нейронної мережі. З огляду на специфіку даних, одним із

можливих варіантів для підвищення точності є використання згорткової нейронної мережі із декількома виходами.

**Огляд нейронної мережі з декількома виходами.** При аналізі причин досить низької точності використання класичної згорткової нейронної мережі можна помітити одну із особливостей даних – поточне визначення характеристик обігових монет («номінал, грошова одиниця, країна») надає досить вузьку класифікацію зображень і велику кількість класів (а саме 212), в межах кожного з яких є досить мало зображень, а мала кількість зображень при багатьох класах призводить до зменшення точності навчання.

При подальшому розгляді можна помітити, що кожен клас є складеним і його можна розділити на три окремих характеристики: номінал, грошову одиницю та країну. Кожна із таких характеристик окремо не є достатньою для однозначного визначення певної монети, проте не важко побачити, що при розпізнаванні монет, наприклад, виключно за номіналом, можна отримати значно меншу кількість класів для такої ж кількості тренувальних зображень, що призведе до більшої кількості зображень в межах кожного окремого класу, а отже і до кращих результатів розпізнавання за даною характеристикою. Це стосується і розпізнавання монет виключно за грошовою одиницею чи країною. При цьому, в той час, як розширення датасету за рахунок додавання, наприклад, зображень сучасних обігових монет ще однієї країни, до комбінованої характеристики необхідно додати близько десяти класів, до переліку класів країн можна додати лише один клас, а до переліку класів грошових одиниць та номіналів – від нуля до двох класів.

У випадку, коли невеликий за розмірами датасет містить велику кількість складених класів, можна звернутися до менш поширеної архітектури згорткової нейронної мережі із декількома виходами [9, 10], що передбачає отримання на вхід зображення і повернення декількох векторів відповідностей, по одному для кожної із декількох класифікацій. Нейронна мережа з декількома виходами реалізується за рахунок розгалуження нейронної мережі на певному етапі, що призводить до утворення двох або більше гілок. Такі розгалуження можна утворювати на будь-якому етапі нейронної мережі (рис. 7). Зазвичай таку мережу використовують тоді, коли виникає необхідність отримати дані різних форматів за допомогою різних підходів до їх обробки, наприклад, класифікацію та результат регресійного аналізу, проте вона є доречною і для зображень, які можуть мати декілька непов'язаних характеристик.

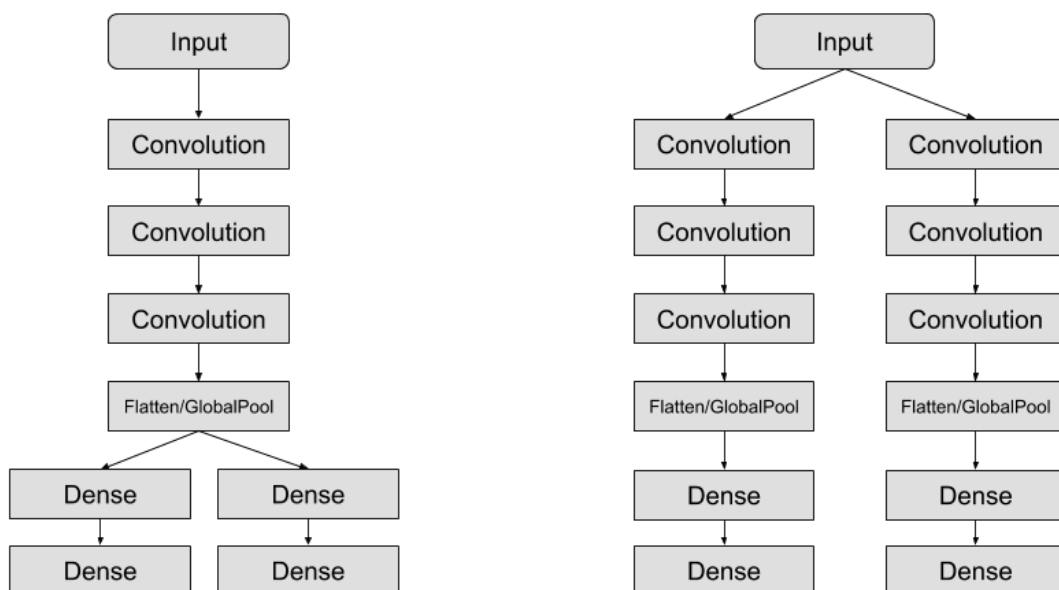


Рисунок 7 – Приклади нейронних мереж із декількома виходами

Під час розпізнавання обігових монет за допомогою згорткової нейронної мережі із декількома виходами можна отримати три вектори відповідностей, по одному для номіналу,

грошової одиниці та країни, при цьому точність розпізнавання для кожної із характеристик буде суттєво більшою за точність розпізнавання звичайною мережею із одним виходом з застосуванням складених характеристик у якості класів. Ще однією з переваг такого підходу є можливість більш тонкого налаштування нейронної мережі та економії ресурсів при навчанні, якщо після розгалуження у якості шарів гілок застосувати попередньо навчені моделі, адже інколи моделі для різних характеристик можуть навіть потребувати різної кількості епох тренування.

У даній роботі використано нейронну мережу із розгалуженням на три гілки на початку мережі, причому кожна із гілок представлена одним шаром, який являє собою звичайну згорткову модель. Для загальної нейронної мережі відмінності між певною послідовністю шарів та моделлю, яка являє собою таку саму послідовність шарів не виникне, проте це дозволить окремо навчити певну гілку та використати отримані ваги у загальній нейронній мережі. Код загальної нейронної мережі подано на рис. 8, а представлення у вигляді графу, на рис. 9.

```
input = keras.layers.Input((150, 300, 3))
value_layer = value_model(input)
currency_layer = currency_model(input)
country_layer = country_model(input)
new_model = keras.models.Model(inputs = input, outputs = [value_layer, currency_layer, country_layer])
```

Рисунок 8 – Задання нейронної мережі з трьома виходами

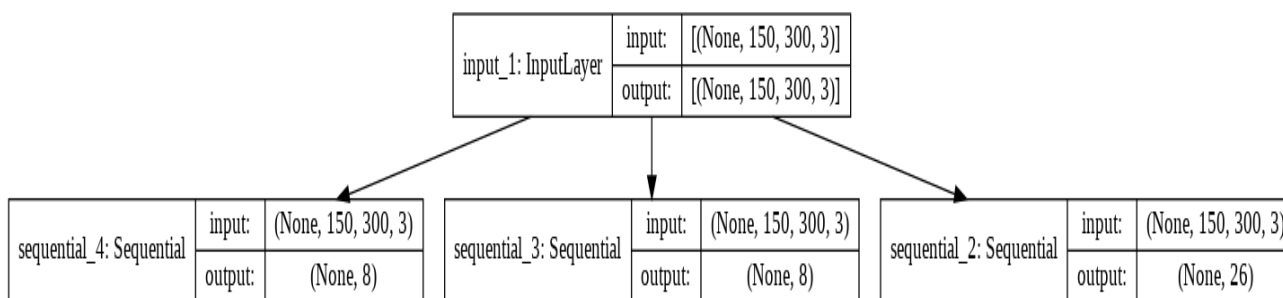


Рисунок 9 – Граф нейронної мережі з трьома виходами

Моделі `value_model`, `currency_model` та `country_model` використані у якості згрупованих шарів і являються моделями для розпізнавання номіналу, грошової одиниці та країни відповідно. Структура цих моделей подібна до традиційної моделі згорткової нейронної мережі (рис. 2) і відрізняються зменшеною кількістю нейронів останнього шару для класифікації – 8 для моделей номіналу та грошової одиниці і 26 для моделі країни.

Навчання кожної із моделей відбувалося окремо, причому розподіл даних на тренувальні та тестові залишився не змінним, в той час як розподіл даних на виключно тренувальні та валідаційні відрізнявся для різних моделей. Результати навчання моделі для розпізнавання номіналу, грошової одиниці та країни подані на рис. 10, 12 та 14 відповідно у вигляді графіків точності розпізнавання та функції втрат на тренувальних та валідаційних даних. Точність розпізнавання на тестових даних становила 0,9941 для номіналу, 0,9989 для грошової одиниці та 0,9641 для країни (рис. 11, 13 та 15 відповідно).

За отриманими графіками видно, коли для кожної окремої моделі починається перенавчання, що дозволяє визначити необхідну кількість епох навчання для кожної окремої моделі. Проаналізувавши отримані результати для тестових даних можна помітити, що точність розпізнавання номіналу та грошової одиниці є досить високою, приблизно 99%, а точність розпізнавання країн менша, у межах 96-97%. Менша точність пояснюється, зокрема більшою кількістю класів та специфікою вхідних даних, зокрема наявністю у датасеті зображень пам'ятних монет номіналом 2 євро ускладнює визначення приналежності цих монет до певної країни Євросоюзу. Неважко побачити, що точність розпізнавання номіналу,

грошової одиниці та країни окремо вища за результат, отриманий при застосуванні традиційної мережі, при цьому ми із досить високою вірогідністю отримуємо правильно визначений номінал та грошову одиницю. Якщо визначити загальну точність розпізнавання зображень як добуток результатів кожної з гілок, ми отримаємо підсумкову точність величиною 0,9574, що перевищує точність традиційної згорткової нейронної мережі на 0,0209, що є досить непоганим приростом. При більш гнучкому налаштуванні і тренуванні кожної окремої моделі, що входять до складу згорткової нейронної мережі з трьома виходами, можна і надалі покращити отриманий результат.

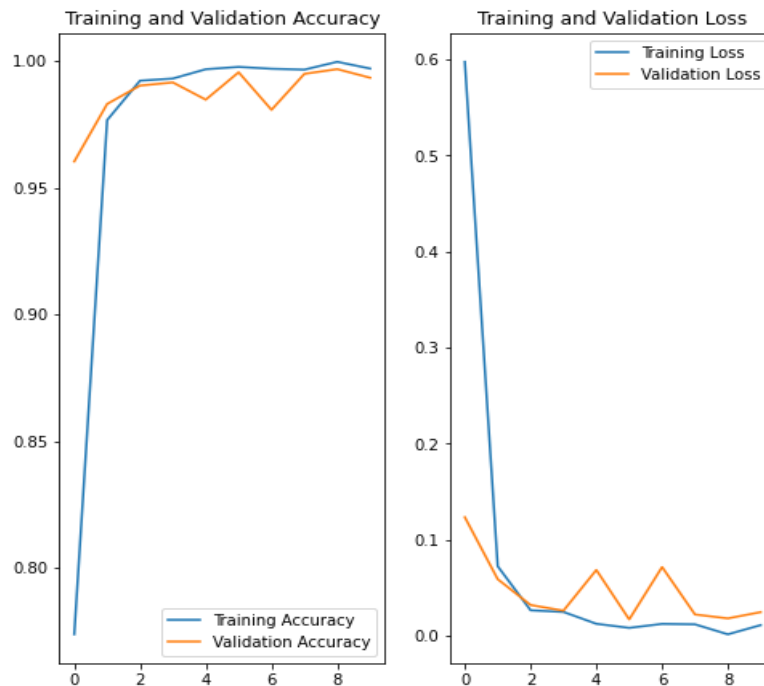


Рисунок 10 – Графіки тренування моделі розпізнавання номіналу

254/254 [=====] - 18s 69ms/step - loss: 0.0236 - accuracy: 0.9941  
 [0.023559754714369774, 0.994071900844574]

Рисунок 11 – Результати тестування моделі розпізнавання номіналу

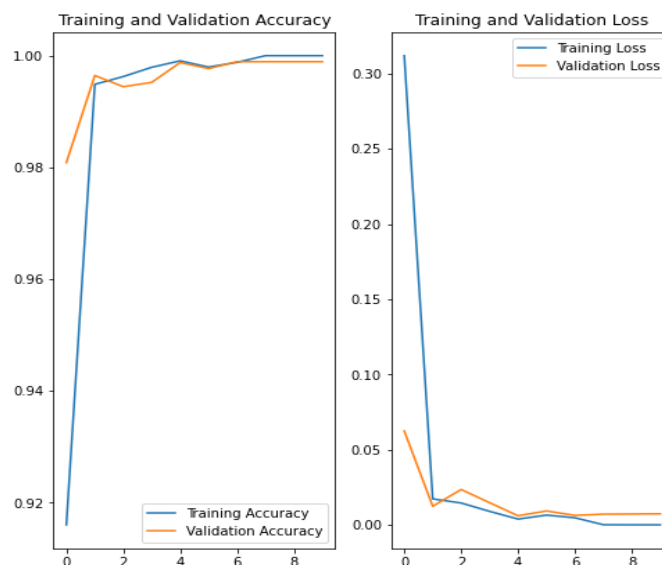


Рисунок 12 – Графіки тренування моделі розпізнавання грошової одиниці



254/254 [=====] - 18s 70ms/step - loss: 0.0035 - accuracy: 0.9989  
[0.003485651919618249, 0.9988884925842285]

Рисунок 13 – Результати тестування моделі розпізнавання грошової одиниці

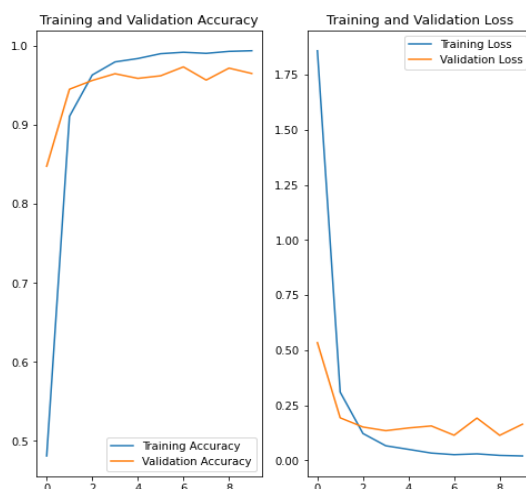


Рисунок 14 – Графіки тренування моделі розпізнавання країни

254/254 [=====] - 18s 70ms/step - loss: 0.1752 - accuracy: 0.9641  
[0.1752026081085205, 0.9640607833862305]

Рисунок 15 – Результати тестування моделі розпізнавання країни

**Висновки.** Задача розпізнавання монет за зображенням через свою специфіку дозволяє застосувати декілька підходів до розбиття зображень на класи, а отже і до побудови згорткової нейронної мережі. У роботі було наведено традиційний підхід, коли кожне зображення визначається одним складеним класом, що одночасно вказує на номінал, грошову одиницю та країну і нейронна мережа має один вихід та підхід із використанням нейронної мережі з декількома виходами, коли кожна із характеристик зображення являє собою окрему класифікацію і нейронна мережа має три виходи, по одному для кожної із них.

Через велику кількість малих за обсягом зображень класів при традиційному підході результат розпізнавання виявився не найкращим, 93-94%, при цьому розгалуження нейронної мережі на три гілки для кожної окремої характеристики надало хороший результат у 99% для номіналу та грошової одиниці і 95-96% для країни. Перевагою такого підходу є можливість більш гнучко налаштувати та навчити окремі моделі для кожної характеристики та використати їх у якості шарів окремих гілок нейронної мережі. Недоліком такого підходу є в декілька разів більша кількість параметрів нейронної мережі, що означає суттєве збільшення часу на її навчання та використання ресурсів, при цьому окреме тренування вкладених моделей дозволить зменшити кількість ресурсів, що одночасно задіяні під час навчання мережі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. LeCun Y. Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series / Y. LeCun, Y. Benigo. – 1995. – 14 с.
2. Ямпольский Леонід Стефанович. Нейротехнології та нейрокомп'ютерні системи : підручник / Л.С. Ямпольский, О.І. Лісовиченко, В.В. Олійник. – К. : Дорадо-Друк, 2016. – 576 с.
3. ImageNet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://image-net.org/challenges/LSVRC/index.php>.
4. Simonyan K. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition / K. Simonyan, A. Zisserman., 2015. – 14 с.
5. Deep Residual Learning for Image Recognition / К. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun., 2015. – 12 с.

6. Bozinovski S. Reminder of the First Paper on Transfer Learning in Neural Networks / Stevo Bozinovski., 2020. – 12 с.
7. Module: tf | TensorFlow Core v2.6.0 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf?hl=en](https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf?hl=en).
8. Keras API reference [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://keras.io/api/>.
9. A Survey on Multi-output Learning / [D. Xu, Y. Shi, I. Tsang та ін.]. – 2019. – 21 с.
10. A survey on multi-output regression / H.Borchani, G. Varando, C. Bielza, P. Larranaga. – 2015. – 27 с.
11. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. : пер. с англ. / Саймон Хайкин. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
12. CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://cs231n.github.io>.

#### REFERENCES:

1. LeCun Y. (1995), “Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series”, 14 p.
2. Yampolskyi L.S., Lisovychenko O.I., Oliinyk V.V. (2016), “Neirotekhnolohii ta neurokompiuterni systemy: pidruchnyk ” [Neurotechnology and neurocomputer systems], Dorado-Druk, Kyiv, 576 p.
3. “ImageNet”, available at: [image-net.org/challenges/LSVRC/index.php](http://image-net.org/challenges/LSVRC/index.php).
4. Simonyan K., Zisserman A. (2015), “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition”, 14 p.
5. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. (2015), “Deep Residual Learning for Image Recognition”, 12 p.
6. Bozinovski S. (2020), “Reminder of the First Paper on Transfer Learning in Neural Networks”, 12 p.
7. “Module: tf | TensorFlow Core v2.6.0”, available at: [www.tensorflow.org/api\\_docs/python/tf?hl=en](http://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf?hl=en).
8. “Keras API reference”, available at: [keras.io/api/](https://keras.io/api/).
9. Xu D., Shi, Y., Tsang I.W., Ong Y.-S., Gong C., Shen X. (2019), “A Survey on Multi-output Learning”, 21 p.
10. Borchani H., Varando G., Bielza C., Larranaga P. (2015), “A survey on multi-output regression”, 27 p.
11. Haykin S. (2006) “Neyronnyye seti: polnyy kurs, 2-e izd.: per. s angl.” [Neural networks: full course], Izdatelskiy dom Viliams, Moscow, 1104 p.
12. “CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition”, available at: [cs231n.github.io](https://cs231n.github.io).

**Vaivala Ye.Yu., PhD Tsopa N.V., Shmidke V.S.**

#### **APPLICATION OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK WITH MULTIPLE OUTPUTS FOR CIRCULATING COINS RECOGNITION**

*The problem of circulation coins recognition can be faced both by experienced collectors and by ordinary tourists or novice collectors. The easiest solution for those who do not have enough knowledge for coins recognition on one’s own may be coins recognition using software based on a neural network. Since most coin characteristics can be identified by obverse and reverse images and the process of creating coin photographs is fast and does not require additional measuring devices, the most convenient approach is to recognize coins by images.*

*The article considers the problem of circulating coins recognition by images using convolutional neural networks, which contain layers designed specifically for working with images. The traditional approach to solving the problem of image recognition is described, which involves the use of a regular convolutional neural network with one output, when each image is assigned to a class that uniquely defines it. The analysis of this approach and obtained results shows that to solve the problem for the collected dataset, when there is a large number of classes, such an architecture is not the best. To increase the accuracy of recognition, the architecture of a convolutional neural network with several outputs was used, which includes branching of the neural network structure into several branches at a certain stage. When using such a neural network, the image is matched by a list of several independent characteristics instead of one composite class. Thus, the task of coin recognition can be divided into several subtasks, each of which corresponds to a separate branch of the neural network. The results obtained using a regular neural network and a neural network with multiple outputs were compared with each other, after that the reasons for the differences in results and the advantages and disadvantages of each of the approaches were given.*

*Keywords: convolutional neural network, multi-output neural network, image recognition, machine learning, artificial intelligence.*

## ПРОЦЕСНО-РИЗИКОВИЙ ПІДХІД У ПЛАНУВАННІ ЗАХОДІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*Кібербезпека як стан захищеності критичних об'єктів національної інформаційної інфраструктури та окремих її складових, за якого забезпечується їх стале функціонування і розвиток, своєчасне виявлення, запобігання, нейтралізація кіберзагроз є актуальною задачею сучасного суспільства. Забезпечення кібербезпеки та управління нею в організації є безперервним циклічним процесом. Він ґрунтується на творчому підході, рекомендованому в NIST Special Publication 800-53 та в долученні процесного підходу, подано в стандарті ISO 9001:2000. Мета дослідження полягає в тому, щоб на основі аналізу світових рішень та підходів до планування заходів кібербезпеки організацій обґрунтувати підхід до планування заходів кібернетичної безпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.*

*У статті проаналізовано ключовий досвід з рішення та підхід до планування заходів кібербезпеки організацій. Встановлено, що забезпечення кібербезпеки та управління нею в організації є безперервним циклічним процесом. Тому надано перевагу застосуванню процесного підходу за схемою PDCA (Plan, Do, Check, Act). На підставі аналізу запропоновано обрати базовий підхід до планування заходів кібер безпеки організацій. Таким чином, одержано наукову новизну, яка полягає в тому, що вперше запропоновано до удосконаленої онтології кібербезпеки блок «заходи захисту» доповнити моделлю процесів за схемою PDCA. Практичне значення полягає в доповненні удосконаленої онтології кібербезпеки, а саме блок «заходи захисту моделлю процесів за схемою PDCA, що дає змогу отримати методіку планування заходів забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.*

*Перспективи подальших досліджень у даному напрямку доцільно зорієнтувати на обґрунтування постановки завдання щодо доцільності розробки:*

- 1) методіки планування заходів кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури;*
- 2) методіки оцінювання ефективності виконання заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки об'єктів критичної інформаційної інфраструктури.*

*Ключові слова: підхід, планування, заходи, кібербезпека, об'єкт критичної інформаційної інфраструктури.*

**Вступ.** Кібербезпека – стан захищеності критичних об'єктів національної інформаційної інфраструктури та окремих її складових, за якого забезпечується їх стале функціонування і розвиток, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація кібернетичних загроз в інтересах людини, суспільства, держави [1].

**Постановка завдання і зв'язок її з важливими науковими завданнями.** На підставі положень Стратегії національної безпеки України, Воєнної доктрини України та Концепції розвитку сектору безпеки і оборони України визначено оперативну ціль «1.5. Удосконалення системи кібербезпеки та захисту інформації» [2, с. 33], Закону України “Про основні засади забезпечення кібербезпеки України” [3]; Стратегії кібербезпеки України [4]; Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 10.07.17 “Про стан виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року” “Про загрози кібербезпеці держави та невідкладні заходи з їх нейтралізації” [5]; постає адміністративно-розпорядче завдання щодо необхідності розробки методіки планування заходів кібербезпеки організацій.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття.** Однак з наукової точки зору необхідно провести аналіз світових рішень та підходів до планування заходів кібербезпеки організацій на додержання вимог щодо кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури визначених в Постанові КМУ [6], на що буде зорієнтоване дійсне дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дана робота є продовженням дослідження з попереднього опису “Майбутнє безпечове середовище 2030” [7], розширюючи наукові межі щодо реалізації невідкладних заходів державної політики з нейтралізації загроз кібербезпеки організацій [5]. При опрацюванні матеріалів цікавим виявився досвід та результати роботи [8], в якій автори досліджували питання можливості управління інформаційною безпекою інформаційно-телекомунікаційних систем на основі моделі «plan-do-check-act». Питання розробки динамічного планування та прийняття рішень на основі ймовірно-статистичних методів розглянуто в дисертації [9].

**Формулювання мети дослідження.** На основі аналізу світових рішень та підходів до планування заходів кібербезпеки організацій запропонувати підхід до планування заходів кібербезпеки об’єктів критичної інформаційної інфраструктури (ОКІІ).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У світовій теорії та практиці набув практичного впровадження процесний підхід [10]. Він притаманний сучасному уявленню про функціонування організації та інформаційних систем (рис. 1 – 2). Процесний підхід детально подано в стандарті ISO 9001:2000 й міцно увійшов у повсякденну діяльність багатьох світових компаній, для опису бізнес-процесів. Процес – сукупність організаційних елементів, відношень, ресурсів, що розглядаються у динаміці.



Рисунок 1 – Уявлення процесу

Зручність у застосуванні цього підходу полягає також у тому, що стає можливим контролювати проходження кожного процесу (рис. 2), чим забезпечується й контрольованість функціонування системи. Тому процесний підхід є основою забезпечення управління (менеджменту) кібербезпеки.



Рисунок 2 – Схема контролю процесу у системі

На рис. 3 наведено структуру процесів забезпечення кібербезпеки за схемою PDCA (Plan, Do, Check, Act), тобто означають (Планування заходів, Впровадження заходів, Перевірка ефективності, Покращення заходів). [8].

Забезпечення кібербезпеки та управління нею в організації є безперервним циклічним процесом. Він ґрунтується на творчому підході згідно рекомендацій NIST Special Publication 800-53 [11]. Тому безперечною перевагою є застосування процесного підходу з її простотою.

Недоліками є труднощі впровадження цього підходу, пов'язані із складністю з визначенням чіткої інтеграції процесів в єдину систему із за значної їх кількості, проблематичністю дотримання інтересів всіх учасників ланцюга процесів, різними тлумаченнями й розумінням стандарту у різних консультантів (експертів).

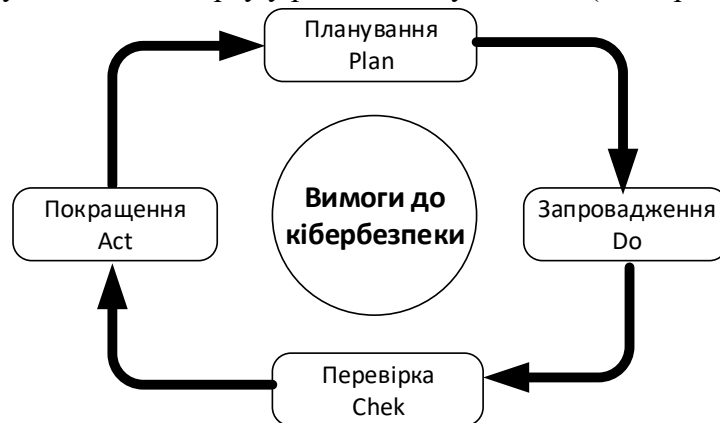


Рисунок 3 – Структура процесів забезпечення кібербезпеки за схемою PDCA

Практика свідчить, що процесний підхід «запрацює» тільки в умовах створення системи збалансованих показників в галузі безпеки. Але це дуже не просто, особливо з огляду на те, що система управління (менеджменту) інформаційної безпеки поки що знаходиться більше в області теорії й концепції, а не успішної практики.

Разом із тим керівництво організації переслідує мету, що кібербезпека повинна досягатися економічно виправданими заходами, коли можливий збиток є занадто великим, необхідно прийняти відповідні заходи захисту, але вони мають бути економічно виправданими. Очевидно, що оцінюючи розмір збитку, необхідно мати на увазі не тільки безпосередні витрати на заміну обладнання або відновлення інформації, але й інші параметри, при якому досягається прийнятний рівень кіберзахищеності (рис. 4) [10].

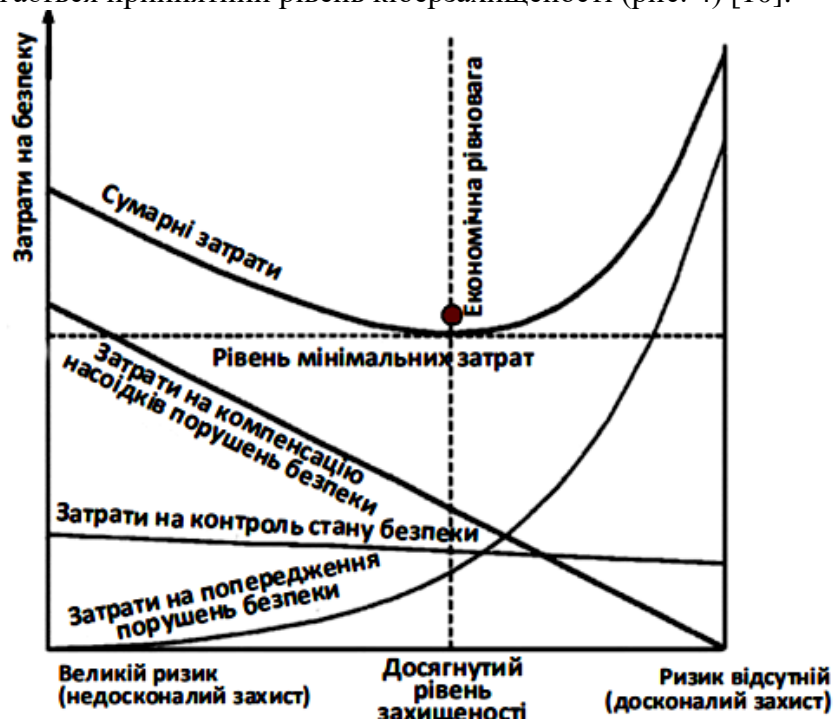


Рисунок 4 – Співвідношення затрат на забезпечення кібербезпеки та досягнутим рівнем захищеності

Рівень ризику є функцією ймовірності реалізації певної кіберзагрози, яка націлена на використання притаманних їй уразливих місць, а також розміри можливого збитку, критичного для цінних активів організації. Виходячи з цього, суть пропонованих заходів щодо управління ризиками полягає в тому, щоб оцінити їхній розмір, розробити ефективні й економічні заходи кібербезпеки та зниження ризиків, а потім переконатися, що ризики укладені в прийнятні норми і залишаються такими.

В роботі [12, с. 321] проведено додатково обґрунтування реалізації принципу розумної достатності функціонування комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) на підприємстві. Типова залежність величини збитку підприємства ( $Z$ ) від вартості побудови КСЗІ ( $B$ ) наведена на рис. 5. Авторами доказано, що із зростанням вартості побудови КСЗІ на підприємстві спостерігається значне зменшення ймовірності нанесеного збитку підприємства  $P_{зб}$  (зменшення вразливості інформаційного ресурсу (ІР)). З рисунку також видно, що застосування навіть недорогих заходів і засобів на забезпечення інформаційної безпеки підприємства ( $V_{ек}$ ) різко знижує сумарний збиток підприємства ( $B_{\Sigma}$ ). Тому інвестиції в побудову КСЗІ дуже ефективні навіть в порівняно невеликих розмірах, а крива збитку ( $B_{\Sigma}$ ) в деякій точці має найменше значення, яке можна вважати оптимальним.

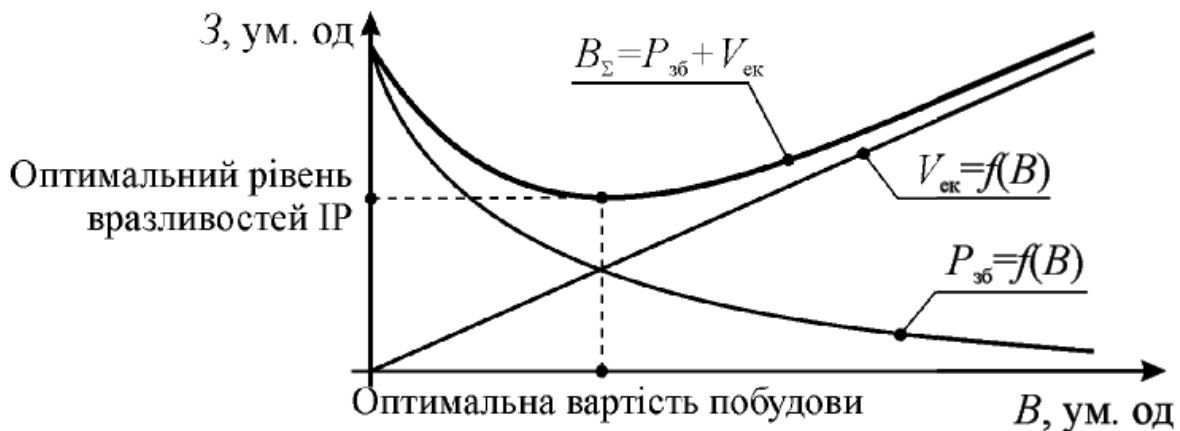


Рисунок 5 – Залежність збитку підприємства від вартості побудови КСЗІ

Зростання інвестицій в побудову КСЗІ вище за оптимальне значення веде до збільшення сумарних витрат підприємства. В цьому випадку підвищення надійності роботи КСЗІ і відповідне зниження ймовірності появи збитку підприємства нівелюються надмірно високою вартістю забезпечення інформаційної безпеки підприємства.

Тому якнайкращою стратегією, мабуть, є використання КСЗІ, що забезпечує мінімум сумарних витрат на її впровадження та експлуатацію. Ефективність цього рішення може бути підтверджена експериментальними дослідженнями. Виходячи з цього, виникає логічне запитання: Чи успішно досягнуто рівень захищеності організації в залежності від обраних заходів кібербезпеки? Тому на нашу думку є доречним обрати альтернативний шлях пошук рішення науково-технічної проблеми забезпечення кібербезпеки ОКП в умовах впливу кіберпростору. Слід констатувати, що час в наукових дослідженнях не достатньо приділено уваги поняттям «актив» і «збитків організації» від втрати «активів». Саме через відсутність в зверненні понять «активи» організації, його втрати активу, що не дозволяло знаходити причинно-наслідкові зв'язки необхідної для моделювання найгіршого варіанту забезпечення кібербезпеки ОКП.

На підставі результатів та висновків з аналізу відомих світових рішень щодо планування заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки організацій та обраного шляху підвищення кібербезпеки ОКП в дійсній статті пропонуємо обрати за структуру методики планування заходів кібербезпеки ОКП модель PDCA та долучити удосконалену онтологію [13]. Результат для наочності зобразимо на рис. 6. Процес планування, впровадження, перевірки здійснюється для кожного засобу ( $Z_i$ ), та компоненти ( $K_j$ ) ОКП, які вразливі до деструктивних інформаційних впливів. За результатами оцінювання ефективності виконання

заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки ОКП приймається рішення щодо подальших дій на необхідність посилення (покращення) заходів чи лишити їх без змін.

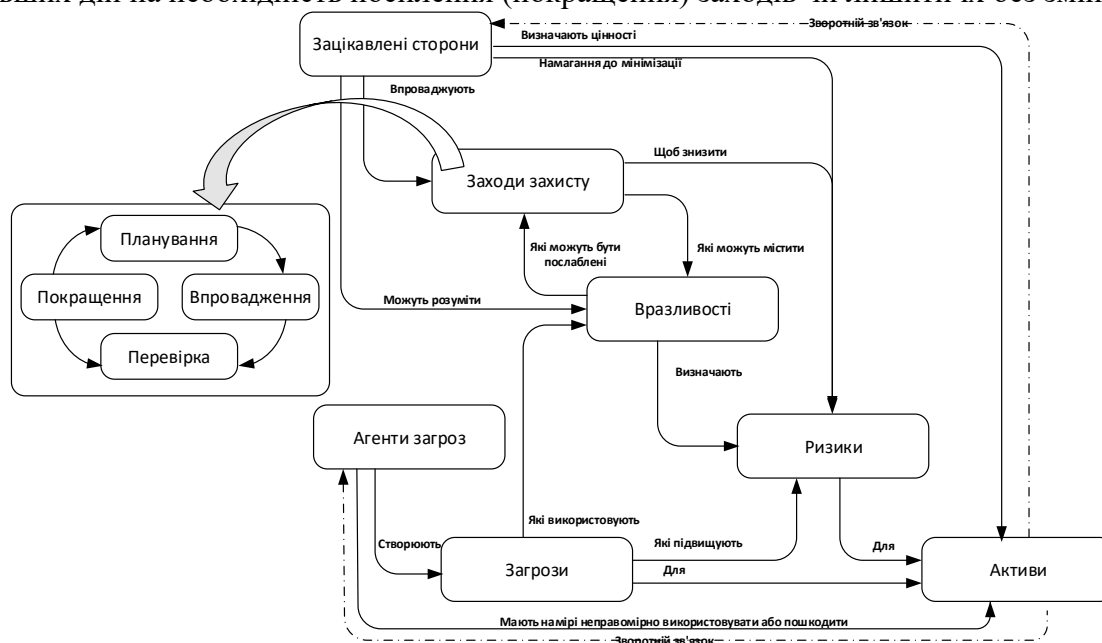


Рисунок 6 – Місце моделі PDCA в удосконаленій онтології кібербезпеки

**Обговорювання результатів.** Запропоноване рішення на рис. 6 дає законні підстави до застосування процесного підходу в плануванні заходів забезпечення кібербезпеки ОКП, що забезпечуватиме виконання вимог додержання максимальної ефективності прогнозованих ризиків. Співвідношення ризиків та наслідків наочно демонструється на рис. 7. Для забезпечення її функціонування необхідно розробити методику оцінювання ефективності виконання заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки ОКП, що і пропонується у підпункті перспективи подальших досліджень.



Рисунок 7 – Діаграма аналізу кіберризиків

Результати обчислень за цією методикою буде вихідна інформація, яка по лінії зворотного зв'язку надходитиме до блоку «покращення» для прийняття рішення адміністратором щодо подальших дій, а саме відповідно до моделі PDCA на зміну заходів забезпечення кібербезпеки організацій.

Таким чином, до майбутньої методики планування заходів забезпечення кібербезпеки організацій необхідно також доповнити логічним етапом методики оцінки кіберзахищеності організації, опис якої подано в роботах [14; 15]. Ми прогнозуємо, що значення кіберзахищеності ОКІП необхідні для розрахунку та оцінюванні ефективності виконання заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки ОКІП.

**Висновки з даного дослідження.** Таким чином, можна сформулювати наступні висновки:

1. Питання планування заходів забезпечення кібербезпеки є вкрай критично необхідним для всіх ОКІП. По-перше, діяльність організації все більше пов'язана із ОКІП, а саме збиранням, обробленням та зберіганням безпрецедентної кількості даних на комп'ютерах та інших пристроях. По-друге, не забезпечення своєчасного планування заходів, спрямованих на забезпечення кібернетичної безпеки ОКІП організації, зростає ймовірність настання для організації катастрофічних наслідків прогнозованих в “Майбутньому безпековому середовищі 2030. Аналіз стратегічного передбачення”.

2. Аналіз світових рішень щодо планування заходів забезпечення кібербезпеки організацій підтверджує перспективність застосування моделі процесів за схемою PDCA для планування заходів забезпечення кібербезпеки ОКІП.

3. Пропонується структуру майбутньої методики планування заходів забезпечення кібербезпеки ОКІП побудувати таким чином, щоб враховувала логіку моделі процесів PDCA.

**Наукова новизна.** Вперше запропоновано до удосконаленої онтології кібербезпеки в блок «заходи захисту» додати модель процесів за схемою PDCA.

**Практичне значення** в доповненні удосконаленої онтології кібербезпеки, а саме в блок «заходи захисту», моделлю процесів за схемою PDCA, що дає змогу отримати методику планування заходів забезпечення кібербезпеки ОКІП.

**Перспективи подальших досліджень** доцільно зорієнтувати на обґрунтуванні постановки завдання щодо доцільності розробки:

- 1) методики планування заходів кібербезпеки ОКІП;
- 2) методики оцінювання ефективності виконання заходів, спрямованих на забезпечення кібербезпеки ОКІП.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бурячок В.Л., Толубко В.Б., Хорошко В.О., Толюпа С.В. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект: підручник. К.: ДУТ, 2015. 288 с.

2. Петренко А.Г. План дій щодо впровадження оборонної реформи у 2016–2020 роках (дорожня карта оборонної реформи). Затверджено Міністром оборони України від 15.08.2016 р. К.: ДВПСП та МС МО України, 2016. 210 с.

3. Закон України “Про основні засади забезпечення кібербезпеки України”. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19> (дата звернення 28.05.21).

4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 січня 2016 року “Про Стратегію кібербезпеки України”, затверджена Указом Президента України від 15.03.16 №96/2016. Верховна Рада України. URL: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> (дата звернення 28.05.21).

5. Рішення Ради національної безпеки і оборони України від 10.07.17 “Про стан виконання рішення Ради національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року” “Про загрози кібербезпеці держави та невідкладні заходи з їх нейтралізації”, введеного в дію Указом Президента України від 13.02.17 № 254/2017. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/p0006525-17> (дата звернення 28.05.21).

6. Про затвердження “Загальних вимог до кіберзахисту об’єктів критичної інфраструктури”. Постанова КМУ від 19.06.19 №518. Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/518-2019-п> (дата звернення 28.05.21).

7. Козубцов І.М., Козубцова Л.М. Прогноз можливих наслідків настання “колапсу інформаційних систем спеціального призначення”. *Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави: зб. тез наук. доп. наук.-практ. конф.* (Київ, 26 березня 2021 р.). Київ: НА СБУ, 2021. С. 50 – 53.

8. Воропаєва В.Я., Щербов І.Л., Хаустова Е.Д. Управління інформаційною безпекою



інформаційно-телекомунікаційних систем на основі моделі «plan-do-check-act». *Наукові праці Донецького національного технічного університету*. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 25. 2013. С. 104 – 110.

9. Гожий О.П. Інформаційні технології динамічного планування та прийняття рішень на основі ймовірно-статистичних методів: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук 05.13.06 – Інформаційні технології. Миколаїв: Чорноморський державний університет імені Петра Могили, 2016. 375 с.

10. Ковтунець В.В., Нестеренко О.В., Савенков О.І. Безпека систем підтримки прийняття рішень: навч. посібник. К.: Національна академія управління, 2016. 190 с.

11. NIST Special Publication 800-53, Recommended Security Controls for Federal Information Systems.

12. Грицюк Ю.І. Особливості реалізації принципу розумної достатності функціонування комплексної системи захисту інформації на підприємстві. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.4. С. 313 – 324.

13. Хлапонін Ю.І., Козубцов І.М., Козубцова Л.М. Ідея впровадження зворотного зв'язку як вдосконалення функціональної залежності реалізації кібернетичної безпеки. Міжнародна науково-практична конференція “Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку”. Збірник тез доповідей (Харків, 15 березня 2021 р.). Х.: НАНГ України, 2021. С. 86 – 87.

14. Козубцов І.М., Козубцова Л.М., Куцаєв В.В., Терещенко Т.П. Методика оцінки кібернетичної захищеності системи зв'язку організації. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2018. №1(31). С. 43 – 46.

15. Куцаєв В.В., Радченко М.М., Козубцова Л.М., Терещенко Т.П. Методика оцінки кібернетичної захищеності інформаційно-телекомунікаційного вузла зв'язку. *Збірник наукових праць ВІТІ*. К.: ВІТІ, 2018. № 2. С. 67 – 76.

#### REFERENCES:

1. Buriachok V.L., Tolubko V.B., Khoroshko V.O. and Toliupa S.V. (2015) “Informatsiina ta kiberbezpeka: sotsiotekhnichniyi aspekt: pidruchnyk” [Information and cybersecurity: socio-technical aspect: textbook]. К.: DUT, 288 p.

2. Petrenko A.H. (2016) “Plan dii shchodo vprovadzhennia oboronnoi reformy u 2016–2020 rokakh (dorozhnia karta oboronnoi reformy). Zatverdzheno Ministrom oborony Ukrainy vid 15.08.2016 r.” [Action Plan for the Implementation of Defense Reform in 2016–2020 (Defense Reform Roadmap). Approved by the Minister of Defense of Ukraine on 15.08.2016.]. К.: DVPSP and MS MoD of Ukraine, 210 p.

3. Zakon Ukrainy “Pro osnovni zasady zabezpechennia kiberbezpeky Ukrainy” [Law of Ukraine “On Basic Principles of Cyber Security of Ukraine”]. Verkhovna Rada of Ukraine URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19 (accessed 28.05.21).

4. “Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 27 sichnia 2016 roku “Pro Stratehiuu kiberbezpeky Ukrainy”, zatverdzhena Ukazom Prezydenta Ukrainy vid 15.03.16 #96/2016” [On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of January 27, 2016 “On the Cyber Security Strategy of Ukraine”, approved by the Decree of the President of Ukraine of March 15, 2016 №96/2016]. Verkhovna Rada of Ukraine URL: zakon5.rada.gov.ua/laws/show/96/2016 (accessed 28.05.21).

5. “Rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 10.07.17 “Pro stan vykonannia rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 29 hrudnia 2016 roku” “Pro zahrozy kiberbezpetsi derzhavy ta nevidkladni zakhody z yikh neutralizatsii”, vvedenoho v diuu Ukazom Prezydenta Ukrainy vid 13.02.17 #254/2017” [Decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated 10.07.17 “On the status of implementation of the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine dated December 29, 2016” “On threats to cybersecurity and urgent measures to neutralize them”, enacted by Presidential Decree of 13.02. 17 № 254/2017]. Verkhovna Rada of Ukraine URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0006525-17 (accessed 28.05.21).

6. “Pro zatverdzhennia “Zahalnykh vymoh do kiberzakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury”. Postanova KМУ vid 19.06.19 #518” [On approval of the “General requirements for cyber protection of critical infrastructure”. Resolution of the Cabinet of Ministers of 19.06.19 18518]. Verkhovna Rada of Ukraine URL: zakon.rada.gov.ua/laws/show/518-2019-п (accessed 28.05.21).

7. Kozubtsov I.M. and Kozubtsova L.M. (2021) “Prohnoz mozhlyvykh naslidkiv nastannia “kolapsu informatsiinykh system spetsialnoho pryznachennia” [Forecast of possible consequences of the onset of

"collapse of special purpose information systems"]. *Actual problems of information security management of the state*: collection. thesis science. ext. scientific-practical conf. (Kyiv, March 26, 2021). Kyiv. NA SBU, 2021. Pp. 50 – 53.

8. Voropaieva V.Ya., Shcherbov I.L. and Khaustova E.D. (2013) “Upravlinnia informatsiinoiu bezpekoiu informatsiino-telekomunikatsiinykh system na osnovi modeli «plan-do-check-act»” [Information security management of information and telecommunication systems based on the "plan-do-check-act" model]. *Scientific works of Donetsk National Technical University*. Series: Computing and automation. Issue 25, Pp. 104 – 110.

9. Hozhyi O.P. (2016) “Informatsiini tekhnolohii dynamichnoho planuvannia ta pryiniattia rishen na osnovi ymovirnisno-statystychnykh metodiv” [Information technologies of dynamic planning and decision-making on the basis of probabilistic-statistical methods]. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences 05.13.06 - Information technologies. Mykolaiv. Petro Mohyla Black Sea State University, 375 p.

10. Kovtunets V.V., Nesterenko O.V. and Savenkov O.I. (2016) “Bezpeka system pidtrymky pryiniattia rishen” [Security of decision support systems] textbook. Manual. Kyiv. National Academy of Management, 190 p.

11. NIST Special Publication 800-53, Recommended Security Controls for Federal Information Systems.

12. Hrytsiuk Yu.I. (2015) “Osoblyvosti realizatsii pryntsyphu rozumnoi dostatnosti funktsionuvannia kompleksnoi systemy zakhystu informatsii na pidpriemstvi” [Peculiarities of realization of the principle of reasonable sufficiency of functioning of complex system of information protection at the enterprise]. *Scientific herald of NLTU of Ukraine*. Vip. 25.4. Pp. 313 – 324.

13. Khlaponin Yu.I., Kozubtsov I.M. and Kozubtsova L.M. (2021) “Ideia vprovadzhennia zvorotnoho zviazku yak vdoskonalennia funktsionalnoi zalezhnosti realizatsii kibernetychnoi bezpeky” [The idea of introducing feedback as an improvement of the functional dependence of the implementation of cyber security] International scientific-practical conference "The use of information technology in the training and operation of law enforcement agencies." Collection of abstracts (Kharkiv, March 15, 2021). Kharkiv. NANG of Ukraine, Pp. 86 – 87.

14. Kozubtsov I.M., Kozubtsova L.M., Kutsaiev V.V. and Tereshchenko T.P. (2018) “Metodyka otsinky kibernetychnoi zakhyshchenosti systemy zviazku orhanizatsii” [Methods for assessing the cyber security of the communication system of the organization]. *Modern information technologies in the field of security and defense*. №1 (31). Pp. 43 – 46.

15. Kutsaiev V.V., Radchenko M.M., Kozubtsova L.M. and Tereshchenko T.P. “Metodyka otsinky kibernetychnoi zakhyshchenosti informatsiino-telekomunikatsiinoho vuzla zviazku” [Methods for assessing the cyber security of information and telecommunications nodes]. *Collection of scientific papers VITI*. Kyiv. VITI, 2018. № 2. Pp. 67 – 76.

**Ph.D. Kozubtsova L.M.**

## **RISK PROCESS APPROACH IN PLANNING CYBER SECURITY MEASURES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES**

*Cybersecurity as a state of security of critical objects of the national information infrastructure and its individual components, which ensures their sustainable functioning and development, timely detection, prevention, neutralization of cyber threats is an urgent task of modern society. Ensuring cybersecurity and its management in an organization is a continuous cyclical process. It is based on the creative approach recommended in NIST Special Publication 800-53 and in the introduction of the process approach, presented in the ISO 9001: 2000 standard. The purpose of the study is to justify an approach to planning cybersecurity activities of critical information infrastructure objects based on the analysis of global solutions and approaches to planning cybersecurity activities of organizations.*

*The article analyzes the key experience in solving and the approach to planning cybersecurity activities of organizations. It is established that the provision of cybersecurity and its management in the organization is a continuous cyclical process. Therefore, preference is given to the use of a process approach according to the PDCA scheme (Plan, Do, Check, Act). Based on the analysis, it is proposed to choose a basic approach to planning cybersecurity activities of organizations.*

*Thus, the scientific novelty is obtained, which consists in the fact that for the first time it is proposed to supplement the "protection measures" block to the improved ontology of cybersecurity with a model of processes according to the PDCA scheme. The practical significance is to supplement the improved*

*cybersecurity ontology, namely the "protection measures" block with a model of processes according to the PDCA scheme, which allows us to obtain a methodology for planning measures to ensure cybersecurity of critical information infrastructure objects.*

*It is advisable to focus the prospects for further research in this direction on the justification of the formulation of the problem of the expediency of development:*

- 1) methods of planning cybersecurity measures for critical information infrastructure facilities;*
- 2) methods for evaluating the effectiveness of measures aimed at ensuring the cybersecurity of critical information infrastructure facilities.*

*Key words: approach, planning, activities, cyber security, critical information infrastructure object.*

## **АНАЛІЗ НАВЧАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛІННЯ ДЛЯ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ**

*В роботі розглянуті основні заходи та результати дослідження і розвитку навчально-інформаційних систем (НІС) нового покоління для безперервної підготовки військових фахівців. Існує величезна кількість програм, які певною мірою підвищують ефективність навчання за допомогою організації адаптивного діалогу з користувачем (як з учнем, студентом, курсантом, ад'юнктом, слухачем, так і з викладачем). Проте на сучасному етапі, коли обсяги інформації стрімко зростають, виникає необхідність створення таких засобів підтримки електронних підручників, які б дали змогу користувачеві не тільки переглядати інформацію, що цікавить його, шляхом навігацій по гіперструктурах, а й задавати різні більш складні питання.*

*В роботі наведено оригінальний матеріал з питань, пов'язаних з формальною постановкою й розв'язанням навчальних завдань на лекціях, практичних на лабораторних роботах при самостійній підготовці студентів і курсантів; методика планування та організацію навчання із застосуванням експертних систем. Особливу увагу приділено питанням поетапного планування навчання й прискореної самостійної підготовки із застосуванням НІС з елементами штучного інтелекту. Сформульовано завдання і особливості використання окремих елементів навчального процесу курсантів, студентів та ад'юнктів військових навчальних закладів таких як лекція, практичне та лабораторне заняття, семінари, консультація, індивідуальні завдання, курсові роботи, самостійне навчання.*

*Розглянута класифікація НІС нового покоління, а саме системи: консультаційна, діагностична, керуюча, супроводжуюча, які мають відповідно наступні призначення: консультація при розв'язуванні завдань і пошуку інформації, діагностика помилок при розв'язуванні завдань, навчання поняттям і вмінням (навичкам) на основі моделювання знань, спостереження за поведінкою користувача та допомога при помилкових чи нераціональних діях. Проаналізовані стимулятори процесу пізнання у навчально-інформаційних системах: інтелектуальне середовище, гіперсередовище, мікросвіти, спеціальні окуляри тощо визначені їх особливості та переваги.*

*Ключові слова: навчально-інформаційні системи, елементи навчального процесу, стимулятори процесу пізнання.*

**Вступ та аналіз останніх досліджень.** В дійсний час науково-технічний прогрес і відродження галузей виробництва та розбудови Збройних Сил України безпосередньо пов'язані з розвитком автоматизації та комп'ютеризації усіх управлінських та виробничих процесів. Серед таких задач особливе місце займає розробка систем та методик використання комп'ютерних систем навчання фахівців як військового так і гуманітарного, технічного напрямку, які б максимально відповідали своєму призначенню. Через підвищення складності та інформаційної насиченості різноманітних методик підготовки військових фахівців виникає необхідність у здійсненні ефективного керування процесом навчання. Оскільки навчальна система стає більш складною та багатофункціональною й призначена для різних категорій користувачів, то потрібна адаптація до індивідуальних особливостей кожного конкретного користувача. При цьому здатність навчально-інформаційних систем (НІС) адаптуватися до користувача є одним з показників її ефективності і, як наслідок – інтелектуальності. Для забезпечення адаптації до користувача розробляються моделі того, хто навчається, причому зберігається інформація про кожного конкретного користувача. Таким чином, на сучасному

етапі НІС здобувають більш складну структуру й включають у свій склад не тільки опис навчального матеріалу, а й інформацію про користувачів і особливості керування навчанням.

Зараз є величезна кількість програм, які певною мірою підвищують ефективність навчання за допомогою організації адаптивного діалогу з користувачем (як з учнем, студентом, курсантом, ад'юнктом, слухачем, так і з викладачем). Перші НІС будувалися відповідно до твердого сценарію подання навчальної інформації й діалогу з користувачем. До таких систем належать, наприклад, програмовані навчальні системи, а також електронні підручники, які й зараз не втрачають своєї актуальності й привабливості [1-5]. Проте на сучасному етапі, коли обсяги інформації стрімко зростають, виникає необхідність створення таких засобів підтримки електронних підручників, які б дали змогу користувачеві не тільки переглядати інформацію, що цікавить його, шляхом навігацій по гіперструктурах, а й задавати різні більш складні питання [6,8]. Це приводить до розширення типології питань користувача, завдяки чому користувач заощаджує час на пошук тієї або іншої інформації. Ускладнення номенклатури й змісту, потреба вдосконалення засобів опису навчального матеріалу, тобто, крім структури й змісту, необхідно також урахувувати семантичні зв'язки між описуваними поняттями. Використання такого підходу дозволяє розробити інтелектуальні довідкові системи або експертні системи (ЕС), які необхідні не тільки в складі НІС, а й у будь-якій комп'ютерній системі. ЕС є різновидом комп'ютерних систем для ефективної підготовки фахівців гуманітарного чи технічного профілю. Специфічною особливістю ЕС є наявність бази знань, де зберігаються розв'язання множини завдань, у тому числі при виконанні лабораторних та практичних робіт, які входять у програму навчання. База знань безупинно поповнюється й модифікується відповідно до досвіду застосування й вимог споживачів.

У даній роботі наведено оригінальний матеріал з питань, пов'язаних з формальною постановкою й розв'язанням навчальних завдань на лекціях, практичних на лабораторних роботах при самостійній підготовці студентів і курсантів; методику планування та організацію навчання із застосуванням експертних систем. Особливу увагу приділено питанням поетапного планування навчання й прискореної самостійної підготовки із застосуванням НІС з елементами штучного інтелекту.

**Напрямки та елементи навчального процесу курсантів, студентів та ад'юнктів військових навчальних закладів.** *Лекція* – це логічно завершений, науково обґрунтований і систематизований виклад певного наукового або науково-методичного питання, ілюстрований, при необхідності, засобами наочності та демонстрацією дослідів з використанням НІС. Лекція – основний вид занять, призначених для засвоєння теоретичного матеріалу. Лекція має провідну роль в освоєнні дисципліни. Лектор вибирає головне з дисципліни, підкреслює найбільш важливе, що складає основу конкретної науки, викладає все нове, що з'явилося в науці. У цьому відношенні навчальні книги відстають від лектора. Курсанта та студенти повинні складати на лекції конспект. Запис ведеться своїми словами, які відображають основну думку лектора. Найбільш важливі положення лектор викладає більш повільно з наголосом – це і треба коротко викласти в конспекті. Складання конспекту створює сприйнятливі умови для того, щоб запам'ятати те, що говорить лектор, тому що в процесі беруть участь слух, зір та рука, тобто включені всі органи сприйняття та запам'ятовування. Вести конспект бажано для кожної дисципліни в окремому зошиті з полями, на яких потім можна робити доповнення.

*Практичні та лабораторні заняття* – це вид навчального заняття, при якому курсанти та студенти під керівництвом викладача проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліді з використанням НІС з метою практичного підтвердження теоретичних положень даної навчальної дисципліни; набувають практичних навичок роботи з лабораторним устаткуванням, обладнанням, обчислювальною технікою, вимірювальною апаратурою; опановують методикою експериментальних досліджень у конкретній предметній галузі. Зазвичай лабораторні заняття проводяться в спеціально обладнаних навчальних лабораторіях, в окремих умовах реального виробництва. При цих заняттях викладач з використанням НІС організує детальний розгляд курсантами окремих теоретичних положень навчальної

дисципліни шляхом виконання (розв'язання) відповідно сформульованих завдань, тестів тощо. На практичних заняттях викладач може здійснювати контроль знань, навичок і умінь студентів.

*Семінарське заняття* – це вид занять, на яких викладач з використанням НІС організує дискусію навколо попередньо визначеної теми, по якій студенти готують тези виступів, реферати. На семінарському занятті заслуховуються виступи студентів за своїми тезами (рефератами), а також у порядку дискусії за виступами інших студентів групи. Розглядаються підготовлені студентами тези, реферати, їх виступи у дискусії, уміння формулювати і відстоювати свою позицію тощо. Оцінки за семінарські заняття заносяться до журналу викладача і потім ураховуються при виставленні підсумкової оцінки з даної дисципліни.

Особливою формою занять вищих ніж семінарських є участь у *наукових та науково-практичних конференціях*.

*Консультація* – це вид навчального заняття, при якому студент отримує відповідь від викладача або НІС на конкретні запитання, що виникли в процесі вивчення навчальної дисципліни, при виконанні курсових робіт, індивідуальних завдань і підготовці до заліків та іспитів. Консультація може бути індивідуальною або проводитися для групи студентів.

*Індивідуальні завдання* з окремих дисциплін (реферати, розрахункові завдання, графічні роботи тощо) виконуються курсантом самостійно при консультуванні викладачем до конкретного терміну. Тема і зміст завдання розробляються та видаються заздалегідь.

*Курсові проекти (роботи)* виконуються з метою закріплення, поглиблення і узагальнення знань, одержаних за час вивчення дисципліни або групи дисциплін. Теми курсових проектів (робіт) видаються, як правило, індивідуально і завчасно. Захист курсових проектів (робіт) проводиться перед комісією у складі двох-трьох викладачів кафедри відповідної дисципліни.

*Самостійна робота*, яка виконується у час, вільний від обов'язкових занять в аудиторіях і лабораторіях, є основним засобом засвоєння студентом навчального матеріалу і важливою складовою частиною підготовки. Для самостійної роботи надаються відповідні методичні матеріали, а також фахові монографії і підручники. Самостійна робота може виконуватися у читальних залах бібліотек, навчальних лабораторіях, комп'ютерних класах, а також у домашніх умовах з використанням дистанційної НІС [7-11].

**Основні результати досліджень.** Розглянемо класифікацію НІС згідно з цілями функціонування складом та призначенням (табл.1). Опишемо послідовно консультаційні, діагностуючі, керуючі і супроводжуючі АНС, – оскільки цей порядок відбиває середню складність розроблення системи і її можливий генезис.

*Консультаційна система* призначена для надання допомоги курсанту (студенту) у вигляді видачі інформації за його запит або розв'язання запропонованого ним завдання з подальшим поясненням (якщо учень вимагатиме), як було отримано подано інформацію або розв'язок. Консультаційна НІС складається з навчального середовища інформаційно-довідкового або розв'язувального типу й підсистеми пояснення, а також, можливо, моделі учня. Модель застосовується для того, щоб обрати стиль спілкування учнем і фіксації його діяльності, наприклад, фіксує, які типи завдань він розв'язав за допомогою систем або про які поняття предметної області запитував інформацію. Якщо в основі системи лежить навчальне середовище інформаційно-довідкового типу, то така система називається *питально-відповідною системою* і її інтелектуальність визначається широтою мови запитів і багатством асоціативних зв'язків у базі знань.

## Типологія експертно-навчальних систем

Тип НІС	Склад та функції	Призначення
Консультаційна	Навчальне середовище. Пояснення.	Консультація при розв'язуванні завдань і пошуку інформації.
Діагностуюча	Розв'язання завдань. Діагностика. Модель курсанта (студента)	Діагностика помилок при розв'язуванні завдань.
Керуюча	Розв'язувач завдань. Діагностика. Керування курсантом (студентом). Модель курсанта (студента)	Навчання поняттям і вмінням (навичкам) на основі моделювання знань.
Супроводжуюча	Інструментальна система Діагностика. Керування курсантом (студентом)	Спостереження за поведінкою користувача та допомога при помилкових чи нераціональних діях.

**Діагностуюча система** призначена для того, щоб вказувати учневі на його неправильні уявлення про предметну область, внаслідок яких він допускає помилки при розв'язанні певного типу завдань. Діагностуюча НІС складається з інтерфейсу, ЕС по розв'язанню завдань, ЕС з діагностики помилок і моделі учня. У плані генезису діагностуючу НІС можна розглядати як доповнення консультуючої НІС, що включає:

- розширення інтерфейсу засобами, які дають змогу учневі використовувати комп'ютер для самостійного розв'язання завдань (спостереження за використанням цих засобів з боку системи дозволяє визначити «шлях» або план розв'язання завдання учнем і порівняти його з планом розв'язання системи);

- розроблення моделі учня, що фіксує його знання й уміння при розв'язанні завдань даного типу;

- розроблення й реалізація у вигляді ЕС методів діагностування помилок учня.

Часто системи даного типу називають *інтелектуальними тренуючими*, або *експертно-тренуючими системами*, оскільки вони застосовуються для тренування розв'язання завдань, коли послідовність завдань пропонується викладачем або генерується системою на підставі параметрів, що задаються викладачем або самим учнем.

**Керуюча система** призначена для керування пізнавальною діяльністю учня. Вона є розширенням діагностуючої НІС знаннями про цілі функціонування системи і стратегіях навчання. Розрізняють навчання поняттям і вмінням (навичкам), а відповідні програми називають *навчальними й тренуючими*. При всій відносності цього розходження, основною відмінністю навчальних програм від тренуючих є наявність у перших мети ознайомлення учнів з новим матеріалом.

**Супроводжуюча система** призначена для стеження за діяльністю користувача при роботі в деякій (інструментальній) системі та надання йому допомоги при виявленні помилкових або нераціональних дій. Супроводжуюча НІС ніби «заглядає» через плече користувача на екран, намагається зрозуміти, що він робить, оцінити, як він це робить і вирішити, чи потрібна йому допомога, а якщо потрібна, то як цю допомогу надати. Супроводжуюча НІС містить усі компоненти НІС, але на відміну від керуючої НІС вона:

- не знає мети діяльності користувача й повинна її прогнозувати, що розширює функції ЕС за діагностикою помилок;

- є менш комунікабельною, щоб не відволікати користувача від роботи.

У плані генезису супроводжуючу НІС можна розглядати як розширення діагностуючої НІС, тобто:

- розширення функцій ЕС з діагностики помилок на прогнозування цілей діяльності користувача;
- зіставлення помилкових ситуацій і навчальної інформації;
- розробка ЕС з керування вивченням, що містить стратегії надання допомоги користувачеві при виявленні помилкових або нераціональних дій.

Як впливає з вищевикладеного, найбільш складними є НІС останніх двох типів. Часто саме з ними зв'язують назву інтелектуальних навчальних або експертно-навчальних систем.

Свого часу була розпочата спроба розроблення, так званих, «*стимуляторів процесу пізнання*», а саме [12]:

- інтелектуальні середовища;
- гіперсередовища (гіпермедіа);
- мікросвіти;
- спеціальні окуляри тощо.

На відміну від НІС, в інтелектуальних середовищах, гіпер-середовищах і мікросвітах не виявляється жодного навчального впливу на розв'язуване людиною завдання, тобто завдання навчання не розв'язується. Однак, незважаючи на це, ці системи успішно використовуються з метою набуття користувачем тих чи інших знань і вмінь.

Розглянемо зазначені системи більш докладно.

**Інтелектуальні середовища** мають на меті об'єднати переваги людини й комп'ютера, які розглядаються як інструмент пізнання. У літературі часто зазначають деякі моменти, що різко відрізняють властивості людини від можливості машини (табл.2).

Таблиця 2

**Переваги та недоліки людини та комп'ютера**

ЛЮДИНА	КОМП'ЮТЕР
<p><b>Переваги:</b> Добре розв'язує творчі нестандартні завдання. Широкий кругозір. Добре організована довгострокова пам'ять.</p> <p><b>Недоліки:</b> Мала короткочасна пам'ять. Часто помиляється в алгоритмічних завданнях.</p>	<p><b>Переваги:</b> Добре розв'язує алгоритмічні завдання. Велика короткочасна пам'ять.</p> <p><b>Недоліки:</b> Погано організована довгострокова пам'ять. Відсутній кругозір. Майже не справляється з творчими завданнями.</p>

В цілому ці твердження показують, що певний симбіоз людини й машини може перевершувати те й інше окремо. Таким чином, йдеться про поділ праці. Саме такий поділ праці використовується в текст-процесорах, у графічних редакторах. В інтелектуальних середовищах часто використовуються мультисередовища (мультимедіа), коли спілкування комп'ютера з учнем відбувається з використанням відразу багатьох модельностей (зображення, музика, мова й ін.). Мультисередовища, зазвичай, поєднуються також з гіперсередовищами.

*Гіперсередовище* – це узагальнення поняття гіпертексту - нелінійного способу подання текстової інформації. Гіперсередовище являє собою мережу, у вузлах якої можуть перебувати тексти, картинки, відео, анімації, звук або програмні модулі, що виконуються. Таким чином, гіперсередовище, як правило, базується на активному використанні мультисередовищ.

У *мікросвітах* (іноді їх також називають *модельючими середовищами*) йдеться про створення за допомогою комп'ютера штучних реальностей. У такому штучному світі можуть жити мешканці, та учень – один з них. Змінюючи параметри в припустимих межах, учень може “впливати” на “світ” і, споглядаючи результати своїх впливів, відчуті властивості такого світу. Ця “уявна реальність” створює реальний досвід, який неможливо відтворити іншими засобами з міркувань безпеки, з економічних причин або з причин фізичної неможливості.

Під *спеціальними окулярами* розуміють пристрій, що нагадує окуляри, на напівпрозорому склі яких, як на екрані, за допомогою комп'ютера створюються різноманітні



зображення. Ці зображення накладаються на зображення реальних предметів, дозволяючи фантастичним чином змішувати реальні й штучні зображення. Використання спеціальних окулярів дає змогу здійснювати підтримки вчителя на етапі практичного застосування отриманих у процесі навчання навичок. Так, на одній з конференцій із штучного інтелекту повідомлялося про застосування такого типу окулярів для навчання інженерів методам ремонту конторської апаратури. У цьому випадку окуляри дозволяють ніби накладати технічне креслення на апаратуру, підтримуючи їхню постійну відповідність при будь-яких переміщеннях спостерігача.

Узагальнюючи сказане, слід зазначити, що підсилювачі пізнання без направляючого впливу вчителя є все-одно малоефективними для засвоєння навчального матеріалу. Зрозуміло, що необхідно керівництво викладача, ретельно підібраний дидактичний матеріал, щоб учень не тільки засвоював суму знань, а й щоб у нього вироблялися надійні навички й розвивалося мислення.

Таким чином, відмінною рисою *інтелектуального навчального середовища* є та велика роль, що приділяється в процесі навчання власному інтелектуальному потенціалу учня. Досягається це шляхом об'єднання НІС і стимуляторів пізнання, тобто переходом до *експертних навчальних систем нового покоління*.

Аналіз наявних зараз НІС приводить до висновку, що кожна з них має лише деякі позитивні якості. Проте сукупність вимог щодо сучасних НІС не задовольняє жодна з них. Це обумовлює необхідність говорити про НІС *нового покоління*, які мають принципові відмінності й переваги порівняно з іншими класами НІС. НІС нового покоління дозволяє адресуватися відразу до всіх рівнів навчання й може використовуватися педагогом самої широкої кваліфікації, допускаючи також повне використання різноманітних сторін кваліфікації педагога.

Наведемо основні якості, якими володіють НІС нового покоління (при цьому для стислості назвемо їх просто НІС).

1. Створення НІС дозволяє здійснити перехід від навчання, керованого тільки системою, *до навчання, керованого як системою, так і учнем*. Учень стає активним партнером діалогу із системою, здатним не тільки відповідати на запитання системи, а й задавати їй свої запитання, на які система або відповідає відразу, або «веде» користувача до правильної відповіді. Таким чином, діалог учня з НІС усе більше наближається до живого діалогу вчителя з учнем, де учень має більше свободи, ніж це допускалося на ранніх етапах розвитку КСН. Завдяки цій особливості НІС, створюється можливість реалізовувати унікальні, ті навчальні курси, які найбільш підходять кожному конкретному користувачеві, і тим самим усе більше наближатися до індивідуалізації навчання. Крім того, реалізація процесу керування навчанням у цьому випадку здобуває двосторонній характер, оскільки користувач НІС впливає на процес діалогу. Необхідність розгляду даної проблеми пояснюється тим, що організація процесу навчання в сучасних навчальних системах здійснюється, виходячи з позитивної мотивації учня, тобто заздалегідь мається на увазі, що користувач сам хоче отримати ті або інші знання й уміння, а НІС у даній ситуації зобов'язана виступати в якості його надійного партнера. Зазначимо також, що коли НІС здатна самонавчатися, то вона в процесі спілкування з конкретним користувачем може з часом «повчитися» в нього й виробити оптимальний спосіб спілкування, знаючи його переваги й можливості характеру.

2. Система стає здатною *самостійно розв'язувати ті завдання* (відповідати на ті запитання), розв'язувати які вона повинна навчити учня. Завдяки цьому з'являється можливість:

- більш якісного консультування;

- більш глибокого аналізу відповідей учня при тестуванні та істотному спрощенні підготовки тестових завдань.

Інакше кажучи, НІС виступає як експертна система, що є зараз одним з найпоширеніших напрямків розвитку навчальних систем, які деякими авторами так і називаються «автоматизовані навчальними системами» або «навчальними експертними системами».

3. В НІС з'являється *можливість більш повного аналізу засвоєння матеріалу й психофізичного стану учня* і, як наслідок, більш адекватної реакції системи. Вище вже йшлося про те, що одним із завдань, що постають перед КСН, є адаптація до індивідуальних особливостей учня. Чим більше система “знає” про учня, про індивідуальні особливості його характеру, уподобаннях і про поточний стан як рівня знань, так і психофізичних характеристик, тим більше адекватною буде її реакція, тобто вибір подальших дій, спрямованих на реалізацію процесу навчання. Інформація про учня зберігається в моделі учня НІС, способів побудови якої є також зараз чимало. Принципи побудови будь-якої НІС дозволяють інтегрувати в складі однієї складової системи сукупність різних підсистем, що вирішують завдання, які стосуються деякої конкретної предметної області. В НІС даний підхід використовується для включення в її склад підсистем, що здійснюють тестування стану учня з метою виявлення як рівня знань і вмінь, так і психофізичного стану. У навчальних системах попередніх поколінь це завдання вирішувалося не завжди успішно, оскільки, по-перше, структура системи стає набагато більш складною і процес її проектування стає занадто трудомістким, а по-друге, не завжди взаємодію підсистем вдавалося описати досить елегантно й зручно для розроблювача.

4. У системах даного класу *більш повною мірою використовується арсенал сучасної дидактики*, тобто більше здійснюється процес керування навчанням. Оскільки навчання є одним з найбільш важливих видів діяльності людини і за багато років зібрався величезний досвід в організації процесу навчання та його аналізі, було б несправедливо упускати це з виду й не використати інформацію, що збиралася, при реалізації КСН. Проблема складається лише в тому, що методисти й дидактики присвячують свої роботи розгляду взаємодії вчителя й учня, а не комп'ютера та його користувача. Зараз є величезна кількість робіт, присвячених керуванню навчанням у КСН, оскільки практика показала, що прямо запрограмувати процес навчання (спілкування вчителя й учня) практично неможливо, і спроби замінити цей гнучкий, динамічний процес якими-небудь алгоритмами не увінчалися успіхом. Звичайно, є величезна кількість розробок, де питання керування навчанням тою або іншою мірою пророблено, проте при реалізації конкретної навчальної системи обов'язково з'являються певні межі, які не задовольняють усі вимоги, висунені на етапі проектування системи. Слід зазначити також, що організація керування навчанням є одним з найважливіших питань реалізації КСН, оскільки критерієм оцінки їхньої якості є здатність організовувати оптимальний режим навчання. При розробленні будь-якої ІС питання керування її функціонуванням постає не менш гостро, тому зараз уже є багато різних шляхів вирішення даної проблеми, причому методи й засоби штучного інтелекту істотно полегшують її вирішення.

5. В НІС нового покоління *підвищується рівень інтерфейсу*, відбувається *наближення його до природно-язикового рівня*, що значно полегшує користувачеві процес діалогу із системою. Крім того, необхідно враховувати, що користувачами НІС є, як правило, не підготовлені або слабо підготовлені користувачі, які слабо орієнтуються в досліджуваній ними предметній області й найчастіше не володіють комп'ютером. У зв'язку з цим, інтерфейс з користувачем повинен бути гранично простим і зрозумілим і містити достатню кількість підказок, що спрощують як взаємодію користувача з комп'ютером, так і процес засвоєння навчального матеріалу. Організація взаємодії з користувачем природною мовою є найзручнішим для нього варіантом. Зараз є досить велика кількість робіт, присвячених даному питанню. У деяких сучасних НІС роблять спроби (і часом цілком успішні), щодо реалізації інтерфейсу з користувачем мовою, близькою до природної. Найбільш популярним варіантом реалізації є використання обмеженої природної мови для формування різних повідомлень як користувача, так і системи з орієнтацією на предметну область, за якою ведеться навчання. Цей підхід найцікавіший і дійсно ефективний у випадку наявності в досліджуваній предметній області своєї формальної мови, наприклад, мови, обмеженої деяким набором формул або геометричних об'єктів, або спеціальних позначень, досить просто освоюваних і легко використовуваних у процесі діалогу.

Прикладами таких мов є формальна математична мова або мова опису взаємного розташування геометричних об'єктів, де поряд зі словами природної мови використовуються, наприклад, позначення паралельних прямих “||” , перпендикулярних прямих — “⊥” і т.д. Однак актуальним залишається завдання уніфікації способів реалізації природно-мовного інтерфейсу без прив'язки до конкретної предметної області.

Крім реалізації природно-мовного інтерфейсу, в НІС не менш важливим моментом є *гнучкість інтерфейсу*, тобто здатність системи оперативного перебудовувати зовнішнє робоче оточення користувача відповідно до режиму її роботи. Досить цікавим є завдання моделювання зовнішнього оточення, наближеного до реального, характерного для предметної області, що розглядається, завдяки чому учень ніби поринає у внутрішній світ досліджуваного предмету – мікросвіт. Тут дуже ефективним є використання систем віртуальної реальності, які стають усе більш популярними й поширеними.

Проблемам людино-машинної взаємодії приділяється зараз велика увага, тому що області застосування комп'ютера постійно розширюються.

Слід також зазначити, що застосування методів і засобів штучного інтелекту дає змогу розробляти складні й водночас гнучкі системи, що є характерними для *тренажерних систем*. Таким чином, з'являється можливість переходу від АНС до інтелектуальних тренажерних систем (ІТС). При цьому даний клас систем є найбільш перспективним, тому що застосування їх дозволяє здійснювати навчання деякому комплексу *вмінь і навичок*, витрачаючи на це набагато менше засобів, ніж при роботі з реальними об'єктами, приладами і т.п. ІТС являють собою більш складний клас систем, оскільки в них поєднуються можливості НІС з широким використанням засобів мультимедіа й віртуальної реальності (ВР), а також усіляких додаткових вимірювальних приладів, що аналізують стан учня.

Таким чином, НІС нового покоління являє собою складну ієрархічну систему, що складається із сукупності взаємодіючих між собою підсистем, кожна з яких розв'язує деякий певний клас завдань з метою забезпечення оптимального режиму навчання за допомогою комп'ютера.

### **Висновки**

1. В роботі розглянуті основні заходи та результати дослідження і розвитку навчально-інформаційних систем нового покоління для безперервної підготовки військових фахівців.

2. Розглянута класифікація навчально-інформаційної системи нового покоління, а саме системи: консультаційна, діагностична, керуюча, супроводжуюча.

3. Проаналізовані стимулятори процесу пізнання: інтелектуальне середовище, гіперсередовище, мікросвіти, спеціальні окуляри тощо.

4. Наведені основні якості володіння навчально-інформаційною системою нового покоління.

5. Таким чином, НІС нового покоління являє собою складну ієрархічну систему, що складається із сукупності взаємодіючих між собою підсистем, кожна з яких розв'язує деякий певний клас завдань з метою забезпечення оптимального режиму навчання за допомогою комп'ютера.

### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения — М.: Мир, 1969. - 406 с.

2. Андреев А. А. Средства НИТ в образовании: систематизация и тенденции развития. Основы применения ИТ в учебном процессе военных вузов. – М., 1995. – 263 с.

3. Большая Российская педагогическая энциклопедия. – У 2 т. – М.: Изд. "Большая Российская энциклопедия", 1999 – Т. 2. – 669 с.

4. Герасимов Б.М. Проектування та застосування експертно-навчальних систем: Монографія / Герасимов Б.М., Оксіюк О.Г., Шворов С.А.– К.: Вид-но Європ. ун-ту. 2008. – 263 с.

5. Ленков С.В., Шворов С.А., Гунченко Ю.О. Аналіз існуючих показників ефективності тренажерних систем для фахівців підрозділів постійної готовності // Науково-практичний журнал «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та охорони». – Київ, 2011. - №1-2(0-11). – С. 24 – 26.

6. Гунченко Ю.О., Ленков С.В., Шворов С.А., Гончарук А.А. Планування процесу тренувань фахівців спецпідрозділів з урахуванням їх функціонального стану та обмежень на часові (вартісні) витрати // Журнал «Інформаційна безпека». - Лугаськ, 2012. - №2(8). – С. 37 – 42.
7. Агапонов С.В. и др. Средства дистанционного обучения Методика, технология, инструментарий / Под ред. З.О. Джалиашвили. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 336 с.
8. Толлок І.В. Розвиток психолого-педагогічної компетентності майбутніх магістрів військового управління в системі післядипломної освіти: дис.канд.пед.наук: 13.00.04 / Толлок І.В. – Київ, 2013. – 231 с.
9. Лукін В.Є. Військово-технічна і військово-спеціальна підготовка майбутніх офіцерів із застосуванням засобів дистанційного навчання // Військова освіта: Зб.наук.пр. – К., 2006. - №1(19). – С. 156 – 163.
10. Козлакова Г.О. Інформаційно-педагогічне забезпечення дистанційної освіти: зарубіжний і вітчизняний досвід: Монографія. – К.: ВЦ „Просвіта”, 2002. – 230 с.
11. Ленков С.В., Гахович С.В., Гунченко Ю.О., Лукін В.Є., Шворов С.А. Побудова та використання систем дистанційного навчання з елементами штучного інтелекту: Монографія. Одеса: ВМВ, 2013. – 324 с.
12. Герасимов Б.М. Тарасов В.А., Токарев І.В. Человека-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. – К.: Наукова думка, 1993. – 184 с.

#### REFERENCES:

1. Atkinson R., Baujer G., Kroters Je. (1969). Vvedenie v matematicheskuyu teoriju obuchenija. Moscow, Mir, 406 p.
2. Andreev A.A. (1995). Sredstva NIT v obrazovanii: sistematizacija i tendencii razvitiya. Osnovy primenenija IT v uchebno-m processe voennyh vuzov. Moskva, 263 p.
3. Bol'shaja Rossijskaja pedagogicheskaja jenciklopedija (1999). Moscow, Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija, Vol. 2, 669 p.
4. Gerasymov B.M. (2008). Proektuvannja ta zastosuvannja ekspertno-navchal'nyh system. Kyiv: European University. 263 p.
5. Ljenkov S.V., Shvorov S.A. and Gunchenko Ju.O. (2011). Analiz isnujuchyh pokaznykiv efektyvnosti trenazhernyh system dlja fahivciv pidrozdiliv postijnoi' gotovnosti. Suchasni informacijni tehnologii' u sferi bezpeky ta ohorony. Kyi'v, no.1-2(0-11), pp. 24 – 26.
6. Gunchenko Ju.O., Ljenkov S.V., Shvorov S.A. and Goncharuk A.A. (2012). Planuvannja procesa trenuvan' fahivciv specpidrozdiliv z urahuvannjam i'h funkcional'nogo stanu ta obmezhen' na chasovi (vartisni) vytraty. Informacijna bezpeka. Lugas'k, no. 2(8), pp. 37 – 42.
7. Agaponov S.V. i dr. (2003). Sredstva distancionnogo obuchenija Metodika, tehnologija, instrumentarij. Pod red. Z.O. Dzhaliashvili. SPb.: BHV-Peterburg, 336 p.
8. Tolok I.V. (2013). Rozvytok psihologo-pedagogichnoi' kompetentnosti majbutnih magistriv vijs'kovogo upravlinnja v systemi pisljadyplomnoi' osvity: dys.kand.ped.nauk: 13.00.04., Kyi'v, 231p.
9. Lukin V.Je. (2006). Vijs'kovo-tehnicna i vijs'kovo-special'na pidgotovka majbutnih oficeriv iz zastosuvannjam zasobiv dystancijnogo navchannja. Vijs'kova osvita. Kyi'v, no 1(19), pp. 156 – 163.
10. Kozlakova G.O. (2002). Informacijno-pedagogichne zabezpechennja dystancijnoi' osvity: zarubizhnij i vitchyznjanyj dosvid. Kyi'v, VC Prosvita, 230 p.
11. Ljenkov S.V., Gahovych S.V., Gunchenko Ju.O., Lukin V.Je. and Shvorov S.A. (2013). Pobudova ta vykorystannja system dystancijnogo navchannja z elementamy shtuchnogo intelektu. Odesa, VMV, 324 p.
12. Gerasimov B.M. Tarasov V.A. and Tokarev I.V. (1993). Cheloveka-mashinnye sistemy prinjatija reshenij s jelementami iskusstvennogo intelektu. Kyi'v, Naukova dumka, 184 p.

**PhD Tolok I.V., PhD Braun V.O., PhD Miroshnichenko O.V.,  
PhD Pampukha I.V., Solodeeva L.V.**

#### **ANALYSIS OF NEW GENERATION EDUCATIONAL AND INFORMATION SYSTEMS FOR CONTINUOUS TRAINING OF MILITARY SPECIALISTS**

*The main measures and results of research and development of training and information systems (NIS) of the new generation for continuous training of military specialists are considered in the work. There is a huge number of programs which to some extent increase efficiency of training by means of the organization of adaptive dialogue with the user (both with the pupil, the student, the cadet, the adjunct, the listener, and with the teacher). However, at the present stage, when the amount of information is growing*

*rapidly, there is a need to create such tools to support electronic textbooks that would allow the user not only to view information of interest by navigating hyperstructures, but also to ask various more complex questions.*

*The paper presents original material on issues related to the formal formulation and solution of educational tasks in lectures, practical laboratory work in the independent training of students and cadets; methods of planning and organization of training with the use of expert systems. Particular attention is paid to the issues of step-by-step planning of training and accelerated independent training with the use of NIS with elements of artificial intelligence. Tasks and features of use of separate elements of educational process of cadets, students and adjuncts of military educational institutions such as lecture, practical and laboratory employment, seminars, consultation, individual tasks, course works, independent training are formulated.*

*The classification of NIS of new generation is considered, namely systems: consulting, diagnostic, managing, accompanying which have accordingly the following appointments: consultation at the decision of tasks and search of the information, diagnostics of errors at the decision of tasks, training by concepts and abilities (skills) on based on knowledge modeling, observation of user behavior and assistance with erroneous or irrational actions. The stimulators of the cognition process in educational and information systems are analyzed: intellectual environment, hyperenvironment, microworlds, special glasses, etc. Their features and advantages are determined.*

*Key words: educational and information systems, elements of educational process, stimulators of cognition process.*

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ПЛАТФОРМІ ARCGIS ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗОН КОНФЛІКТУ

*У роботі розглянуто особливості використання спеціального програмного забезпечення на платформі ArcGIS для всіх рівнів місії ООН, як геопросторової платформи моніторингу зон конфлікту та планування потенційного курсу дій.*

*На місії ООН покладається обов'язок щодо запобігання насильству, (у більшості, спрямованого проти цивільного населення), а не лише для реагування там, де воно триває. Для визначення ступеню напруженості в такій зоні, міжнародні миротворчі організації використовують різноманітні способи отримання інформації задіявши різні сили та засоби для подальшого аналізу та прийняття відповідного рішення. Моніторинг зони воєнного конфлікту є інструментальним заходом та включає цикл інформації, що складається з таких ланок, як збір даних, їх обробка, аналіз інформації, підтримка прийняття рішень тощо.*

*Сьогодні цикл інформації є важливим для усвідомлення стану конфлікту та прийняття рішення про необхідні дії з боку керівництва місії. Він неодмінно стосується технологічного прогресу та інформаційних технологій, зокрема. Відповідно, вплив якості моніторингу може мати тактичне, оперативне та стратегічне значення.*

*Питання дослідження існуючих систем моніторингу зон воєнних конфліктів в місіях ООН потребують більш детальної уваги. А визначення шляхів удосконалення таких систем на основі сучасних програмно-технічних рішень на всіх рівнях управління з урахуванням практичного досвіду формулює проблемне завдання та підкреслює його актуальність.*

*Ключові слова: миротворці ООН; ОБСЄ; системи моніторингу; ситуаційна обізнаність; реагування на інцидент; база геоданих, платформа ArcGIS, карта безпеки.*

**Вступ.** На даний час у світі існує значна кількість конфліктів, які вимагають втручання міжнародних безпекових організацій, зокрема, Організації Об'єднаних Націй, ООН (the United Nations, UN), Організації з безпеки і співробітництва в Європі, ОБСЄ (Organization for Security and Cooperation in Europe, OSCE) та інших.

Сьогодні Україна надає військовий контингент та персонал для участі у восьми місіях ООН та операціях по встановленню миру. У роботі використаний практичний досвід щодо збору даних, обробки й аналізу інформації про інциденти насильства та порушення безпеки в ході проведення стабілізаційної місії ООН у Демократичній республіці Конго, та наслідків обстрілів з боку незаконних збройних формувань на південному сході України – у ході діяльності наглядової місії при Спільному центрі контролю та координації питань припинення вогню на південному сході України [1].

На місії ООН покладається обов'язок щодо запобігання насильству (у більшості, спрямованого проти цивільного населення), а не лише для реагування там, де воно триває. Для визначення ступеню напруженості в такій зоні, міжнародні миротворчі організації використовують різноманітні способи отримання інформації задіявши різні сили та засоби для подальшого аналізу та прийняття відповідного рішення. Моніторинг зони воєнного конфлікту є інструментальним заходом та включає цикл інформації, що складається з таких ланок, як збір даних, їх обробка, аналіз інформації, підтримка прийняття рішень тощо.

**Постановка проблеми.** Цикл інформації є важливим для усвідомлення стану конфлікту та прийняття рішення про необхідні дії з боку керівництва місії. Він неодмінно стосується технологічного прогресу та інформаційних технологій, зокрема. Відповідно, вплив якості моніторингу може мати тактичне, оперативне та стратегічне значення.

Миротворчі місії вимагають інформації та розвідувальних даних для належного розуміння загроз цивільному населенню та забезпечення безпеки персоналу. Це можливо досягти за рахунок удосконалень щодо інтеграції, управління та обміну інформацією (CIVIC interview with MONUSCO civilian official, #68, Beni, February 2018).

В основу функціонування роботи системи рапортування в місіях ООН лежить так званий “розвідувальний цикл” (The Intelligence Cycle) [2]. Коли цикл інформації: збір, обробка (та зберігання), аналіз, планування та прийняття рішень функціонує добре, миротворці можуть визначити проблеми захисту, зосередити сили та засоби на найбільш загрозливих ділянках, запобігти насильству або відреагувати на нього. Коли цикл функціонує не вдало, елементи місії вражаються атаками незаконних збройних формувань і неефективно захищають цивільне населення.

**Мета статті.** Питання дослідження існуючих систем моніторингу зон воєнних конфліктів в місіях ООН потребують більш детальної уваги. А визначення шляхів удосконалення таких систем на основі сучасних програмно-технічних рішень на всіх рівнях управління з урахуванням практичного досвіду формулює проблемне завдання та підкреслює його актуальність.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У Розділі XVI навчального посібника з прав людини [3] можна знайти таке твердження: “ООН повинна запровадити налаштовану інформаційну систему управління та контролю, що підтримує ГІС (геоінформаційні системи), для забезпечення більш узгодженої оперативної взаємодії від патруля до сектору місії та вищого штабу, що підтримується постійною та надійною передачею голосу, даних та відео”.

Геоінформаційні системи дозволяють користувачам збирати, зберігати, маніпулювати, аналізувати, управляти та зображувати широкий спектр даних, що містять географічний компонент (наприклад, фізичні дані, такі як рельєф місцевості, гідрографія, метеорологія, отримані за допомогою датчиків дистанційного зондування; соціально-економічні об’єкти, такі дані, як показники демографії, об’єкти транспортної інфраструктури, інциденти тощо). Аналітик може відображати велику кількість інформації, організовану в шари, виконувати обчислення на них в інтерактивному режимі, щоб ідентифікувати відносини, включаючи просторові та часові виміри, і надавати результати у картографічному форматі для включення в додатки, такі як додатки веб-карт. Така програма може надати загальну операційну картину, яка використовується для ситуативного усвідомлення, аналізу та моделювання взаємозв’язків, закономірностей, тенденцій та процесів.

Розглянемо особливості використання платформи ArcGIS для всіх рівнів місій ООН, як геопросторової платформи моніторингу зон конфлікту та планування потенційного курсу дій. Даний програмний продукт є лідером ГІС та має значні переваги перед конкурентами [4, 5]. Перевагами програмного забезпечення від Esri можна назвати: забезпечення повноцінного функціоналу ГІС “з коробки” без програмування – від настільних додатків до ГІС порталів з можливістю відслідковування подій в режимі реального часу, масштабованість, можливості для розробки, регулярні оновлення усіх продуктів, наявність додатків для відображення, збору та аналізу даних, надійність, велика кількість навчальних і довідкових матеріалів. Технології геопорталів та серверних ГІС (зокрема, ArcGIS Enterprise компанії Esri) дозволяють організувати одночасний доступ до перегляду, редагування та аналізу даних необхідному числу користувачів за рахунок розмежування доступу між авторизованими користувачами, або надати публічний доступ до даних. ГІС портал може стати потужною платформою для взаємодії між різними рівнями управління в миротворчих місіях.

ArcGIS Mission – це всеохоплюючий інструмент геопросторових комунікацій та ситуаційної обізнаності, доступний в ArcGIS Enterprise 10.8 та пізніших версіях. ArcGIS Mission – це програма для просторових комунікацій та ситуаційної обізнаності. Місія ArcGIS дозволяє створювати, ділитися та контролювати карти та інші матеріали для використання в операціях. Отже, можна впорядкувати управління місіями; отримати ситуативну обізнаність під час активних місій; забезпечити геопросторовий, одноранговий зв’язок на місцях; та проводити огляди після відрядження [6].

Рішення ArcGIS для управління надзвичайними ситуаціями (ArcGIS Solutions for Emergency Management) включає низку цілеспрямованих карт та програм, розроблених, щоб допомогти персоналу управління надзвичайних ситуацій та громадської безпеки підтримувати ситуаційну обізнаність під час інциденту чи події [7].

Підтримка ситуаційної обізнаності вимагає співпраці, обміну інформацією та єдиного погляду на інформацію про події. Рішення про ситуаційну обізнаність включає гармонізований набір сервісів ArcGIS, які “оживляють” дані про події та операції.

Ця інформація передається для надання загальної оперативної картини в процесі розвитку інциденту чи події. Вона також використовується, як основа для сфокусованих карт та програм, що підтримують ключові заходи з управління надзвичайними ситуаціями.

Рішення про ситуаційну обізнаність включає низку цільових карт, які узгоджуються з ключовими ролями International Civil Service, (ICS) та функціями, які вони повинні виконувати. Аналітик може налаштувати ці зосереджені карти, щоб анімізувати дані про події та операції та розширити використання географічної інформації у відповідних заходах з управління надзвичайними ситуаціями (рис. 1).

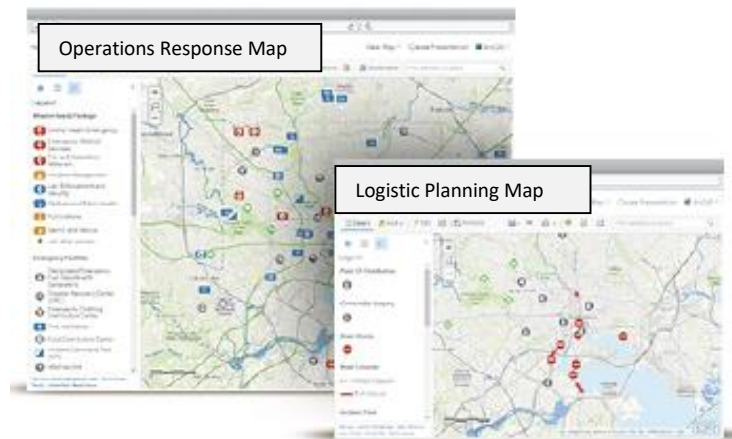


Рисунок 1 – Налаштовані сфокусовані карти в ArcGIS

Рішення про ситуаційну обізнаність включає набір програм, що оптимізують ключові робочі процеси управління надзвичайними ситуаціями та спрощують взаємодію з даними про аварії та операції. Додатки узгоджуються з ключовими ролями ICS, та функціями, які вони повинні виконувати.

Поінформованість про ситуацію та використання цієї інформації реалізовані за рахунок набору додатків, орієнтованих на місію, що доставляються через загальну операційну картину, рис. 2.



Рисунок 2 – Інформаційні панелі рішення про ситуаційну обізнаність на основі ArcGIS



На рис. 3 представлений приклад робочого екрану сервісів, які можуть бути організовані набором сфокусованих карт та додатків. Цей вміст подано в рішенні ситуаційної обізнаності у загальну операційну картину, яке покращує обмін інформацією та забезпечує єдине місце для виявлення інформації про інцидент чи подію.

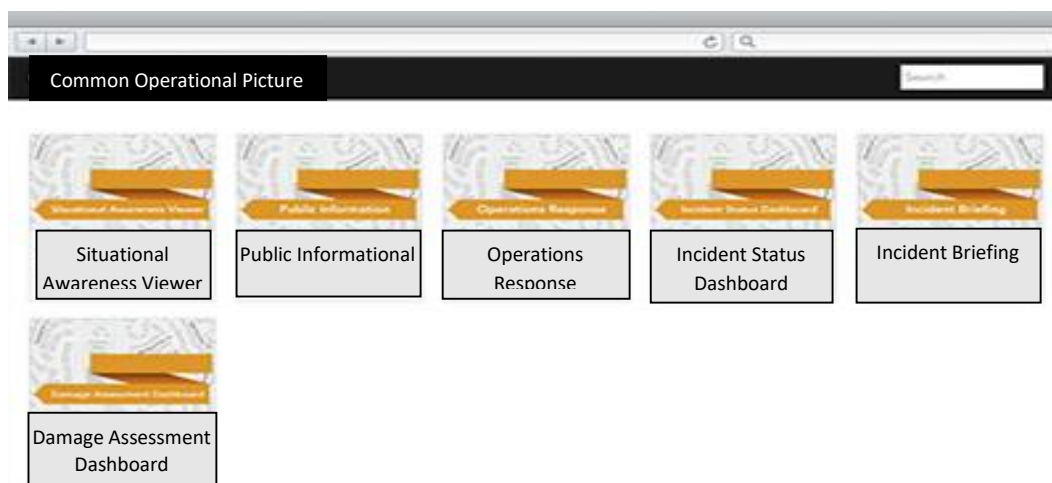


Рисунок 3 – Сервіси ситуаційної обізнаності на ArcGIS Online

Спільна оперативна картина надає можливість центрам надзвичайних операцій, командирам та персоналу реагувати на точну та своєчасну інформацію про реагування на інцидент чи подію та здійснювати управління ними.

Спостережні групи (тім сайти (Team Sites)) можуть оновлювати за виділеними розділами свої звітні форми ситуаційних звітів (Situational Report (SITREP)) в Collector у полі, критична інформація про кожне попередження може автоматично завантажуватися на інформаційну панель із електронної карти зони відповідальності, щодо поширення безпекової інформації згідно SITREP після синхронізації із хмарою ArcGIS Online або Arc GIS Server через інтернет із визначеними підрозділами у встановленому порядку доступу.

Концептуально, ГІС рішення скорочує паперові потоки для використання всієї інформації (приблизно в 3 рази), так, як діяльність зосереджується на одній вебплатформі, доступній як для офісу, так і для будь-якого пристрою персоналу, що працює в полі.

У ході патрулювання військових спостерігачів є можливість зафіксувати необхідні дані та зробити фотографії у полі за допомогою мобільного пристрою. За допомогою смартфонів, планшетів або комп'ютерів кожен відповідальний працівник з моніторингу зон конфлікту має швидкий та простий доступ до інформації, отриманої від патрулів, включаючи характеристики зони відповідальності (обстеження району), ситуацію з безпеки та будь-які обмеження в полі (зміни в оперативній обстановці, поширення опозиційних військових груп тощо).

Вважається, що у сучасному суспільстві, використання мобільних технологій є найшвидшим і найточнішим способом збору даних. Тому, процес повинен бути простим та впорядкованим, забезпечуючи автономність та готовність використання, масштабованість і доступність використання користувачем за ролями та повноваженнями.

Для виконання задач моніторингу на тактичному рівні, персоналу ООН в полі доводиться збирати значну кількість даних. Типовими групами параметрів для виконання патрулювання військовими спостерігачами в Місії ООН є: ситуація з безпекою, жертви, деталі інцидентів та контакти опитаної особи. Було розраховано близько 90 різних комбінацій груп параметрів (активів), які можуть складати єдиний шаблон, який враховує дані, що необхідно збирати за допомогою додатків встановлених на смарт пристроях (смартфонах або планшетах з операційною системою Android чи iOS).

Розумні пристрої (смартфони та планшети) у поєднанні з мобільними рішеннями від Esri, якими є додатки Workforce (Workforce for ArcGIS), Collector (Collector for ArcGIS) та Survey123 (Survey123 for ArcGIS), дозволяють при роботі з платформою ГІС, MILOB офісу (чи іншому підрозділу місії) отримувати зібрані дані у полі [8, 9].

Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу ArcGIS та простими у використанні робочими процесами збору даних в полі, можливо зберігати дані патрулювання, у якості точкових об'єктів в ArcGIS Online та розміщувати будь-які інші дані, як пов'язані записи, що мають відношення до елементів моніторингу, наприклад інцидентів (із формуванням попереджень).

Щоб впорядкувати процеси та зробити інформацію більш доступною, своєчасною та точною, військовим спостерігачам ООН (MILOB) пропонується впровадити польові мобільні додатки ArcGIS. В програмі ArcGIS інтеграція є доступною за допомогою власної схеми URL-адрес (URL scheme). Ця схема є стандартом взаємодії між додатками на мобільних пристроях – Navigator for ArcGIS, Collector for ArcGIS, Explorer for ArcGIS та Workforce for ArcGIS для віддаленого управління іншими польовими програмами та передачі їм контексту [9].

Workforce інтегрується з усіма польовими додатками Esri. Інтеграція додатків у Workforce досягається шляхом створення схеми URL-адреси для кожного елементу інтеграції та збереження цієї схеми у файлі JSON проекту. Але така міжелементна інтеграція може бути також створеною в Workforce на альтернативній URL-схемі та дозволяє видозмінити інтеграцію додатків.

Navigator URL-схема використовується у Workforce, Collector та Explorer. Можна генерувати саму URL-схему та дистанційно керувати додатком Navigator із сторонніх додатків, через текстові повідомлення чи електронну пошту. Navigator URL-схема може бути параметризована таким чином, щоб:

- відображати вказівки до одного місця;
- вказувати власну початкову точку;
- сформувані вказівки до декількох пунктів на місцевості;
- вмикати оптимізацію маршруту;
- встановлювати режим трекінгу;
- автоматично розпочинати навігацію;
- вмикати сповіщення після завершення навігації.

Цикл інформації для моніторингу зон воєнних конфліктів починається зі збору даних. Можливості сучасних технологій дозволяють збирати високоточні дані у полі та завантажувати їх, до системи (у хмару), як з місця збору, де є стійкий стільниковий зв'язок із доступом до інтернет, так і після прибуття до офісу. Для безпосереднього завантаження зібраних даних до комп'ютеру знадобиться їх обробка – визначення даних з координатами, перетворення їх у шейп-файли та імпорт їх до ArcGIS Desktop (рис.4).

При порівнянні системи моніторингу зон конфлікту в місіях ООН з використанням класичних підходів до моніторингу можна виявити, що більша частина роботи щодо збору даних застаріла, наприклад – використовується спосіб збору даних заснований на залученні значного обсягу ручної праці, відокремлених пристроїв, та відправленні звітів створених з текстових документів через емейл. Цей спосіб використовують понад 20 років. Запропонований спосіб, із використанням смартфонів є більш точним на етапі отримання даних і швидшим, ніж традиційний – з використанням емейл. Робота тім сайту після патруля щодо відправлення даних, відповідно полів звіту SITREP, до верхнього штабу (аналітичного відділу JOC або JMAC) при використанні запропонованого способу виконується вдвічі швидше, ніж при використанні способу заснованому на емейл.

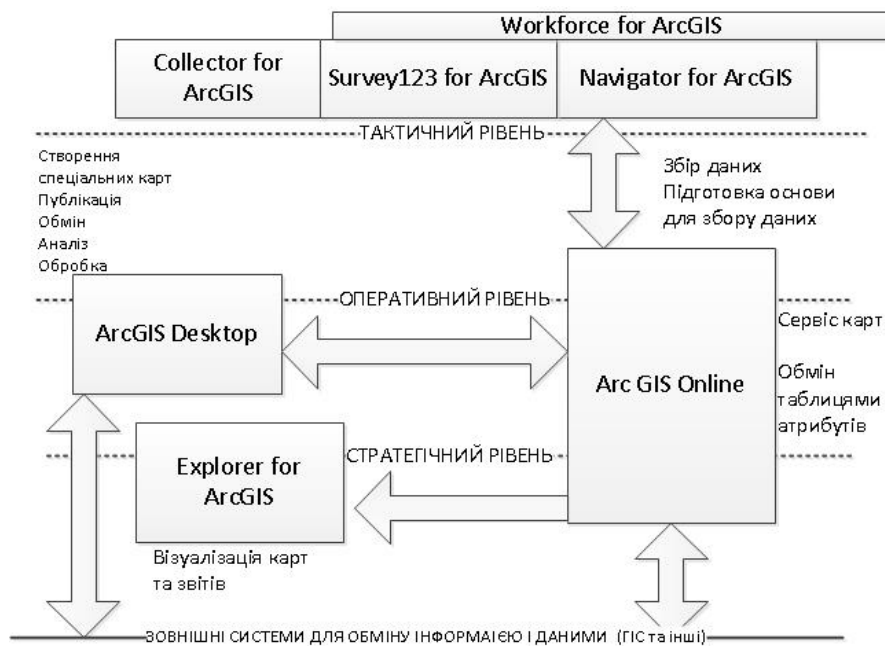


Рисунок 4 – Організація взаємодії інструментів спеціального програмного забезпечення ArcGIS на рівнях моніторингу зон конфлікту місії ООН

MILOBs також мають функціональну можливість повідомляти про зміни на місцевості шляхом створення (використання раніше підготовленого) тимчасового шару для безпосереднього оновлення існуючої електронної карти [8].

Для початку роботи команда ГІС (або ІТ) повинна розробити базу геоданих, яка підтримуватиме картографічні документи на основі даних для ситуаційних звітів від патрулів ООН. Потім ІТ-команда адаптує базу геоданих, як основу для функціонування в Collector. Оскільки структури бази геоданих для Collector та керовані дані (data-driven) документів карти можуть дещо відрізнялись, слід використовувати ModelBuilder для створення моделі, яка узгоджує записи між ними.

ArcGIS Desktop може експортувати кожен запис, як окремий файл PDF, кожен з яких може бути названий відповідно до назви цільової точки призначення.

Для зберігання існуючих конструкторів даних [10] рекомендується використати в ArcGIS або ArcGIS Online однакову модель потоку даних. Уніформований національний персонал ООН під час проведення патрулів – у межах зони відповідальності своїх тим сайтів – подаватиме звіти з місця за допомогою Survey123 та Collector. Аналітичний відділ (через офіс тим сайту, співробітників G2 і G3 у секторі та відповідні підрозділи FHQ – MILOB HQ, JOC, JMAC) може легко переглядати та редагувати рапорти про безпековий стан SITREP, увійшовши в ArcGIS Online і переглянувши дані функції шару рівня попередження.

Щоб швидко налаштувати Collector та швидко його поширити на розумних пристроях, ІТ-співробітник ГІС ООН спершу повинен створити еталонні та редаговані шари карт в ArcGIS Online. Оскільки більша частина роботи очікувано виконується у місцях відсутності стільникового зв'язку, доцільно завантажити підготовлені пакети тайлів базових карт до Collector for ArcGIS для подальшого їх використання в автономному режимі. Додаток Collector for ArcGIS доступний у iTunes або Google Play для встановлення на смарт пристрій.

Якщо говорити про кібербезпеку додатків та хмари на ArcGIS Platform, було оголошено, що з 2015 року, організації можуть дозволити учасникам з обліковими записами ArcGIS встановлювати багатофакторну аутентифікацію [11]. Багатофакторна автентифікація забезпечує додатковий рівень автентифікації під час входу, вимагаючи код підтвердження імені користувача та пароля на кожному додатку.

Показники на основі діяльності, звіти в режимі реального часу та інша корисна інформація з типового веб-сайту організації на хмарі ArcGIS Online (наприклад, Місії ООН), може бути доступною у додатку Activity Dashboard, який інтегрований в ArcGIS Online, для надання інструментів управління сайтом адміністраторами. Ними можуть бути офіцери відділів штабу місії G2, G3, JOC, JMAC.

У той же момент ArcGIS Open Data дозволяє організації місії ООН використовувати платформу ArcGIS, щоб надати громадськості відкритий доступ до своїх картографічних даних [11], наприклад динамічна карта попередження про зону конфлікту. Open Data підтримує використання власних базових карт, наприклад вони можуть бути створені підрозділом ГІС Місії ООН. Також дане програмне забезпечення надає канал активності для повідомлення статусу залучення персоналу, використовуючи веб-сайт.

Щоб розробити цілісне рішення моніторингу зон відповідальності тим сайтів військових спостерігачів ООН (MILOB Team Site) спочатку необхідно скласти точну базову карту всієї своєї зони відповідальності (дана задача покладена на ГІС офіс штабу сектору). Через великий розмір даних супутникових знімків із високою роздільною здатністю, які потрібно буде завантажити до пакету картографічних фрагментів ArcGIS Online, при початковому завантаженні, даний процес вимагає високошвидкісного інтернету.

За допомогою додатку Collector for ArcGIS будь-який тим сайт також може працювати під час проведення моніторингу в режимі офлайн з картами, що збережені у кеш пам'яті мобільних пристроїв усієї зони відповідальності тим сайту або її частини, які покривають об'єкти патрулювання згідно щотижневого плану патрулювання (Weekly Patrol Plan, WPP). Додаток Collector for ArcGIS дозволяє зберігати базові карти, як шари на кожному пристрої за допомогою пакету тайлів, тому UN MILOBs можуть бути відключеними під час патрулювання, як від Інтернету, так і від внутрішньої мережі, і при цьому мати доступ до карт тим сайту разом із нанесеними об'єктами та назвами пунктів призначення тощо на мобільних пристроях.

Використовуючи ArcGIS Pro (ArcMap), підрозділ ГІС Місії ООН має змогу створити пакет тайлів базової карти, який можна буде завантажувати на мобільний пристрій для використання в автономному режимі в будь-якому місці зони відповідальності тим сайту.

Можна використовувати додаток для моніторингу в автономному режимі. Під час знаходження поза межами покриття мережею програма не вимагає підключення, тому не використовує свій обліковий запис ArcGIS Online протягом цього часу.

Завдання щодо розробки або прийняття моделі класу географічних об'єктів з атрибутами для формування ситуаційного звіту можливо покласти на підрозділ JMAC або J2/J3. Модель класу функцій слід створити за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Desktop на основі базової карти місії із подальшою публікацією проєкту на ArcGIS Online або ArcGIS Server. Кожному тим сайту необхідно визначити параметри збору даних – наприклад, мати розташування важливих об'єктів (адміністрація міст і сіл, національні військові та поліцейські підрозділи, школи, університети, релігійні будівлі, медичні частини тощо), дороги із їх нанесеним статусом безпеки (зелений, жовтий, червоний), межі зони відповідальності MILOB тим сайту, растрової діаграми поточного стану безпеки та зон впливу елементів опозиційних армійських груп, які містять корисні дані для допомоги у плануванні патрулів.

Після того, як база даних звіту патруля (SITREP) буде заповнена, підрозділ ГІС у штабі може автоматизувати процес вибору типів попереджень, інцидентів та типу шкоди завданої цивільним особам, а також необхідність швидкої реакції з боку ООН, послідовність, в якій потрібно збирати дані (для WPP чи спеціального патруля) та порядок завантаження цієї інформації до Workforce. Для цього спочатку створюють сценарії Python для вилучення маршрутів щоденних патрулів з бази даних Тижневого плану патрулювання (WPP) формату CSV, а потім завантажують завдання до Workforce.

Програмні скрипти можуть запускатися у визначений час та видаляти усі виконані завдання перед завантаженням маршрутів наступного дня. Військові спостерігачі в тим сайті (MILOBs) отримують доступ до Workforce на смарт-пристрої (телефонах або планшетах) в

офісі та завантажують маршрути та об'єкти патруля з необхідною деталізацією. У свою чергу, персонал офісу MILOB (штабу сектору MILOB, штабу місії) може використовувати програму для відстеження членів патруля, коли вони знаходяться на маршруті патрулювання для збору даних для моніторингу зон воєнного конфлікту.

Після публікації скоригованих ознак геооб'єктів через ArcGIS Online, у додатку для смарт пристроїв (наприклад, Collector for ArcGIS) можна буде проводити їх оцінку у полі за умови підготовленої таблиці geodatabase (.gdb) динамічного шару геопросторових об'єктів.

За допомогою додатку Collector військовий спостерігач у полі фотографує необхідні об'єкти, зазначає їх місцезнаходження (фотографія може бути знята віддалено), визначає стан безпеки, оцінює стан шкоди завданої у результаті інциденту (за потреби) і оцінює ризик з власного досвіду щодо погіршення ситуації з безпекою (надає рекомендації).

Члени патруля ООН (MILOB) можуть, обрати з бібліотеки символ необхідний для опису типу інциденту або об'єкта патрулювання. Це полегшує їх візуалізацію на карті.

Зібрані дані моніторингу зон конфлікту можливо експортувати різними способами – включаючи шейп файли, бази геоданих та таблиці Microsoft Excel - для забезпечення співробітників аналітичного відділу, G2 та G3 штабу сектору ООН (UN MILOB Sector HQ), підрозділів штабу місії (FHQ) U2, U3, JOC та JMAC з метою подальшої візуалізації проблемних областей місії. (Схожа ідея потоку даних оглядалася у цивільній сфері в [12].)

Адміністратори веб порталу (ArcGIS Online) можуть надавати дозвіл через ролі та повноваження щодо редагування класу функцій (шарів, атрибутів, об'єктів тощо) та перегляду карт безпекової ситуації користувачами (у тому числі, зон окремих тим сайтів) в ArcGIS Online.

Через сервіс хмари ArcGIS Online офіс тим сайту або штабу також може надавати карту із додатковим уточненням щодо патрулювання (наказом) у додатки на смарт пристрої (Navigator for ArcGIS, Collector for ArcGIS) для членів патруля тим сайту. (Він може містити конкретну адресу із вказанням вулиць, міст, сіл, та інших місць). Схожа діюча схема згадується у роботі у джерелі [13].

**Висновки.** Після впровадження моделі збору даних для моніторингу зон конфлікту миротворцями ООН лідери тим сайтів зможуть покладатися на спостерігачів, які будуть здатні збирати і редагувати дані одночасно. Коли кожен патруль знаходиться в межах зони обслуговування комунікаційної мережі, після синхронізації мобільних пристроїв з хмарою ArcGIS Online (порталом). Офіс може бачити точки, додані на карту групою патруля.

Коли співробітник ГІС офісу штабу отримує дані (схожу схему використано у Управлінні Кадастру Республіки Чехія [14]), офіцер перевіряє зміни, що відбулися порівняно із попереднім разом, і розпочинає процес використання цих даних для оновлення базової карти, карти безпеки чи інших спеціальних карт.

Ця схема робочого процесу дозволяє вести архів завершених звітів про інциденти (SITREP) на картографічній основі ГІС для подальшого їх використання.

Програмне забезпечення ArcGIS Enterprise дозволяє створити Інтернет-платформу, де штабні офіцери ООН, офіцери аналітичних відділів (JMAC або JOC), а також MILOB в штабі та в полі можуть одночасно бачити розташування своїх об'єктів моніторингу, а також інформацію, пов'язану з ними: місце розташування інцидентів (оповіщення); тип та деталі інцидентів; чисельність членів патрулювання та їх оцінку (рекомендацію).

У цьому випадку всі елементи в ланцюжку структури управління та контролю (офіцери штабу ООН, аналітичні офіцери підрозділів (JMAC або JOC), MILOB в штаті та на місцях) можуть мати спрощений доступ до необхідної інформації через портал ArcGIS Enterprise, що дозволяє застосувати власні налаштування безпеки та налаштувати сайт.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тимошенко Р. І. Аспекти практичної реалізації макету інформаційно-аналітичної системи фіксації обстрілів для Української сторони СЦКК / Р. І. Тимошенко, В. А. Федорієнко, О. С. Прокопенко // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного

університету оборони України імені Івана Черняхівського. - 2017. - № 3. - С. 84-88. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_3\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_3_17).

2. DPKO-DFS Policy on Peacekeeping Intelligence [Електронний ресурс] // United Nations Department of Peacekeeping Operations / Department of Field Support. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://dag.un.org/bitstream/handle/11176/400928/220419%20PK-Intelligence%20Policy-signed.pdf?sequence=1&isAllowed=n>.

3. Chapter XVI. Monitoring During Periods of Armed Conflict. [Електронний ресурс] // Training Manual on Human Rights Monitoring – 2018. – (OHCHR). – С. 327–362. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/training7part1618en.pdf>.

4. Федорієнко В. А. Особливості сучасної концептуальної архітектури ГІС платформи військового призначення / В. А. Федорієнко, О. В. Головченко, С. І. Васюхно // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. - 2017. - № 2 (60). - С. 86-92. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_2_16).

5. Федорієнко В. А. Аналіз спеціального програмного забезпечення ГІС інформаційної інфраструктури Міністерства оборони України / Віталій Анатолійович Федорієнко. // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень НУОУ імені Івана Черняхівського. – 2018. – №3 (64). – С. 83–89. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_2_16).

6. What is ArcGIS Mission [Електронний ресурс] // ArcGIS. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://enterprise.arcgis.com/en/mission/latest/essentials/essentials-what-is-arcgis-mission.htm>.

7. Situational Awareness. ArcGIS Solutions for Emergency Management [Електронний ресурс] // ArcGIS. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://solutions.arcgis.com/emergency-management/situational-awareness-overview/>.

8. Field Apps Help Utility Streamline Work. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 26–27.

9. Shaner J. Field Apps Can Be Better Together / Jeff Shaner. // ArcUser. – 2018. – С. 26–27.

10. One Month, Thousands of Assets, and Two People. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 24.

11. ArcGIS Online What's New. // ArcNews. – 2015. – №36. – С. 10–11.

12. Weaver J. One App Takes On 2,000 Trees / Jonathan Weaver. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 12.

13. GIS Field Apps Keep Public Works Department Running Smoothly. // ArcNews. – 2017. – №39. – С. 22–23.

14. Škrobák J. The Life of a GIS Professional: From improving cooperation to engaging citizens / Jaroslav Škrobák. // ArcUser. – 2018. – С. 22–25.

#### REFERENCES:

1. Tymoshenko R.I. Aspects of the practical implementation of the model of the information-analytical system for fixing firings for the Ukrainian side of the JCCC / R.I. Tymoshenko, V.A. Fedoriienko, O.S. Prokopenko // Collection of the scientific papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi. - 2017. - № 3. - P. 84-88. - Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_3\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_3_17).

2. DPKO-DFS Policy on Peacekeeping Intelligence [Електронний ресурс] // United Nations Department of Peacekeeping Operations / Department of Field Support. – 2019. – Access mode: <http://dag.un.org/bitstream/handle/11176/400928/220419%20PK-Intelligence%20Policy-signed.pdf?sequence=1&isAllowed=n>.

3. Chapter XVI. Monitoring During Periods of Armed Conflict. [Електронний ресурс] // Training Manual on Human Rights Monitoring – 2018. – (OHCHR). – С. 327–362. – Access mode: <https://www.ohchr.org/Documents/Publications/training7part1618en.pdf>.

4. Fedoriienko V. A. Features of Contemporary Conceptual Architecture GIS Military Platform / V. A. Fedoriienko, O. V. Golovchenko, S. I. Vasukhno // Collection of the scientific papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi. - 2017. - № 2 (60). - С. 86-92. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_2_16).

5. Fedoriienko V. A. Analysis of the specific software GIS for the information infrastructure of the Ministry of Defense of Ukraine / Vitalii Anatoliiovych Fedoriienko. // Collection of the scientific papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskyi. – 2018. – №3 (64). – С. 83–89. – Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2017\\_2\\_16](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2017_2_16).

6. What is ArcGIS Mission [Электронный ресурс] // ArcGIS. – 2020. – Access mode: <https://enterprise.arcgis.com/en/mission/latest/essentials/essentials-what-is-arcgis-mission.htm>.
7. Situational Awareness. ArcGIS Solutions for Emergency Management [Электронный ресурс] // ArcGIS. – 2020. – Access mode: <https://solutions.arcgis.com/emergency-management/situational-awareness-overview/>.
8. Field Apps Help Utility Streamline Work. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 26–27.
9. Shaner J. Field Apps Can Be Better Together / Jeff Shaner. // ArcUser. – 2018. – С. 26–27.
10. One Month, Thousands of Assets, and Two People. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 24.
11. ArcGIS Online What's New. // ArcNews. – 2015. – №36. – С. 10–11.
12. Weaver J. One App Takes On 2,000 Trees / Jonathan Weaver. // ArcNews. – 2018. – №40. – С. 12.
13. GIS Field Apps Keep Public Works Department Running Smoothly. // ArcNews. – 2017. – №39. – С. 22–23.
14. Škrobák J. The Life of a GIS Professional: From improving cooperation to engaging citizens / Jaroslav Škrobák. // ArcUser. – 2018. – С. 22–25.

**PhD Fedchenko O.P., Fedoriienko V.A., PhD Lavrinchuk O.V.  
FEATURES OF USING THE SPECIFIC SOFTWARE BASED ON ARCGIS PLATFORM  
MONITORING CONFLICT ZONES**

*The paper considers the peculiarities of using the ArcGIS platform for all levels of UN missions as a geospatial platform for monitoring conflict zones and planning a potential course of action. The UN mission is responsible for prevention violence (mostly against civilians), and not just for responding where it continues. International peacekeeping organizations to determine the degree of tension in the area of responsibility are using a variety of methods to obtain information from various sources as organs, forces or means for further analysis and decision-making. Monitoring of the zone of military conflict is an instrumental measure and it includes a cycle of information consisting of such links as data collection, processing, information analysis, decision making etc. Today, the information cycle is important for understanding the state of the conflict and deciding on the necessary actions by the mission leadership. It certainly concerns technological progress and information technology in particular. Accordingly, of There is tactical, operational and strategic importance may be as levels of the impact of monitoring quality.*

*The study of existing systems for monitoring war zones in the UN missions needs more detailed attention. And the definition of improving ways such systems on the basis of modern software and hardware solutions at all government levels, taking into account practical experience, formulates the problem and emphasizes its relevance.*

*Key words: UN peacekeepers; OSCE; monitoring systems; situational awareness; incident response; geodatabase, ArcGIS Platform, security map.*

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БПЛА НА БАЗІ СПЕКТРАЛЬНИХ ПОРТРЕТІВ МІСЦЕВОСТІ

*У статті запропонована інформаційна технологія навігації та управління польотом БПЛА на базі спектральних портретів місцевості. Актуальність роботи викликана появою в широкому доступі робототизованих безпілотних літальних апаратів, що створює принципово нові виклики щодо виходу із ладу навігаційного обладнання. Зазначене надає можливість організації терористичним угрупованням навіть ефективної кібератаки по системі навігації і управління кількома БПЛА. Крім того, наявні рішення щодо керування польотом БПЛА оператором по радіоканалу можуть відносно легко блокуватись засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) шляхом організації електромагнітних перешкод для каналу управління.*

*Можливим рішенням щодо захисту від РЕБ терористичних угруповань є використання запропонованої інформаційної технології навігації на основі просторово-спектральних портретів місцевості коли БПЛА орієнтується на попередньо завантажені бібліотеки орієнтирів на місцевості. У випадку використання малої кількості опорних точок чи орієнтирів їх можна сфальсифікувати чи знищити, проте, при використанні великої кількості об'єктів з урахуванням не лише їх геометрії, а і спектрального портрету, їх фальсифікація в умовах виходу із ладу навігаційного обладнання та застосування засобів РЕБ терористичними угрупованнями принципово ускладнюються. Експериментально встановлено, що при застосуванні найбільш розповсюджених та дешевих спектральних сенсорів оптичного діапазону слід враховувати вплив стану освітлення на спектральні показники об'єктів. Виходячи з цих міркувань, метою досліджень є розробка методичного підходу щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів.*

*Дослідження проводились в лабораторних умовах та безпосередньо на дослідному польовому стаціонарі, у результаті яких встановлені залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue на прикладі шаблону сірого кольору (насиченість 69%).*

*Експериментально підтверджено, що при зміні освітлення калібрування спектральних даних на основі службової інформації від фотокамери може здійснюватись для різних моделей фотоапаратів. Для практичних потреб просторово-спектральної навігації корекцію при зміні освітлення доцільно проводити з використанням експериментально отриманих залежностей для конкретної моделі сенсорного обладнання. При організації системи навігації БПЛА на базі просторово-спектральних портретів доцільно вибирати в якості об'єктів орієнтації такі, що мають найбільш стабільні спектральні показники.*

*Ключові слова: інформаційна технологія, навігація та управління, БПЛА, фотокамери, спектральні портрети місцевості.*

**Вступ та постановка проблеми.** Поява в широкому доступі робототизованих безпілотних літальних апаратів створює принципово нові виклики щодо виходу із ладу навігаційного обладнання. Вартість достатньо досконалих коптерів, здатних пролетіти кілька кілометрів до місця призначення, що на 3-4 порядки менша за пілотовані військові апарати. Зазначене надає можливість організації терористичним угрупованням навіть ефективної кібератаки по системі навігації і управління кількома БПЛА. Крім того, наявні рішення щодо керування польотом БПЛА оператором по радіоканалу можуть відносно легко блокуватись засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ) шляхом організації електромагнітних перешкод для каналу управління. Більш захищеним є використання для навігації БПЛА засобів



супутникового позиціонування, таких як GPS чи ГЛОНАСС. Проте, в разі навігації БПЛА на невеликі за розміром об'єкти можуть виникнути проблеми щодо точності позиціонування. До того ж при побудові систем супутникової навігації розробниками була закладена можливість введення похибок для цивільних діапазонів.

Додатково засобами РЕБ може здійснюватись спотворення сигналів системи супутникової навігації – GPS spoofing. У разі терористичних дій цілком ймовірна ситуація, що потужність та цілеспрямованість РЕБ призведе до відхилення маршрутів на кілька десятків чи навіть сотень метрів, що нівелює переваги БПЛА перед пілотованим апаратом. Оскільки такі засоби широко доступні, то для їх нейтралізації актуальними є розробка новітніх технологій навігації та управління польотом БПЛА для забезпечення ефективної протидії засобам РЕБ та кібератакам тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз методів і засобів та умов навігації БПЛА [1-7] свідчить про необхідність пошуку нових ефективних технологій навігації та управління польотом БПЛА.

Бортовий комплекс навігації та управління БПЛА, як правило, складається з інтегрованої навігаційної системи (ІНС), приймача супутникової навігаційної системи та з автопілоту, що забезпечує автоматичне і напівавтоматичне (директорне) управління зльотом, польотом літака по заданій просторово-часовій траєкторії і посадкою в будь-яких метеоумовах. Сучасні високоточні системи навігації БПЛА базуються на використанні інерційних навігаційних систем (ІНС) [7], які можуть бути доповнені як системами супутникової корекції, так і системами навігації по геофізичних полях Землі [8-9].

Існує декілька типів сучасних традиційних навігаційних систем. Але жодна з них, працюючи окремо, не забезпечує необхідні вимоги по якісному безперервному та точному визначенню місцеположення літального апарату незалежно від пройденого шляху та часу роботи навігаційної апаратури. Застосування супутникових навігаційних систем для корекції ІНС призводить до низької завадостійкості системи корекції, а також до неавтономності функціонування навігаційної системи. Цих недоліків позбавлені кореляційно-екстремальні системи, що є їх великою перевагою. У зв'язку з цим кореляційно-екстремальні системи знайшли широке застосування в системах навігації, серед яких найкращими показниками за точністю характеризуються оптико-електронні. Однак, при вирішенні завдань навігації на ділянках місцевості з високою об'єктовою насиченістю, коли мають місце поряд з об'єктом прив'язки (ОП) інші яскраві об'єкти, близькі за параметрами з ОП, ефективність роботи таких систем може виявитися недостатньою. Крім того, зміна умов візування також призводить до спотворень та помилок, що обумовлено невідповідністю поточного зображення еталонному, сформованому заздалегідь.

Можливим рішенням щодо захисту від РЕБ терористичних угруповань є використання навігації на основі просторово-спектральних портретів місцевості, коли БПЛА орієнтується на попередньо завантажені бібліотеки орієнтирів на місцевості. У випадку використання малої кількості опорних точок чи орієнтирів їх можна сфальсифікувати чи знищити, проте, при використанні великої кількості об'єктів з урахуванням не лише їх геометрії, а і спектрального портрету, їх фальсифікація принципово ускладнюється. З цієї причини просторово-спектральна навігація є одним із пріоритетних напрямів розвитку керування БПЛА в умовах виходу з ладу навігаційного обладнання та застосування засобів РЕБ терористичними угрупованнями.

Традиційно вимірювання спектральних показників об'єктів в умовах змінного освітлення можливо організувати з використанням активного спектрального сенсору Raptor ACS-225LR, встановленого на літаку, який освітлював би наземні об'єкти за допомогою потужних світлодіодів. З урахуванням суттєвих обмежень щодо енергоозброєності та вантажопідйомності неспеціалізованих та найбільш розповсюджених БПЛА доцільність використання на них додаткових джерел освітлення на сьогодні є малоперспективною.

Можливим шляхом фіксації зміни освітлення для БПЛА є використання додаткового зенітного сенсору. Апаратна фіксація освітлення не вимагатиме наземних шаблонів, проте,

підвищить вартість БПЛА. До того ж такий підхід буде актуальним лише в умовах рівномірного освітлення. Однак, при наявності хмар можливі неприйнятно значні похибки. Альтернативою спеціалізованого сенсору є можливість використання для калібрування даних від вбудованого експонетру основного сенсорного обладнання, тобто врахування змін освітлення безпосередньо в польових умовах шляхом використання службових даних штатного експонетру цифрової фотокамери є можливою, проте потребує перевірки чи адаптації під інші моделі сенсорного обладнання.

При використанні найбільш розповсюджених та дешевих спектральних сенсорів оптичного діапазону слід враховувати вплив стану освітлення на спектральні показники об'єктів. Виходячи із цих міркувань, *метою досліджень* є розробка методичного підходу щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження проводились в лабораторних умовах та безпосередньо на дослідному польовому стаціонарі. В лабораторних умовах поряд із розробленими під БПЛА (FC200) цифровими фотокамерами досліджувались і смартфони (Apple iPhone 5s та Lenovo s660).

Дослідження щодо встановлення залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue здійснювались на прикладі шаблону сірого кольору (насиченість 69%), надрукованому лазерним принтером на офісному папері білого кольору та зразків пшениці, розміщених на шаблоні (рис. 1).



Рисунок 1 – Зразок оптичного шаблону із зразком пшениці

Параметри налагодження фотокамери: «баланс білого» - ясна погода. Зміну величини LightValue здійснювали шляхом корекції експозиції в діапазоні  $ev = -2.0 \dots 2.0$ . Отримані результати приведені на рис. 2.

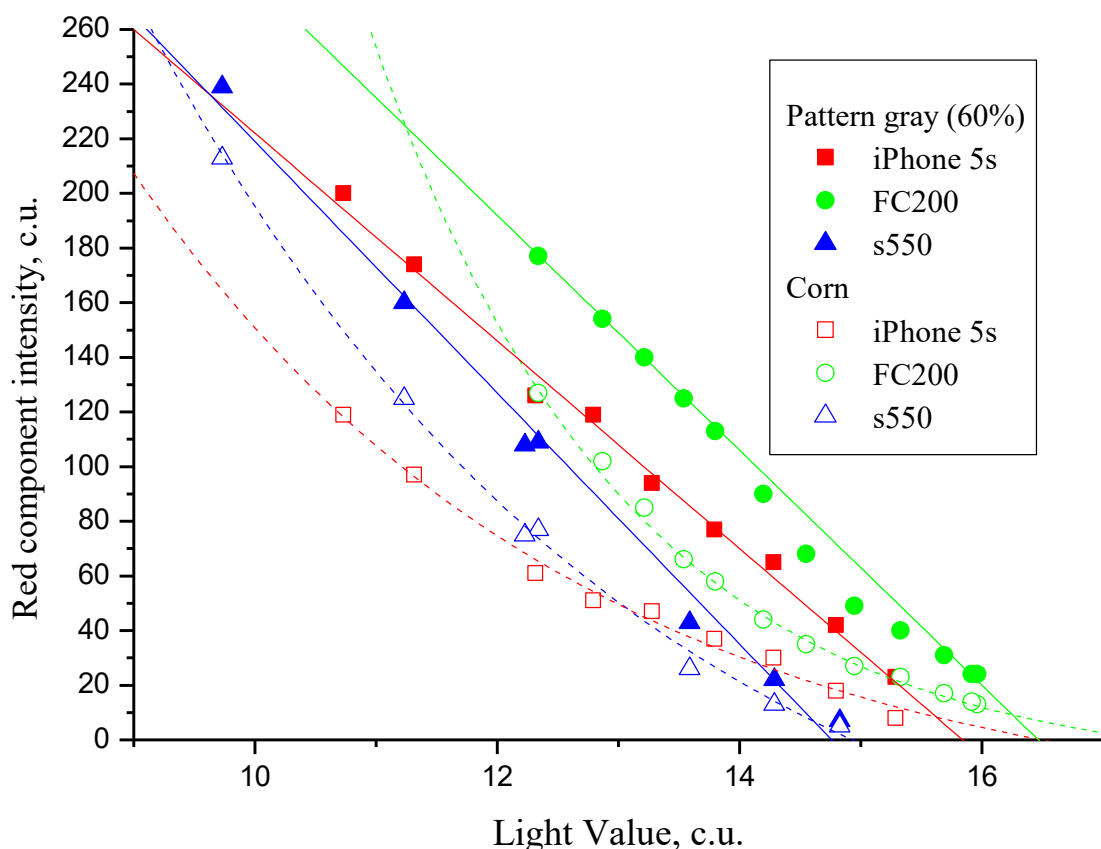


Рисунок 2 – Залежність інтенсивності червоної складової кольору від величини LightValue для різних моделей цифрових фотокамер

За результатами обробки експериментальних даних було встановлено, що характер залежності для фотокамер є неоднаковим. Для зразку сірого кольору при апроксимації лінійною залежністю коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) для фотокамер 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. Для кукурудзи за аналогією при лінійній залежності  $R^2$  становив 0,993, 0,989 та 0,989 відповідно, для експоненціальної – 0,92, 0,991 та 0,986 відповідно.

Таким чином, можна засвідчити, що характер залежності в певній мірі визначається об'єктом моніторингу. Для штучного шаблону він більш точно описується нелінійною залежністю, що ускладнює калібрування при різному освітленні. Встановлено, що характер показаної вище залежності буде індивідуальним для кожної моделі камери, що слід 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 у польових умовах.

Експериментальні дослідження в польових умовах було проведено на дослідному стаціонарі кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва НУБіП України, де аналізувалось пшеничне поле з ділянками з різним станом мінерального живлення та 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 17.05.20, висота польоту БПЛА 100 метрів

Досліди проводили 17.05.20 з 15 до 21 години. Освітленість при цьому становила від 41500 до 500 люкс. При вимірах люксметр розміщувався горизонтально без випадкової тіні за рахунок впливу хмар. У разі наявності хмар під час зйомки візуально оцінювали рівномірність освітлення всіх об'єктів у кадрі, нерівномірне освітлення не допускалося. В якості об'єктів досліджень обирали ґрунтову дорогу (road) та 2 ділянки з посівів пшениці озимої в стадії вегетації колосіння (0 – фон, 1 – штучно внесена нормована доза мінеральних добрив).

Отримані результати щодо залежності інтенсивності складових кольору об'єктів від величини LightValue подані на рис. 4.

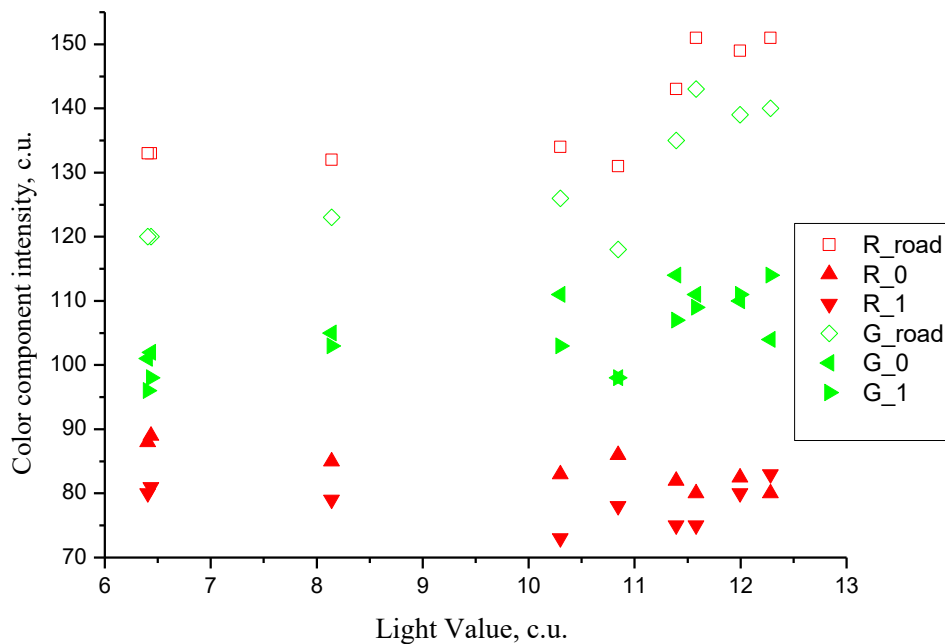


Рисунок 4 – Залежність червоної та зеленої складових кольору ґрунтової дороги та ділянок посівів пшениці озимої від величини LightValue де: road – ґрунтова дорога, 0 – без штучного внесення добрив, 1 – нормована доза

Результати досліджень показали, що на початку фази колосіння, за хмарності чи вечірнього освітлення (LightValue 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 з додатковим Zenitним сенсором, в якості котрого використовувався люксметр, нелінійність залежності також спостерігається. Так, різниця в мінеральному живленні має найбільший вплив на інтенсивність складових кольору в діапазоні освітленості 1000-20000 люксів (рис. 5).

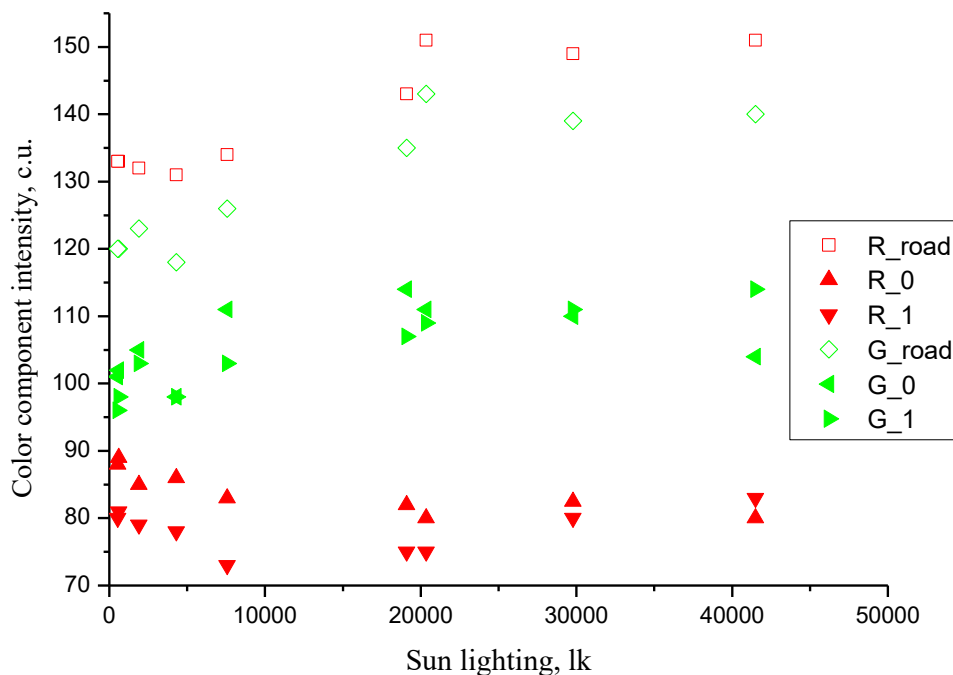


Рисунок 5 – Залежність інтенсивності складових кольору об'єктів від величини сонячного освітлення

Встановлено, що для розглянутих об'єктів найменший вплив освітлення було зафіксовано для ділянки пшеничного поля без штучного внесення добрив, а максимальний для ґрунтової дороги, що дуже важливо враховувати не тільки для навігації БПЛА, а також для вирішення завдань планування маршрутів, керування і навігації безпіотної техніки із застосуванням даних від БПЛА [10-12].

Таким чином, при побудові системи навігації на основі використання просторово-спектральних портретів доцільно орієнтуватися на об'єкти із стабільними характеристиками (спектральними показниками).

### Висновки

1. Запропоновано методичний підхід щодо корекції впливу освітлення для визначення в оптичному діапазоні спектральних портретів об'єктів. Експериментально підтверджено, що при зміні освітлення калібрування спектральних даних на основі службової інформації від фотокамери може здійснюватись для різних моделей фотоапаратів.

2. Залежності інтенсивності складових кольору від величини LightValue для різних фотокамер та об'єктів моніторингу має індивідуальний характер.

3. Для практичних потреб просторово-спектральної навігації доцільно корекцію при зміні освітлення проводити з використанням експериментально отриманих залежностей для конкретної моделі сенсорного обладнання. При організації системи навігації БПЛА на базі просторово-спектральних портретів доцільно вибирати в якості об'єктів орієнтації такі, що мають найбільш стабільні спектральні показники.

#### ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES):

1. Zakharin F. M., Ponomarenko S. A. On a scheme integration of inertial primary information sensors with on-board Navigation Correctors Aircraft IEEE 4-rd international Conference «Methods and systems navigation and movement control», Proceedings. Kyiv. 2016, 18-20 October, Kyiv, National aviation university. p. 98 – 101.
2. Anishevych L.V., Zakharin F.M. Method of complex processing of navigation information for vehicle // ii international Conference “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”, 2012. Ukraine. P. 37-40.
3. Qin Yongyuan, Zhang Hongqian, Wang Shuhua. Theory of Kalman Filter and integrated Navigation. Northwestern Polytechnic University Press, 2012. 386 p
4. Panov A. P., Ponomarenko S. A. On the Application of NonHamiltonian Unnormalized Quaternions of the Half-Rotation in the Strapdown inertial Systems // IEEE 3-rd international Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 265 - 291.
5. Zakharin F. V., Ponomarenko S. A. Concept of Navigation System Design of UAV // IEEE 3-rd international Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 261-264.
6. Sotnikov A., Tarshyn V., Yeromina N., Petrov S., Antonenko N. A method for localizing a reference object in a current image with several bright objects // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 3. № 9 (87). pp. 68–74.
7. Zakharin F.M., Ponomarenko S.A. Concept of Design Navigation Systems of UAV / IEEE 3-rd International Conference “Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments”, Proceedings. Kyiv. National aviation university. 2015, 13-15 October, p. 261-264.
8. Panov A. P., Ponomarenko S. A. On the Application of Non-Hamiltonian Unnormalized Quaternions of the Half-Rotation in the Strapdown Inertial Systems // IEEE 3-rd International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). Proceedings. Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 265-291.
9. Jie Su A. Stealthy GPS Spoofing Strategy for Manipulating the Trajectory of an Unmanned Aerial Vehicle // Jie Su, Jianping He, Peng Cheng, Jiming Chen. IFAC-PapersOnLine. 2016, Vol. 49 (22), pp. 291-296.
10. Gunchenko Yu.A. S.A., Shvorov V.I., Zagrebnyuk V.U. Kumysh, E.S. Lenkov Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring" / Yu.A. Gunchenko, // 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 – Proceedings, Kyiv. 2015, 13-15 october, p. 262-265.
11. Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshetyuk, V., Oksana, B. Technologies for environmental monitoring of the city/ Pasichnyk, N., //2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, p. 40–43, 9385213
12. Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Yu., Kuznichenko S. 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), – Proceedings, Kyiv. 2018, 13-15 october, p. 68-71 , <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>.

**D.Sci. Tech., prof. Shvorov S.A., PhD Pasichnyk N.A.,  
PhD Opryshko O.O., Glugan F.V., Yukhimenko A.C.**

#### **NAVIGATION INFORMATION TECHNOLOGY AND UAV FLIGHT CONTROL ON THE BASIS OF SPECTRAL PORTRAITS OF THE LOCATION**

*The article proposes information technology for navigation and flight control of UAVs based on spectral portraits of the area. The urgency of the work is caused by the appearance in wide access of robotic unmanned aerial vehicles, which creates fundamentally new challenges for the failure of navigation equipment. This makes it possible for a terrorist group to organize even an effective cyber attack on the navigation and control system of several UAVs. In addition, existing solutions for UAV flight control by a radio operator can be relatively easily blocked by electronic warfare (EW) means by arranging electromagnetic interference for the control channel.*

*A possible solution to protect terrorist groups from EW is to use the proposed information navigation technology based on spatial-spectral portraits of the area, when the UAV focuses on pre-loaded libraries of*

*landmarks in the area. In the case of using a small number of reference points or landmarks, they can be falsified or destroyed, but when using a large number of objects, taking into account not only their geometry but also spectral portrait, their falsification in the event of failure of navigation equipment and use of EW by terrorist groups. complicated. It has been experimentally established that the influence of the state of illumination on the spectral parameters of objects should be taken into account when using the most common and cheapest spectral sensors in the optical range. Based on these considerations, the aim of the research is to develop a methodological approach to the correction of lighting effects to determine in the optical range of spectral portraits of objects.*

*The research was carried out in the laboratory and directly on the experimental field hospital, as a result of which the dependences of the intensity of color components on the value of LightValue were established on the example of a gray pattern (saturation 69%).*

*It has been experimentally confirmed that when the lighting changes, the calibration of spectral data based on service data from the camera can be performed for different camera models. For the practical needs of spatial-spectral navigation, the correction when the lighting changes is expedient to carry out using experimentally obtained dependences for a specific model of sensor equipment. When organizing the navigation system of the UAV on the basis of spatial-spectral portraits, it is advisable to choose as objects of orientation those that have the most stable spectral indicators.*

*Keywords: information technology, navigation and control, UAV, cameras, spectral portraits of the area.*

## ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

УДК 355. 53

к.військ.н., доц. **Зайцев Д.В.** (ВІКНУ)  
к. фіз. вих. і спорту, доц. **Добровольський В.Б.** (ВІКНУ)  
к.психол.н. **Мельник Я.І.** (ВІКНУ)  
к.е.н. **Сизов А.І.** (ВІКНУ)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2021/71-11>

### ВПРОВАДЖЕННЯ ФАХОВОГО КУРСУ ТАКТИЧНОГО РІВНЯ L-1B ЯК ОСНОВА ДОПІДГОТОВКИ КУРСАНТІВ ЗА СТАНДАРТАМИ НАТО

*В статті розкриваються мета, зміст, основні положення організації та проведення фахового курсу професійної військової освіти тактичного рівня (L-1B) (допідготовка курсантів) з курсантами Військового інституту, які не пройшли вступні випробування на навчання за освітнім рівнем “магістр” на базі Військового інституту за всіма спеціальностями на випускових кафедрах Військового інституту. Розглянуті завдання, що поставлені начальникам випускових кафедр Військового інституту спільно з начальниками кафедр загальновійськових дисциплін, фізичного виховання, спеціальної фізичної підготовки і спорту та спеціальної мовної підготовки щодо розробки навчальної план-програми фахового курсу професійної військової освіти тактичного рівня L-1B за всіма спеціальностями. Визначені умови використання навчальної план-програми; наведений загальний розрахунок навчального часу за курс; визначений перелік змістових модулів, у змісті яких детально визначаються кінцеві результати навчання; надаються деякі особливості методики проведення занять, види контролю, рекомендована література тощо.*

*Обґрунтовано структуру, визначено порядок використання навчальної Програми навчання слухачів на курсі тактичного рівня L1-B професійної військової освіти Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, визначено зміст та час на вивчення модулів та змістових модулів, наведено порядок оцінювання успішності навчання слухачів курсу професійної військової освіти за всіма спеціальностями.*

*Наводяться вимоги Програми професійної військової освіти ПВО та очікуваний кінцевий результат вмінь та навичок вивчення модулів «Індивідуальна загальновійськова підготовка», «Індивідуальна фахова підготовка», «Колективна фахова підготовка». Крім того надаються деякі рекомендації щодо розробки плану-програми фахової підготовки сержантського (старшинського) складу (курс лідерства середнього рівня) та плану-програми фахової підготовки офіцерського складу (L-1B).*

*Ключові слова: фаховий курс тактичного рівня, первинні посади офіцерського складу, план-програма фахової підготовки, курси лідерства офіцерського складу, змістовий модуль навчання.*

**Вступ.** L-1B – фаховий курс тактичного рівня (взвод) (TLP – Troop Leading Process). На курсі здійснюється підготовка осіб на первинні посади офіцерського складу за відповідною військово-обліковою спеціальністю (групою військово-облікових спеціальностей) у ВВНЗ та ВВП ЗВО тактичного рівня.

Програма навчання слухачів на курсі професійної військової освіти (ПВО) ґрунтується на вимогах професійного стандарту [1] за визначеною спеціальністю щодо формування загально-професійних та військово-спеціальних компетентностей випускника та підготовки зі всіх спеціальностей.

Програма навчання включає чотири модулі.

- 1-й – базова загальновійськова підготовка;
- 2-й – індивідуальна загальновійськова підготовка;
- 3-й – індивідуальна фахова підготовка;
- 4-й – колективна фахова підготовка



По завершенню навчання екзаменаційною комісією ВВНЗ за участю замовника проводиться атестація слухачів.

Плани-програми фахової підготовки сержантського (старшинського) складу (курс лідерства середнього рівня) та офіцерського складу (курс лідерства офіцерського складу) розробляються з метою вдосконалення фахових компетентностей, практичних навичок випускників для виконання посадових обов'язків за майбутньою посадою.

Виконання плану-програми фахової підготовки офіцерського складу (курсу лідерства офіцерського складу) здійснюється за рахунок загального резерву часу, під час отримання відповідного ступеня вищої (фахової передвищої) освіти. За результатами навчання за цією програмою видається свідоцтво про проходження навчання за планом-програмою фахової підготовки офіцерського складу.

План-програма фахової підготовки L1-B розробляється робочою групою, яка складається з представників замовників на підготовку військових фахівців за спеціальністю та погоджується з директором Департаменту військової освіти і науки МО України та затверджується замовником на підготовку відповідних фахівців.

Контрольні заходи є необхідним елементом зворотного зв'язку в освітньому процесі. На курсах ПВО L-рівня використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, самоконтроль, підсумковий. Формами контролю знань є: усне та письмове опитування, тестові завдання (у тому числі комп'ютерне тестування), есе, захист індивідуальних, групових та колективних проєктів, диференційовані заліки.

Вхідний контроль проводиться в перший день шляхом відпрацювання тестових завдань (для перевірки початкового рівня знань) та перевірки рівня фізичної підготовленості;

Поточний контроль проводиться під час всіх видів занять у формі: контрольних опитувань, літчонок та співбесід з окремих питань. Засоби поточного контролю: тестові завдання, виступи (есе) на семінарах, круглих столах та відповіді на групових і практичних заняттях.

Самоконтроль, передбачає відповіді на питання для самоконтролю, визначені електронними підручниками, тестовими програмами та друкованими навчальними виданнями;

Підсумковий контроль за модуль здійснюється проведенням презентації письмових робіт, захистом індивідуальних і колективних проєктів, есе, проведенням заліку (екзамену).

Після завершення курсу проводиться підсумкова атестація. Для її проведення начальником ВВНЗ призначається комісія, до складу якої входять: академічний директор курсу та представники кафедр, які приймали участь у підготовці слухачів, а також представник замовника на підготовку відповідних військових фахівців.

Підсумкова атестація включає: захист академічного дослідження (презентація результатів індивідуального дослідження та відповіді на питання); підсумкове оцінювання результатів навчання на курсах ПВО включає комплексний підсумковий екзамен (підсумкове тестування) і складається із суми балів, отриманих за виконання індивідуальних завдань та контрольних заходів, передбачених робочою програмою навчальної дисципліни за 100-бальною шкалою та національною шкалою

Загальна оцінка за курс ПВО L-рівня складається з результатів підсумкового тестування та захисту академічної роботи (де вона визначена ВВНЗ) з урахуванням оцінок, отриманих слухачами за кожний модуль (частка оцінки кожного модулю враховується, виходячи з часу, виділеного на вивчення відповідного модулю).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка задачі.** Відповідно до вимог наказу Міністерства оборони України від 30.11.2020 № 448 «Про організацію та проведення курсів професійної військової освіти та підвищення кваліфікації військовослужбовців та працівників Збройних Сил України у 2021-2022 роках», Каталогу курсів професійної військової освіти та підвищення кваліфікації військовослужбовців та працівників Збройних Сил України у вищих військових навчальних закладах та військових навчальних підрозділів закладів вищої освіти, затвердженого першим заступником Міністра оборони України від

10.12.2020 № 19057/з (№ 29552/С від 11.12.2020), впровадження в освітній процес передових методик підготовки персоналу збройних сил держав-членів НАТО з 01 вересня 2021 року розпочати проведення фахового курсу тактичного рівня L1-B з громадянами України, які мають ступінь вищої освіти не нижче «бакалавр» і за станом здоров'я придатні для проходження військової служби на посадах молодшого офіцерського складу Збройних Сил України терміном навчання 12 місяців.

Аналіз публікацій [2-9] свідчить, що і в керівних документах ГШ ЗС України [2], і в розроблених військових (навчальних) посібниках [3], і в наукових публікаціях [4-9] розкриваються питання та деякі проблеми впровадження стандартів НАТО в повсякденну діяльність ЗС України, підготовку військ (сил), освітній процес ВВНЗ (ВНП ЗВО) тощо. Але питанню впровадження фахового курсу тактичного рівня L-1B як основи допідготовки курсантів за стандартами НАТО не розглядалися. Саме цьому аспекту й присвячена стаття.

Військовий інститут імені Тараса Шевченка як один з провідних військових ВВНЗ України є в авангарді курсової підготовки курсантів. Розроблена План-програма фахової підготовки офіцерського складу є лакмусом спроможностей академічного директора фахового курсу, директорів модулів фахового курсу та відповідальних за виконання навчальної план-програми курсу виконати наказ начальника Військового інституту КНУ імені Тараса Шевченка № 90Н від 09.08.2021 року [10].

**Метою статті є:** обґрунтування структури, визначення порядку використання навчальної Програми навчання слухачів на курсі тактичного рівня L1-B професійної військової освіти Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, визначення змісту та часу на вивчення модулів та змістових модулів, порядку оцінювання успішності навчання слухачів курсу професійної військової освіти за будь-якою спеціальністю.

**Виклад основного матеріалу.** Навчальна план-програма є єдиним документом, в якому узагальнюється зміст підготовки слухачів курсу професійної військової освіти (L1-B) за всіма військово-обліковими спеціальностями та вимоги до їхньої компетентності.

Навчальна план-програма використовується під час:

- дистанційного навчання слухачів;
- організації освітнього процесу;
- атестації слухачів курсів.

Загальний розрахунок навчального часу проведений за таких умов:

- календарний обсяг часу підготовки складає 12 навчальних тижнів по 50 годин, всього – 600 навчальних (академічних) годин, з них: 324 годин під керівництвом викладача та 276 години самостійної роботи.

Кількість календарних тижнів навчання, час для проведення комплексного випускного екзамену та його форма можуть бути змінені відповідно до вимог Міністра оборони України, начальника Генерального штабу Збройних Сил України.

Основні складові фахової підготовки та терміни її проведення у 2021 році:

- військова практика (01.08-31.08);
- теоретичне навчання (01.09-04.10);
- посилена підготовка випускників (05.10-28.10), на базі 169 НЦ смт. Десна (05.10-14.10), у військових частинах Замовника (15.10-28.10);
- військове стажування (29.10-28.11);
- теоретичне навчання (29.11-14.12).

Навчальна план-програма містить перелік змістових модулів, у змісті яких детально визначаються:

- кінцевий результат навчання (знати, уміти) за вивченням змістового модуля;
- тематичні плани вивчення змістового модуля (розподіл навчального часу за змістовими модулями, темами та видами навчальних занять);
- особливості методики проведення занять та види контролю;
- рекомендована література.

Розглянемо модулі, змістові модулі (ЗМ) навчання та час на їх відпрацювання:

**Модуль 1.** Індивідуальна загальновійськова підготовка – 180 год.

ЗМ 1 - Управління підрозділами під час підготовки та ведення бою (дій) (рота) – 90 год.

ЗМ 2 - Безпека військової діяльності – 60 год.

ЗМ 3 - Фізичне виховання та спеціальна фізична підготовка – 30 год.

В результаті вивчення модулю 1 слухачі повинні:

- **знати:** сутність, цілі та завдання військового управління, систему управління військами, вимоги до неї; роботу командира і штабу по прийняттю рішення та доведенню бойових завдань; вимоги керівних документів щодо організації управління підрозділами під час підготовки та ведення бою (дій); теоретичні основи безпеки військової діяльності; особливості забезпечення безпеки військової діяльності підрозділів під час виконання заходів службово-бойової діяльності; вимоги керівних документів щодо забезпечення безпеки військової діяльності.

- **вміти:** використовувати на практиці положення основ управління при виконанні своїх обов'язків під час підготовки та веденні бойових дій військами (силами), в тому числі з урахуванням досвіду застосування ЗСУ в ООС (АТО); використовувати на практиці методологію прийняття рішень в різних умовах обстановки; використовувати у своїй повсякденній роботі форми та методи управлінської діяльності; розробляти, оформлювати та користуватися бойовими документами з урахуванням досвіду застосування ЗСУ в ООС (АТО); організувати дотримання безпеки військової діяльності в підрозділі; організувати заходи безпеки при проведенні стрільб, водіння та експлуатації бойових машин, ремонті озброєння і військової техніки.

**Модуль 2.** Індивідуальна фахова підготовка – 180 год.

ЗМ 1 - Морально-психологічне забезпечення (МПЗ) підготовки та застосування Збройних Сил України – 60 год.

ЗМ 2 - Спільна доктрина цивільно-військового співробітництва у відповідності до стандарту НАТО – 60 год.

ЗМ 3 - Євроатлантична інтеграція України – 30 год.

ЗМ 4 - Іноземна мова – 30 год.

В результаті вивчення модулю 2 слухачі повинні:

- **знати:** вимоги керівних документів щодо організації та проведення заходів МПЗ; особливості керівництва, організації та проведення МПЗ в підпорядкованих підрозділах; причини створення та мету діяльності НАТО, його місце та завдання у галузі безпеки; структуру НАТО, організаційно-правове забезпечення її функціонування; стандарти НАТО (STANAG) як вияв ефективної системи управління; історичні та політичні передумови розширення НАТО, переваги членства в Альянсі; історію, політичні та правові засади євроатлантичної інтеграції України; основні програми та проекти військового співробітництва Збройних Сил України з НАТО та пріоритетні завдання співробітництва з військовими структурами Альянсу; особливості організації та проведення заходів МПЗ підготовки та застосування підрозділів Збройних Сил України; лексику за темами згідно з програмою, що є необхідними у професійному спілкуванні; граматичні структури, що є необхідними для вираження відповідних функцій та понять; правила синтаксису.

- **вміти:** застосовувати знання в професійній діяльності у стандартних та окремих нестандартних ситуаціях; здійснювати керівництво, організацію та проведення морально-психологічного забезпечення в підпорядкованих підрозділах; організувати та проводити заходи морально-психологічного забезпечення підготовки та застосування підрозділів ЗСУ; формувати в особового складу впевненість в правильності прийнятих рішень командування, у надійності та ефективності штатної зброї і бойової техніки, зміцнення віри у перемогу над противником; сформувати здатність у військовослужбовців застосовувати загальнолюдські цінності, високоморальні гуманні норми поведінки у взаєминах з товаришами по службі, розвивати національну гідність і гордість, патріотизм, готовність захищати українську державу і народ України; визначати можливості отримання ефективної допомоги від керівних

органів Організації Північноатлантичного Договору, оборонних та військових відомств країн-членів НАТО щодо розв'язання проблем, виявлених під час застосування ЗС України в районі проведення ООС (АТО); переконливо доводити до підлеглих та громадян України переваги перебування української держави у складі Північноатлантичного Альянсу з точки зору як забезпечення гарантованої національної безпеки, надійної оборони, так і всебічної модернізації політичної, економічної, соціальної та правової систем; самостійно розв'язувати поставлені завдання, нести відповідальність за прийняті рішення; формулювати аргументовані твердження, давати письмові вказівки; розпізнавати важливу інформацію під час обговорень, дискусій, лекцій, бесід, що пов'язані з навчанням та професією.

**Модуль 3.** Колективна фахова підготовка.

ЗМ 1 - Військова практика (на посадах за фахом) – 180 год.

ЗМ 2 - Посилена практична підготовка випускників – 180 год.

ЗМ 3 - Військове стажування (на посадах за фахом) – 180 год.

Комплексний підсумковий екзамен – 6 год.

Послідовність вивчення змістових модулів визначається міждисциплінарними зв'язками, які передбачають логічну послідовність вивчення ключових тем змістових модулів, забезпечують формування професійних компетентностей слухачів та використовуються кафедрами для управління процесом навчання слухачів. Реалізація міждисциплінарних зв'язків здійснюється у розкладі занять, що корегується за підсумками вхідного та поточного контролів.

Задля підвищення зацікавленості та ефективності навчальних занять варто застосовувати технічні засоби навчання та навчально-тренувальні засоби (макети, діючі стенди, цифрові лінгафонні кабінети, відеозаписи, засоби звукозапису та відтворення, імітаційні та інші засоби).

Самостійна робота слухачів на курсі організовується з метою закріплення, поширення та поглиблення знань та вмінь, отриманих ними на заняттях під керівництвом викладача. Самостійні завдання повинні бути забезпечені навчальною літературою, а також розробленими на кафедрах підручниками, навчальними посібниками та курсами лекцій.

Оцінювання успішності навчання здійснюється за допомогою модульно-рейтингового контролю на підставі вимог наказу начальника ВІКНУ від 06.06.2018 №75-н «Про затвердження Положення про систему внутрішнього забезпечення якості освітньої діяльності та якості Вищої Освіти у Військовому інституті Київського національного університету імені Тараса Шевченка» [11].

Методи вхідного контролю: тестування, усна співбесіда на військово-професійну тематику. Методи поточного контролю: усне опитування, письмовий експрес контроль. Методи модульного (рубіжного) контролю: контрольна робота, тестування, контрольне завдання. Методи самоконтролю: питання самоконтролю. Метод підсумкового контролю: комплексний екзамен.

У разі не складання одного із завдань вступного контролю офіцер вважається непридатним і до занять не допускається.

Чисельність науково-педагогічних працівників, для проведення навчальних занять згідно плану-програми фахової підготовки офіцерського складу, вдосконалення практичної підготовки курсантів та проведення інших навчальних заходів за планами ВВНЗ визначається розрахунком обсягу навчального навантаження науково-педагогічних працівників та щорічно враховується під час відпрацювання змін до штатів.

**Висновки.** В статті розкриті мета, зміст, основні положення організації та проведення фахового курсу професійної військової освіти тактичного рівня (L-1B) з курсантами Військового інституту, які не пройшли вступні випробування на навчання за освітнім рівнем “магістр” на базі Військового інституту за всіма спеціальностями на випускових кафедрах Військового інституту у 2021 році.

Авторським колективом була ретельно розглянута Програма підготовки проведення фахового курсу ПВО за всіма спеціальностями, запропоновані зміни за всіма модулями та

змістовими модулями. Зміни погоджені з начальниками випускових кафедр, обговорені на кафедрах та прийняті на міжкафедральній нараді для використання в освітньому процесі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Настанова з підготовки персоналу у Збройних силах України. ВКП 7-00(01).01. Головне управління доктрин та підготовки ГШ Збройних сил України. К.: 2020, 52 с.
2. Доктрина підготовки сил оборони держави (введена в дію наказом Генерального штабу Збройних Сил України від 21.01.2020 № 18). К.: 2020, 37 с.
3. Військовий посібник ГШ ЗС України про стандарти ведення бойових дій у ЗС держав НАТО (ВП 2.01.3; ВП 3.21.20; ВП 5.0А) / Генеральний Штаб Збройних сил України. – К.: ГШ ЗСУ, 2017.
4. Ягупов В.В. Імітаційні методи активізації навчально-пізнавальної діяльності. Режим доступу: [https://eduknigi.com/ped\\_view.php?id=200](https://eduknigi.com/ped_view.php?id=200)
5. Розвиток законодавства України у сфері оборони: проблеми адаптації до стандартів НАТО та шляхи їх вирішення : матеріали науково-практичної конференції. м. Київ, 23 квітня 2021 р. / упоряд.: П. П. Богущкий, В. Г. Пилипчук, С. О. Дорогих. – Київ, 2021. – 376 с.
6. Поліщук Л.І., Климович О.К., Богущкий С.М., Пащетник О.Д. Процес прийняття рішення на ведення бойових дій в сухопутних військах збройних сил країн НАТО. Озброєння та військова техніка – 2018. – №4 (20). – с.3-8.
7. Садовський М.С. Проблеми впровадження стандартів НАТО в функціонування Збройних Сил України / М.С. Садовський // Системи управління, навігації та зв'язку – 2016. – №1 (37). – с. 38-42.
8. Труш О.О., Кошкін А.О. Системи підтримки прийняття рішень органами державного управління в умовах надзвичайних ситуацій (інцидентів) / О.О. Труш, А.О. Кошкін // Теорія та практика державного управління – 2013. – №4. – с. 256-259.
9. Хижняк В.В. Проблеми впровадження в Україні військової системи стандартизації НАТО / В.В. Хижняк // Системи озброєння і військова техніка – 2005. – №2. – с. 3-6.
10. Наказ начальника Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка №90-н від 09.08.2021 р. «Про організацію фахового курсу професій-ної військової освіти тактичного рівня (L-1В) (допідготовка курсантів)». К.: ВІКНУ – 2021.
11. Наказ начальника Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка №75-н від 06.06.2018 р. «Про затвердження Положення про систему внутрішнього забезпечення якості освітньої діяльності та якості Вищої Освіти у Військовому інституті Київського національного університету імені Тараса Шевченка». К.: ВІКНУ – 2018.

#### REFERENCES:

1. Guidelines for the training of personnel in the Armed Forces of Ukraine. VKP 7-00 (01) .01. Main Directorate of Doctrines and Training of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine. K.: 2020 - 52 p.
2. The doctrine of training of the state defense forces (put into effect by the order of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine dated 21.01.2020 № 18). K. : 2020, 37 p.
3. Military manual of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine on the standards of combat operations in the Armed Forces of NATO (VP 2.01.3; VP 3.21.20; VP 5.0A) / General Staff of the Armed Forces of Ukraine. - K. : ГШ ЗСУ, 2017.
4. Yagupov VV Simulation methods of activating educational and cognitive activities. Access mode: [https://eduknigi.com/ped\\_view.php?id=200](https://eduknigi.com/ped_view.php?id=200)
5. Development of Ukrainian legislation in the field of defense: problems of adaptation to NATO standards and ways to solve them: materials of the scientific-practical conference. Kyiv, April 23, 2021 / edited by: PP Bogutsky, VG Pylypchuk, SO Dorogykh. - K.,: 2021 - 376 p.
6. Polishchuk LI, Klimovich OK, Bogutsky SM, Pashchetnik OD The decision-making process for combat operations in the ground forces of NATO forces. Arms and military equipment - 2018. - №4 (20). - p.3-8.
7. Sadovsky MS Problems of implementation of NATO standards in the functioning of the Armed Forces of Ukraine / MS Sadovsky // Control, navigation and communication systems - 2016. - №1 (37). - p.38-42.
8. Trush OO, Koshkin AO Systems of support for decision-making by public administration bodies in conditions of emergencies (incidents) / O.O. Trush, A.O. Koshkin // Theory and practice of public administration - 2013. - №4. - p.256-259.

9. Khizhnyak VV Problems of implementation of the NATO military standardization system in Ukraine / V.V. Khyzhnyak // Weapons systems and military equipment - 2005. - №2. - p.3-6.

10. Order of the Head of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv №90-n dated 09.08.2021 "On the organization of a professional course of professional military education of the tactical level (L-1B) (additional training of cadets)". K : MI KNU - 2021.

11. Order of the Head of the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv №75-n dated 06.06.2018 "On approval of the Regulations on the system of internal quality assurance of educational activities and the quality of Higher Education at the Military Institute of the Taras Shevchenko National University of Kyiv". K .: MI KNU - 2018.

**PhD Zaitsev D.V., PhD Dobrovolskyi V.B., PhD Melnyk Y.I., PhD Sizov A.I.**  
**INTRODUCTION OF THE T-LEVEL AS A BASIS FOR STUDENT TRAINING ACCORDING TO  
NATO STANDARDS**

*The article reveals the purpose, content, main provisions of the organization and conduct of a professional course of professional military education of tactical level (L-1B) (additional training of cadets) with cadets of the Military Institute who have not passed entrance examinations for training at the level of "master" in all specialties at the graduating departments of the Military Institute. Considers the tasks set for the heads of graduating departments of the Military Institute together with the heads of departments of general military disciplines, physical education, special physical training and sports and special language training to develop a curriculum for professional military education of tactical level L-1B in all specialties.*

*Defines the conditions of use of the curriculum; the general calculation of study time for the course is given; a list of content modules is defined, in the content of which the final learning outcomes are determined in detail; some features of the methodology of classes, types of control, recommended literature, etc. are provided. Substantiates the structure, defines the procedure for using the Curriculum of students in the course of tactical level L1-B professional military education of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, defines the content and time for studying modules and content modules. military education in all specialties.*

*The article substantiates the structure, defines the procedure for using the Curriculum of students in the course of tactical level L1-B professional military education of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, defines the content and time for studying modules and content modules. military education in all specialties.*

*Key words: professional course of tactical level, primary positions of officers, plan-program of professional training, leadership courses of officers, content training module.*

## ДАНІ ПРО АВТОРІВ

**Банзак Оксана Вікторівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку. ORCID: 0000-0002-6649-5013.

**Бондаренко Тетяна Василівна**, науковий співробітник наукового центру Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. ORCID: 0000-0002-2879-2041.

**Браун Вадим Олегович**, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0003-4819-2002.

**Вайвала Єлизавета Юріївна**, магістрантка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

**Глуган Федір Васильович**, провідний інженер Національного центру управління та випробувань космічних засобів. ORCID: 0000-0002-7557-7360.

**Добровольський Віктор Брониславович**, кандидат наук з фізичного виховання і спорту, доцент, начальник факультету післядипломної освіти Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, полковник. ORCID: 0000-0002-4162-3920.

**Єфименко Надія Анатоліївна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Якості, стандартизації та управління процесами Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. ORCID: 0000-0002-2369-5373.

**Зайцев Дмитро Володимирович**, кандидат військових наук, доцент, доцент кафедри, факультет післядипломної освіти, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0002-3784-5790.

**Зінчик Андрій Григорович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0003-4029-2282.

**Катаєва Марія Олександрівна**, кандидат технічних наук, докторант кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій Національного авіаційного університету. ORCID: 0000-0002-1586-1861.

**Козубцова Леся Михайлівна**, кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та математики Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут. ORCID: 0000-0002-7866-8575.

**Коноваленко Олексій Іванович**, в/ч А 3814. ORCID: 0000-0002-2179-5477.

**Кошовий Микола Дмитрович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «Харківський авіаційний інститут». ORCID: 0000-0001-9465-4467.

**Лаврінчук Олександр Васильович**, полковник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник начальник центру імітаційного моделювання Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського.

**Ленков Євген Сергійович**, кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник наукового центру Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України. ORCID: 0000-0001-5819-2656.

**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: 0000-0001-7689-239X.

**Малкова Ганна Вікторівна**, аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, Національний аерокосмічний університет ім. М.С.Жуковського «Харківський авіаційний інститут». ORCID: 0000-0003-3377-0901.

**Мельник Ярослав Іванович**, кандидат психологічних наук, начальник кафедри загальновійськових дисциплін факультету післядипломної освіти Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, підполковник. ORCID: 0000-0003-3704-2856.

**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: 0000-0002-3969-9758.

**Мясищев Олександр Анатолійович**, доктор технічних наук, професор, професор Хмельницького політехнічного фахового коледжу Національного університету "Львівська політехніка". ORCID: 0000-0003-1269-425X.

**Овчарук Вадим Володимирович**, доктор економічних наук, доцент, професор кафедри ММП, Національний університет «Львівська політехніка». ORCID: 0000-0002-7404-2508.

**Опришко Олексій Олександрович** к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем Національний університет біоресурсів і природокористування України. ORCID: 0000-0001-6433-3566.

**Пампуха Ігор Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0002-4807-3984.

**Пасічник Наталія Анатолівна**, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва, Національний університет біоресурсів і природокористування України. ORCID: 0000-0002-2120-1552.

**Сєлюков Олександр Васильович**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, професор кафедри Національний університет біоресурсів і природокористування України. ORCID: 0000-0001-7979-3434.

**Сизов Алім Іванович**, кандидат економічних наук, начальник кафедри фінансового забезпечення військ військового факультету фінансів і права Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, полковник. ORCID: 0000-0002-6400-3951.

**Солодєєва Людмила Василівна**, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0002-7979-8443.

**Степаненко Євгеній Олександрович**, кандидат технічних наук, командувач військ зв'язку та кібербезпеки Збройних Сил України. ORCID: 0000-0003-1993-2441.

**Толок Ігор Вікторович**, кандидат педагогічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, Лауреат Державної премії України в галузі освіти, начальник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0001-6309-9608.

**Федорієнко Віталій Анатолійович**, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу проблем розвитку інформаційних технологій науково-дослідного управління проблем розвитку інформаційних технологій та впровадження проектів інформатизації Збройних Сил України Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського.

**Федченко Олексій Петрович**, кандидат військових наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка. ORCID: 0000-0003-1343-3828.

**Цюпа Наталія Володимирівна**, кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». ORCID: 0000-0002-3215-0711.



**Шворов Сергій Андрійович**, доктор технічних наук., професор, професор кафедри автоматики та робототехнічних систем, Національний університет біоресурсів і природокористування України. ORCID: 0000-0003-3358-1297.

**Шмідке Володимир Сергійович**, аспірант Національного авіаційного університету.

**Юхименко Ганна Святославівна**, аспірантка кафедри автоматики та робототехнічних систем Національного університету біоресурсів і природокористування України. ORCID: 0000-0003-0638-3420.

#### Алфавітний покажчик

<b>Банзак О.В.</b>	<b>5</b>	<b>Кошовий М.Д.</b>	<b>31</b>	<b>Сєлюков О.В.</b>	<b>5</b>
<b>Бондаренко Т.В.</b>	<b>11</b>	<b>Лаврінчук О.В.</b>	<b>78</b>	<b>Сизов А.І.</b>	<b>96</b>
<b>Браун В.О.</b>	<b>68</b>	<b>Лєнков Є.С.</b>	<b>11</b>	<b>Солодєєва Л.В.</b>	<b>68</b>
<b>Вайвала Є.Ю.</b>	<b>49</b>	<b>Лєнков С.В.</b>	<b>11</b>	<b>Степаненко Є.О.</b>	<b>37</b>
<b>Глуган Ф.В.</b>	<b>88</b>	<b>Малкова Г.В.</b>	<b>31</b>	<b>Толок І.В.</b>	<b>68</b>
<b>Добровольський В.Б.</b>	<b>96</b>	<b>Мельник Я.І.</b>	<b>96</b>	<b>Федорієнко В.А.</b>	<b>78</b>
<b>Єфіменко Н.А.</b>	<b>5</b>	<b>Мірошніченко О.В.</b>	<b>68</b>	<b>Федченко О.П.</b>	<b>78</b>
<b>Зайцев Д.В.</b>	<b>96</b>	<b>Мясищев А.А.</b>	<b>37</b>	<b>Цьопа Н.В.</b>	<b>49</b>
<b>Зінчик А.Г.</b>	<b>11</b>	<b>Овчарук В.В.</b>	<b>37</b>	<b>Шворов С.А.</b>	<b>88</b>
<b>Катаєва М.О.</b>	<b>22</b>	<b>Опришко О.О.</b>	<b>88</b>	<b>Шмідке В.С.</b>	<b>49</b>
<b>Козубцова Л.М.</b>	<b>59</b>	<b>Пампуха І.В.</b>	<b>68</b>	<b>Юхименко А.С.</b>	<b>88</b>
<b>Коноваленко О.І.</b>	<b>5</b>	<b>Пасічник Н.А.</b>	<b>88</b>		

## УВАГА!

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.

**УВАГА! ЗМІНИЛИСЯ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ!**  
(Статті, що не відповідають вимогам, прийматися до розгляду не будуть!)

## 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 – не менше 6 повних аркушів* українською або англійською мовами.

Формат аркуша - **A4 (210 x 297 мм)**.

Розмір полів: верхнє, нижнє, праве, лівє – **2 см**.

Основний шрифт – **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;**

**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, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття, формулювання цілей 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** трьома 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 15 %.

Якщо основною мовою статті є українська або російська, 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, завіреним печаткою

**У відомостях про авторів** (українською та англійською мовами) наводиться:

- прізвище, ім'я та по батькові;
- науковий ступінь, вчене звання, почесні звання;
- посада та назва установи, де працює автор, її місце розташування (місто, країна);
- обліковий запис автора ORCID;
- адреса електронної пошти, контактний телефон.

### **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 Khudarkovskiy, 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 [Электронный 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 жестами. 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.**

Таблиці УВАГА! Таблиці і рисунки друкують після посилань. Якщо у статті кілька таблиць чи рисунків - їх нумерують. Заголовки таблиць і рисунків необхідно розміщувати 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., Цицарєв 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., Цицарєв 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. Ljenkov, S.V., Tolok, I.V., Tsytsarev, V.N. and Ljenkov, 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., Ljenkov, Je.S., Cysarjev, V.M. and Procenko, Ja.M. (2017), "Modeljuvannja procesu vidmov ob'ektiv, shho vidnovljujut'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'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 55, pp. 30-39.

11 пт  
курсів,  
журний

### Prof. Stepanov S.V., Ph.D. Ukrainets O.V., Ph.D. Salenko V.D. 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 (прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи) наводяться трьома мовами: українською, англійською), ORCID (<https://ORCID.org>)

11 пт

#### **ЗРАЗОК**

**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, [stepanov@ukr.net](mailto:stepanov@ukr.net), 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](mailto:ukr@ukr.net), 073 556 6776.

**Саленко Володимир Дмитрович**, кандидат технічних наук, науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID – 0000-1201-6512-1236, [salenko@ukr.net](mailto:salenko@ukr.net), 0938763423.

**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**

**№ 71**

Усі матеріали надруковані в авторській редакції.  
Деякі статті не рецензуються, у зв'язку з пріоритетною кваліфікацією  
авторів або через сумніви редколегії у змісті.

---

Підписано до друку 31.08.21 р.  
Авт. друк. Арк. 11. Формат 60x90/8  
Безкоштовно. Замовлення № 10-2012

---

Надруковано у навчальному картографічному комплексі ВІКНУ

03189, Київ, вул. Ломоносова 81

т. 521-32-89