

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

№ 69

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 – 2020

УДК621.43

ББК 32-26.8-68.49

Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2020. № 69. 134 с.

Голова редакційної колегії:

Ленков 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, ДУТ;
Гунченко Ю.О. доктор технічних наук, доцент, 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)
Лепіх Я.І. доктор фізико-математичних наук, професор, ОНУ;
Петров О.С. доктор технічних наук, професор, УНТ, Краків (Польща)
Погорілий С.Д. доктор технічних наук, професор, КНУ;
Толок І.В. кандидат педагогічних наук, доцент, ВІКНУ;
Хайрова Н.Ф. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП»;
Хлапонін Ю.І. доктор технічних наук, професор, КНУБіА;
Шаронова Н.В. доктор технічних наук, професор, НТУ «ХП».

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

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

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», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата технічних наук.

Затверджено на засіданні вченої ради ВІКНУ від 17.12.2020р., протокол № 6.

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, науковій бібліотеці ім. М. Максимовича та у бібліотеці Військового інституту. 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

Banzak O.V., Sieliykov O.V., Olenev M.V., Dobrovolskaya S.V., Konovalenko O.I. Research processes of gamma radiation detector for developing a portable digital spectrometer	5
Lienkov S.V., Tolok I.V., Banzak G.V., Koltsov R.Yu., Lienkov E.S., Dobrovolskaya S.V. Justification optimal parameters of regulated maintenance strategy.....	13
Боровик О.В., Боровик Д.О. Удосконалення науково-методичного апарату розкриття невизначеності в задачах взаємодії.....	23
Данілов Ю.О., Хроль Л.О., Бологов А.В., Мошной С.В., Солодєєва Л.В. Моделювання функціонального циклу застосування бойової машини мобільного комплексу озброєння..	42
Кошовий М.Д., Малкова Г.В. Застосування методу гравітаційного пошуку для мінімізації вартості проведення багатofакторного експерименту.....	51
Якимчук Н.М., Торошанко А.І. Методи ідентифікації та комплексної діагностики телекомунікаційних систем.....	58

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Ахмамєтьєва Г.В., Безсонова М.Д. Розробка стеганографічного методу для цифрових зображень на основі перетворення Фур'є.....	66
Дружинін В.А., Степанов М.М., Жиров Г.Б., Ряба Л.О. Алгоритм використання FUZZY LOGIC в моделях управління та прийняття рішень	75
Зацерковний В.І., Пампуха І.В., Попков Б.О., Савков П.А., Погрецька О.В. Формування вимог до геоінформаційних систем військового призначення.....	82
Літвінов Є.А., Сайченко І.О. Використання програмно-конфігурованого радіо для дослідження передачі сигналів у видимому світлі.....	98

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ

Калюга К.В. Профайлінг – як сучасний засіб встановлення особи злочинця.....	110
Черних Ю.О., Черних О.Б. Організація підготовки офіцерських кадрів у збройних силах Канади	116
Дані про авторів.....	125
Алфавітний покажчик.....	127
Порядок подання і оформлення статей до "Збірника наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка".....	128

CONTENTS

MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

Banzak O.V., Sieliykov O.V., Olenev M.V., Dobrovolskaya S.V., Konovalenko O.I. Research processes of gamma radiation detector for developing a portable digital spectrometer	5
Lienkov S.V., Tolok I.V., Banzak G.V., Koltsov R.Yu., Lenkov E.S., Dobrovolskaya S.V. Justification optimal parameters of regulated maintenance strategy	13
Borovik O.V., Borovik D.O. Improvement of the scientific and methodical apparatus of disclosure of uncertainty in the problems of interaction.....	23
Danilov Yu.O., Khrol L.O., Bologov A.V., Moshnoy S.V., Solodeeva L.V. Simulation of functional cycle of application combat machine of the mobile weapons complex.....	42
Koshevoy N.D., Malkova A.V. Application of the gravity search method to minimize the cost of conducting a multifactor experiment.....	51
Yakymchuk N.M., Toroshanko A.I. Methods of identification and comprehensive diagnosis of telecommunication systems.....	58

INFORMATION TECHNOLOGIES

Akhmametieva A.V., Bezsonova M.D. Development of a steganographic method for digital images based on fourier transform.....	66
Druzhynin V.A., Stepanov M.M., Zhyrov G.B., Riaba L.O. Algorithm for using FUZZY LOGIC in management and decision-making models.....	75
Zatserkovny V.I., Pampukha I.V., Popkov B.O., Savkov P.A., Pogretska O.V. Formation of requirements for geoinformation systems of military purpose.....	82
Litvinov E.A., Saichenko I.O. Using software defined radio to study signal transmission in visible light.....	98

GENERAL QUESTIONS

Kaluga K.V. Profiling - as a modern installation means persons of the criminal.....	110
Chernykh J.O., Chernykh O.B. Officers' training in the armed forces of Canada.....	116
Data on authors	125
Alphabetical index.....	127
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"	128

ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

UDC 531:535

D.Sc. **Banzak O.V.** (OSATRQ)
D.Sc. **Sieliykov O.V.** (SE Research Center for Precision Engineering)
Ph.D. **Olenev M.V.** (OSATRQ)
Dobrovolskaya S.V. (OSATRQ)
Konovalenko O.I. (m\b 3814)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2020/69-01>

RESEARCH PROCESSES OF GAMMA RADIATION DETECTOR FOR DEVELOPING A PORTABLE DIGITAL SPECTROMETER

When considering methods of combating the illicit circulation of nuclear materials, it is necessary to detect trace amounts of materials, and in many cases not to seize them immediately, but to establish the place of storage, processing, routes of movement, etc. As a result, there is a new demand for isotope identification measurements to meet a wide range of different requirements. Measurements should be carried out in the field in a short time, when results need to be obtained within tens of seconds. The devices with which the personnel work should be small and low-background. Such requirements appear when working to identify cases of illegal trade in nuclear materials and radioactive sources, as well as when solving radiation protection problems and when handling radioactive devices and waste.

In this work, new generation radiation sensors and measuring systems based on them have been created, which open up previously unknown possibilities in solving problems of nuclear fuel analysis, increasing the accuracy and efficiency of monitoring technological parameters and the state of protective barriers in nuclear power plants, and creating means for IAEA inspections. For the first time a portable digital gamma-ray spectrometer for radiation reconnaissance in the field was developed and created. Distinctive features of such devices are:

The analysis showed that the required value of error due to energy dependence of the sensitivity can be achieved using, for example, Analog Devices 10-bit AD9411 ADCs with a sampling rate of 170 MHz. The number of quantization levels is determined by the requirement to measure the dose rate of gamma radiation with an energy of at least 10 keV. This minimum energy corresponds to the use of 10-bit ADCs.

On the basis of the developed model, an ionizing radiation detector for dosimetry was created. Its fundamental difference from known devices is the use of CdZnTe crystals as a primary gamma-ray converter (sensor). The advantages of such a solution, proved by previous studies, made it possible to create a detector with: high resolution, no more than 40 keV; a wider dynamic range of values of the recorded radiation dose rate - from background to emergency operating modes of the reactor; lower value of the energy equivalent of noise.

Keywords: energy dependence of sensitivity, gamma-ray spectrometer, frequency sampling, ionizing radiation detector

Introduction. The key problem of nuclear power - radiation safety - is solved by ensuring the reliability of protective barriers for the main objects of the technological process of NES functioning: fuel elements, fuel assemblies (FA), coolant transfer circuits, etc.

The new generation radiation sensors and measuring systems created in this work open up previously unknown possibilities in solving problems of nuclear fuel analysis, increasing the accuracy and efficiency of monitoring technological parameters and the state of protective barriers in nuclear power plants, creating means for IAEA inspections.

When considering methods of combating the illicit circulation of nuclear materials, it is necessary to reconsider approaches to the organization of control: today it is necessary to detect trace amounts of materials, and in many cases not to seize them immediately, but to establish the place of storage, processing, routes of movement, etc.

Analysis of previous studies. The level of development and application radiation technologies is largely determined by the state of nuclear instrumentation. In a relatively short period of time, this industry went through several stages of development, and each of them was marked by the emergence of various devices that register and measure parameters of ionizing radiation: gas-discharge counters, scintillators, semiconductor detectors, and others. Their emergence 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 of progress in 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.

Turning on the CdZnTe detector in the mode of operation pulsed proportional ionization chamber makes it possible to significantly increase its sensitivity and expand the dynamic range of values of recorded dose rate from background values to those caused by emergency operating modes of reactor facility. The use of pulsed mode makes it possible to practically implement other possibilities and, first of all, compensation energy dependence of the sensitivity (EDS), so-called "stroke with rigidity".

Currently, dosimetry devices with semiconductor Si-based detection units are mass-produced [1-5]. Advantages of CdZnTe over Si – higher sensitivity and lower energy equivalent of noise [6-8]. However, a large effective atomic number also determines a larger (more than 10) value of the energy dependence of sensitivity (EDS).

The literature describes the method of hardware correction of EDS using a device assembled on discrete elements with a low degree of integration [9]. Such a device is unreliable, expensive, and has a low dynamic range. In this work, a device for digital correction of EDS when the crystal is operating in counting mode is proposed and manufactured on basis of a modern element base.

Main part. Thus, there is a new need for isotope identification measurements to meet a wide range of different requirements. Measurements should be carried out in the field in a short time, when results need to be obtained within tens of seconds. The devices with which the personnel work should be small and low-background. Such requirements appear when cases of illegal trade in nuclear materials and radioactive sources are detected, as well as when solving problems of radiation protection and when handling radioactive waste.

Correction is carried out by changing the pulse frequency at the output of the detecting unit depending on the energy of the registered radiation E_γ :

$$n_{out} = n_{inp} \cdot K(x), \quad (1)$$

where n_{out} – is the pulse frequency at the output of the detecting unit, n_{inp} – is the pulse frequency at the output of the detector preamplifier; $K(x)$ — coefficient of pulse frequency change at the output of the detecting unit; x – number of the channel corresponding to energy E_γ .

The numerical value of the coefficient of change in the pulse frequency at the output of the detecting unit is determined on the basis of the analytical dependence of the ratio of the detector's sensitivity to the recorded gamma radiation $S(E_\gamma, x)$ and the sensitivity to gamma radiation with the energy at which its calibration was carried out $S(E_{\gamma k}, x)$:

$$\varepsilon(E_\gamma) = \frac{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} S(E_\gamma, x) K(x) dx}{\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} S(E_{\gamma k}, x) dx}, \quad (2)$$

where x_{\min} – is the number of channel corresponding to the noise level; $\varepsilon(E_\gamma)$ – preset relative dependence of detector sensitivity on energy.

For the practical implementation of correction output signal of the detecting unit, it is proposed to use piecewise linear interpolation of the given relative analytical dependence of the detector's sensitivity on energy:

$$\varepsilon(E_\gamma) = \left[\frac{S(E_{\gamma_1}, x_1)K(x_1)}{S(E_{\gamma_1}, x_1)K(x_1) + S(E_{\gamma_2}, x_2)K(x_2)} \right] \times \frac{1}{\int_{N_{\min}}^{N_{\max}} S(E_{\gamma_k}, x) dx} \cdot (3)$$

Thus, the task of correcting the energy dependence of the sensitivity is to obtain the value of $K(x)$ for a certain energy range of registered photons E_{γ_j} .

At the first stage, when creating an algorithm for digital correction of the energy dependence of sensitivity, the data on the coefficient $K(x)$, given in table 1 [10] were used.

Table 1

Δx , keV	40÷80	80÷170	170÷350	350÷450	450÷1100	1100÷1500
$K(x)$	0,015625	0,039	0,625	3,875	4,5	22

The relative dependence of the detector's sensitivity on energy is shown in Table 2.

Table 2

E_γ , keV	59	122	166	279	392	662	835	1250
$\varepsilon(E_\gamma)$	1,03	1,00	1,05	0,99	1,04	1,02	0,93	1,00

Thus, it follows from table 2 that the maximum error caused by dependence of the sensitivity of CdZnTe sensor on the energy of gamma radiation (“stroke with stiffness”) is 7% for an energy of 835 keV.

Figure 1 shows the block diagram of first variant of the dosimetric detection unit with digital correction of “stroke with stiffness”. In terms of dimensions and output signals, the developed detector is compatible with the BDMG-41 type detection unit used today [11]. Let's consider the principle of operation one of the variants such a detector.

When ionizing radiation interacts with the sensor material, pulses of negative polarity appear at its output with an amplitude proportional to the energy absorbed in the crystal. The signal taken from the sensor crystal goes to the preliminary charge-sensitive amplifier. Then the signal is amplified in main amplifier (MA) to voltages sufficient for the operation of ADC and the pulse normalizer. A single-chip microcomputer (SCM) and an ADC form a spectrum analyzer (in nuclear spectrometry, the term “multichannel pulse analyzer” is often used) with subsequent processing to determine the pulse frequency change factor at the output of the detecting unit according to the algorithm described above. Also, pulses from the normalizer are sent SCM to determine the count rate. The SCM, in turn, by controlling the counter with a variable division ratio (SPKD), corrects the energy dependence of

the sensitivity of the CdZnTe sensor [12-14]. From the counter output, the corrected pulses of standard amplitude corresponding to the levels of logical “0” and “1” of the used element base are sent to the interface node. The interface node converts indicated pulses in terms of the duration and amplitude required for the operation of ARSMS channel, which does not comply with modern information transfer standards.

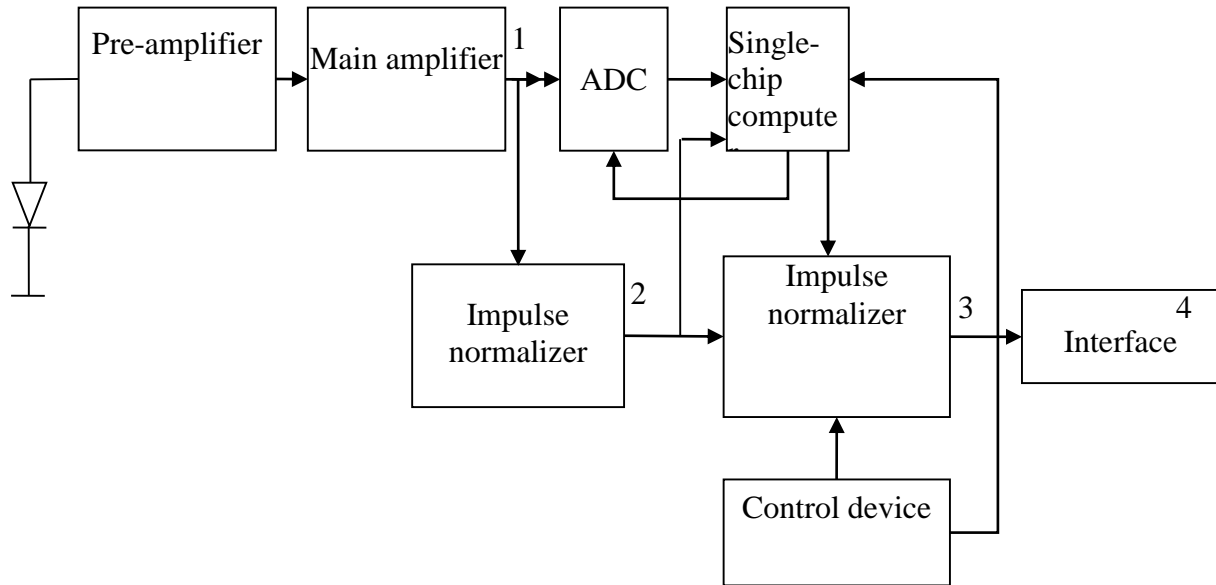


Figure 1 – Block diagram of a detecting unit based on a CdZnTe sensor

Fig. 2 illustrates signal processing in the detecting unit when measuring the same dose rate for gamma radiation of different energies (digital designations according to fig. 1). Due to the high effective atomic number of CdZnTe, at the output of main amplifier (CdZnTe-sensor and preamplifier, respectively), the number of detected gamma quanta is greater for lower energies (fig. 2 a, b).

Fig. 2 shows the signals obtained at control points 1 - 4 of Figure 1. At point 1a, the original analog signal was received after the op-amp, showing the shape of the pulse after registration of gamma radiation (Figure 2 a). Plot 2a shows an amplitude-normalized rectangular signal, in which the number of pulses corresponds to the number of registered radiation photons. Plot 3a represents the number of pulses corrected according to formula (2) based on the analysis of the pulse amplitude in point 1a. When the energy changes, the number of pulses changes (plots 2b, 3b). Such signals are not yet suitable for processing by the automated radiation safety monitoring system (ARSMS). Therefore, the signals are normalized in amplitude and duration (plots 4a, b).

The disadvantage of the above technical solution is the small dynamic range of measured values dose rate.

Therefore, variant of the detecting unit has been created in which the algorithm for correcting the signal at unit output is implemented using a signal processor. In this case, a digital code is fed to the input of signal processor, proportional to the amplitude of pulse that occurs when registering a gamma quantum. Such a pulse will be obtained as a result of conversion by a high-speed ADC installed immediately after the output of charge-sensitive preamplifier. This approach was developed in detail when creating gamma-ray spectrometers [10, 11, 12].

The analysis showed that the required value of the error due to the energy dependence of the sensitivity can be achieved using, for example, Analog Devices 10-bit AD9411 ADCs with a sampling rate of 170 MHz. The number of quantization levels is determined by the requirement to measure the dose rate of gamma radiation with an energy of at least 10 keV. This minimum energy corresponds to the use of 10-bit ADCs.

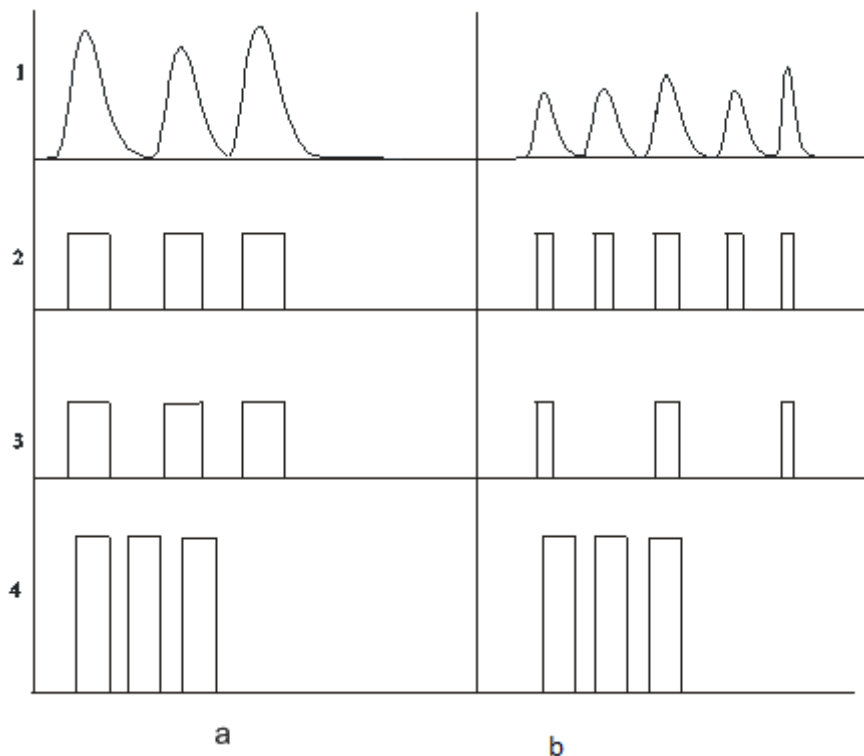


Figure 2 – Time diagram of the operation detecting unit based on CdZnTe-sensor when measuring the same dose rate for gamma radiation of different energies: a – energy is higher; b – energy is less than for a (1-4 – according to fig. 1)

The structural diagram of the spectrometer is similar to that shown in fig. 2. In contrast, this device has two sensors. The second one is placed on a telescopic rod, which allows monitoring in hard-to-reach places with increased radiation hazard.

Structurally, BDPG-CZT consists of two blocks:

- detector unit (DU) designed to register gamma-radiation flux pulses and convert them into voltage pulses;
- a signal processing unit (SPU) designed to convert the voltage pulses issued by the detector into voltage pulses of constant amplitude, constant duration and with a repetition rate proportional to the radiation dose rate.

The database consists of following nodes:

- a sensor made on the basis of a semiconductor crystal CdZnTe, which receives pulses of gamma radiation and converts them into charge pulses;
- a preamplifier (PP), which is a charge-sensitive amplifier (CSA), which converts the sensor charge pulses into voltage pulses;
- high-resistance resistor of the sensor power supply circuit.

BFB consists of the following units:

- resistive divider (RD), which sets the voltage on detector;
- the main amplifier (MA), which amplifies the pulses of detector up to 2V-amplitude;
- a comparator that converts the op-amp pulses with an amplitude higher than a given threshold into logical pulses with TTL levels;
- latch flip-flop, which is set to "1" by comparator pulses;
- an amplitude recording device (ARD), which selects and fixes the amplitude of pulses at the output of op-amp;
- an analog-to-digital converter (ADC) that converts the output voltage of the UZA into a 12-bit serial code;

- microcontroller (MC), which is the main control and computing device of the BDPG-CZT unit;
- a reprogrammable read-only memory (RROM), which stores the correction and calculation factors used by the MC program;
- interface, which is a device that generates output pulses BDPG-CZT with a frequency set by codes generated by MC;
- transceiver RS-232, which implements the exchange of information at the physical level between the MC and an external personal computer (PC) via RS-232 interface;
- a protective diode that protects the BDPG-CZT in case of incorrect polarity of the +12 V power supply circuit;
- a +5 V voltage stabilizer that generates a +5 V constant voltage to power biofeedback devices (ADC, MK, etc.).

The BDPG-CZT detecting unit operates as follows.

An external voltage of +400 V is applied to the BDPG-CZT, which creates an offset on the sensor through the RD and a high-resistance resistor. When gamma radiation enters the detector, charge pulses are formed on it, which are converted by the PU into voltage pulses. These pulses are amplified by the op-amp and fed to the comparator and UZA.

The logic pulses at the comparator output are set to "1" by the latch trigger, the state of which is read by the MC. After detecting a logic "1" at the output, MC resets this flip-flop to prepare for receiving the next comparator pulse. The choice of the comparator threshold allows you to set the level of suppression of the noise component op amp signal when detecting radiation pulses, i.e. this threshold actually determines the lower energy level of the detected radiation.

The BDPG-CZT detecting unit operates as follows.

An external voltage of +400 V is applied to the BDPG-CZT, which creates an offset on the sensor through the RD and a high-resistance resistor. When gamma radiation enters the detector, charge pulses are formed on it, which are converted by the PU into voltage pulses. These pulses are amplified by the op-amp and fed to the comparator and UZA.

The logic pulses at the comparator output are set to "1" by the latch trigger, the state of which is read by the MC. After detecting a logic "1" at the output, MC resets this flip-flop to prepare for receiving the next comparator pulse. The choice of the comparator threshold allows you to set the level of suppression of the noise component op amp signal when detecting radiation pulses, i.e. this threshold actually determines the lower energy level of the detected radiation.

The output pulses are continuously delivered to the measuring channel. Even if the BDPG-CZT unit does not register radiation, its output always contains pulses with a frequency of 0.3 - 0.5 Hz. This is used to check the functionality of the battery measurement channel.

A voltage of + 6 V is applied to the "Blenker" input, due to this, the MC sets at the interface output pulses with a repetition rate of 1000 Hz.

In the calibration mode, initialized by PC, service information, correction and calculation coefficients are written into the microcontroller through the computer port interface. The microcontroller stores all this information in the non-volatile memory of EPROM. In the measurement mode, only this information is read.

MC conducts a series of measurements and analyzes the result. The first step is to measure the count rate of input pulses. The maximum counting rate is limited from above by a value of 65536 imp/s, so a preliminary measurement is made at an exposure of 0.1 s and MC compares the obtained value with the number 6500 (10% of the maximum channel load). If the count rate exceeds specified limit, MC automatically sets the output pulse repetition rate of 65000 imp/s.

If the count rate is in range of values from 0 to 65000 pulses/s, then the MC conducts a set of pulses with subsequent averaging. So, at a count rate from 0 to 3000 pulses/s, the dialing time is 16 s. At a count rate of 3000 to 10000 cps, the dialing time is 4 s. At the maximum counting rate, the dialing time is 1 s.

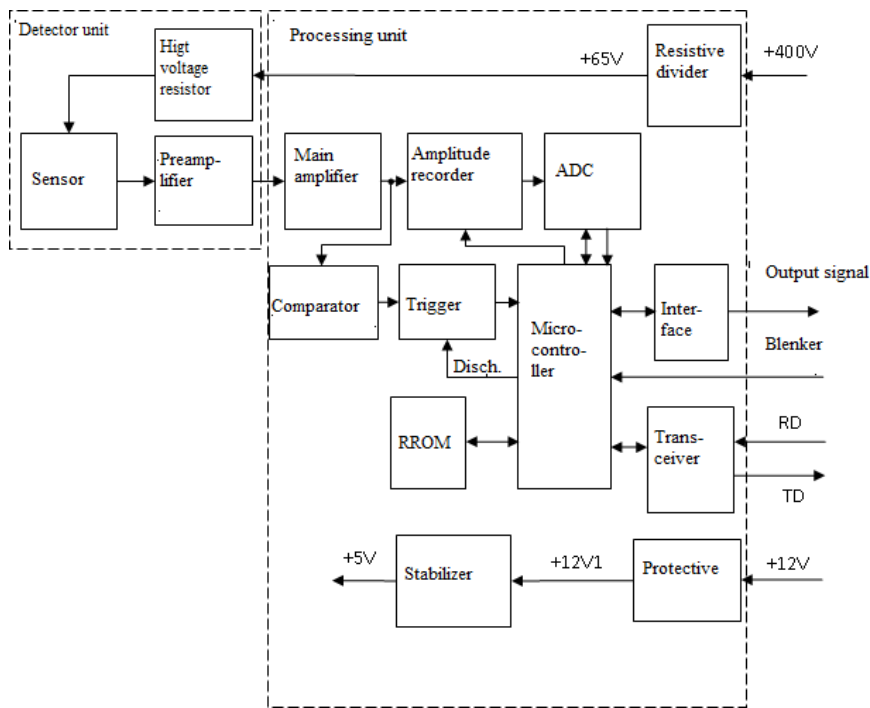


Figure 3 – Block diagram of the BDMG-CZT detecting unit

Conclusions. For the first time a portable digital gamma-ray spectrometer for radiation reconnaissance in the field was developed and created. Distinctive features of such devices are:

- application of CdZnTe detectors with coplanar and quasi-spherical crystal geometry;
- the use of digital methods of filtering by the pulse shape, implemented in a digital spectrometer.

The manufactured sets of such gamma spectrometers have an energy resolution of 6 keV, which meets the requirements for assessing the isotopic composition of nuclear fuel.

A prototype of a digital gamma spectrometer using a multielement CdZnTe sensor has been developed. On the basis of inexpensive CdZnTe-detectors, a prototype unit for detecting the power of air kerma with an average sensitivity of more than $120,000 \text{ s}^{-1}$ at an absorbed power of 1 rad/h has been developed and manufactured. The range of the measured absorbed dose rates was from 50 mrad/hour to 10 rad/hour with a crystal size of 5x5x1 mm.

The developed spectrometer meets the basic requirements for application in the program of international safeguards for the non-proliferation of nuclear materials.

REFERENCTS:

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 OV 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 masurements 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 16th 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. – С. 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. - С. 68 - 73.

д.т.н., доц. Банзак О.В., к.т.н., с.н.с. Селюков О.В., к.т.н. Оленєв М.В.,
Добровольська С.В., Коноваленко О.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕТЕКТОРА ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПОРТАТИВНОГО ЦИФРОВОГО СПЕКТРОМЕТРА

При розгляді методів боротьби з незаконним обігом ядерних матеріалів необхідно виявляти слідові кількості матеріалів, причому в багатьох випадках не вилучати їх відразу, а встановлювати місце зберігання, обробки, маршрути переміщення і т.д. Як результат, з'явилася нова потреба в вимірах із забезпеченням ідентифікації ізотопів з виконанням широкого набору різних вимог. Виміри повинні бути проведені в польових умовах за короткий термін, коли результати необхідно отримати в межах десятків секунд. Прилади, з якими при цьому працює персонал, повинні бути малого розміру і низькофонова. Такі вимоги з'являються при роботах з виявлення випадків незаконної торгівлі ядерними матеріалами та радіоактивними джерелами, а також при вирішенні завдань радіаційного захисту і при поводженні з радіоактивними приладами і відходами.

У даній роботі створено радіаційні датчики нового покоління і вимірювальні системи на їх основі відкривають раніше невідомі можливості в рішенні задач аналізу ядерного палива, збільшення точності і ефективності контролю технологічних параметрів і стану захисних бар'єрів в АЕС, створення засобів для інспекцій МАГАТЕ. Розроблено портативний цифровий спектрометр гамма-випромінювання для радіаційної розвідки в польових умовах. Основними особливостями таких приладів є застосування CdZnTe-детекторів з компланарності і квазісфериченою геометрією кристала і використання цифрових методів фільтрації за формою імпульсу, реалізованих в цифровому спектрометрі. Виготовлені комплекти таких гамма-спектрометрів мають енергетичну роздільну здатність 6 кеВ, що задовольняє вимогам оцінки ізотопного складу ядерного палива. Розроблено прототип цифрового гамма-спектрометра з застосуванням багатоелементного CdZnTe-датчика. На основі недорогих CdZnTe-детекторів розроблений і виготовлений макетний зразок блоку детектування потужності повітряної керма із середньою чутливістю понад 120000 з-1 при поглиненій потужності 1 рад / год. Діапазон вимірюваних потужностей поглинутої дози при цьому склав від 50 мкрад / год до 10 рад / год при розмірах кристала 5x5x1 мм.

Ключові слова: гамма-спектрометри, радіаційні датчики, цифровий спектрометр, ядерне паливо, поглинена доза, методи фільтрації, ефективності контролю.

JUSTIFICATION OPTIMAL PARAMETERS OF REGULATED MAINTENANCE STRATEGY

A characteristic feature of complex technical objects for special purposes is the presence in their composition of a large number (tens, hundreds of thousands) of different types component parts that have different levels of reliability, different patterns of their wear and tear processes. This feature requires a more subtle approach to the organization and planning maintenance in the course of their operation.

The problem is that in the development of such facilities, all issues related to maintainability and maintenance should be addressed already at the early stages of facility design. If you do not provide in advance the necessary hardware and software for the built-in monitoring of the technical condition (TC) of the facility, do not develop and “build” the maintenance technology into facility, then it will not be possible to realize in the future a possible gain in the reliability of the facility due to maintenance. Since all these issues must be resolved at the stage of object creation (when object does not yet exist), mathematical models of the maintenance process are needed, with the help of which it would be possible to calculate the possible gain in the level of reliability facility due to maintenance, estimate the cost costs required for this. Then, based on such calculations, make a decision on the need for maintenance given type of objects and, if such a decision is made, develop the structure of the maintenance system, choose the most acceptable maintenance strategy, and determine its optimal parameters.

The paper shows that the model for the regulated maintenance strategy is an improved version of the already known models and is introduced into the complex model for the purpose of comparative assessment of various maintenance strategies. In addition, it should be borne in mind that in practice, some cases, a regulated maintenance strategy may be preferable to MCC strategies.

Keywords: complex technical objects, maintenance strategies, technical condition, component parts

Introduction. Complex technical objects in modern society are extremely important. We are talking primarily about various radio-electronic complexes for military and special purposes, radar stations, automated control systems (air traffic, energy facilities, etc.). The state's defense capacity, economic security, and the lives of hundreds and thousands of people depend on the level of reliability such facilities.

Such objects belong to the class of recoverable objects of long-term repeated use. They tend to be costly and costly to operate. To ensure the required level of reliability during their operation, maintenance is usually carried out, the essence of which is timely preventive replacement of elements in a pre-failure state.

Analysis of previous studies and problem statement. Certain “surge” in the number of theoretical works on the maintenance of complex systems falls on 70s of the last century, which can be explained by the mass production of complex radio-electronic equipment for military and special purposes at that time [for example 1-5]. Currently, there is a decline in the number of scientific publications devoted to the maintenance of complex technical objects. One of the reasons for this, in our opinion, is sharp increase in the level of integration and reliability of components. Thanks to this, the developers of complex equipment were able to solve the issues of ensuring the required level of reliability without significant maintenance costs (or even without maintenance at all). However, the same reason (high integration and reliability of component parts) opened up the possibility of implementing more and more complex technology with new functions, which was impossible with the old element base. This again leads objectively to the problems of ensuring reliability and, therefore, the question of need for maintenance and the choice of optimal strategy for its

implementation again becomes relevant.

Formulation of the problem. Unfortunately, the currently known mathematical models and methods for calculating the optimal parameters of maintenance processes are not very suitable for application to real modern technical objects. The main disadvantage of these models is that they either do not take into account the complex structure of an object at all, or it is possible to take into account only some of the simplest structures [6-8]. In [9], a comparative analysis of the problems arising in solving the problems of maintenance "by resource" and "by state" is made. In [10] provides an overview of the latest work in the field of maintenance and repair of complex systems. The authors of this article made a theoretical generalization of the known mathematical models of maintenance processes. In the works [11-13] foreign developments in this subject area are given. However, these models do not allow building on their basis suitable for practical use techniques. The closest on the subject of the article are given in the works [10,14,15].

Main part. The essence of regulated maintenance strategy is that maintenance is carried out at pre-planned times with a given fixed amount of work. At the same time, the timing and scope of maintenance work does not depend on the actual technical condition of the facility. The parameters of the regulated maintenance strategy are:

N_{to} - number of types maintenance;

$T_{to j}$ and $E_{to j}$ - are the frequency and volume of maintenance j -th type ($j = \overline{1, N_{to}}$). The scope of maintenance is set $E_{to j}$ here by a set of elements that are subject to maintenance during maintenance of j -th type.

Test objects of different structure and reliability were used to check and study the developed models and techniques. The characteristics of test objects are selected in such a way as to cover all typical cases of possible real objects encountered in practice. With the help of test objects, the following sections demonstrate the features of application developed models and their capabilities. This section contains the main characteristics of test objects, as well as the simulation results obtained for them using the MB software.

The Test-1 object is an example of the simplest object with a consistent reliability structure and a structural structure with 6 nesting levels. Consists of 20 elements-INR, which are part of other structural elements of senior levels. INR elements are indicated by circles. All INRs have same reliability characteristics: $T_{cp} = 20,000$ h; $\nu = 1$. Elements included in the set are marked with shading.

The Test-2 object is an example of a low reliability object that uses redundancy to improve reliability. The three least reliable elements have a reserve: 11 ($n = 3$), 12 ($n = 3$) and 131 ($n = 2$). All other elements are sequential (in terms of reliability) of all the elements included in them. The total number of INR is 900. The elements included in the set of recoverable elements are also marked with shading.

The Test-3 and Test-4 objects are examples of objects that have a single-level design structure. The number of all elements is 50. The elements of objects differ significantly in their level of reliability. Object Test-3 is an example of an object with a high level of reliability, object Test-4 is an example of an object with low reliability. Since the structural structure is one-level, all elements are INR, and all of them are recoverable.

For each of the test objects, a separate database has been created, into which the necessary information about the object is entered. For all INRs, the coefficient of variation is set equal, equal to 1.

Table 1 shows the main characteristics of the test objects.

The values of reliability indicators given in the table (mean time to failure and coefficient of variation) are generated automatically when starting the database program and are displayed on the PC screen. For the Test-2 object, the resulting coefficient of variation is not equal to 1 due to the presence of redundant groups elements in the object.

Table 1

Test object characteristics

Object	Number of INR	Number of recoverable elements	Mean time to failure, h	Coefficient of variation
Test-1	20	15	4472,1	1,0
Test-2	900	16	745,8	0,726
Test-3	50	50	29930,7	1,0
Test-4	50	50	1783,2	1,0

Test-2 object.

The Test-2 object includes 8 recoverable elements. All of them are potentially serviceable (Table 2).

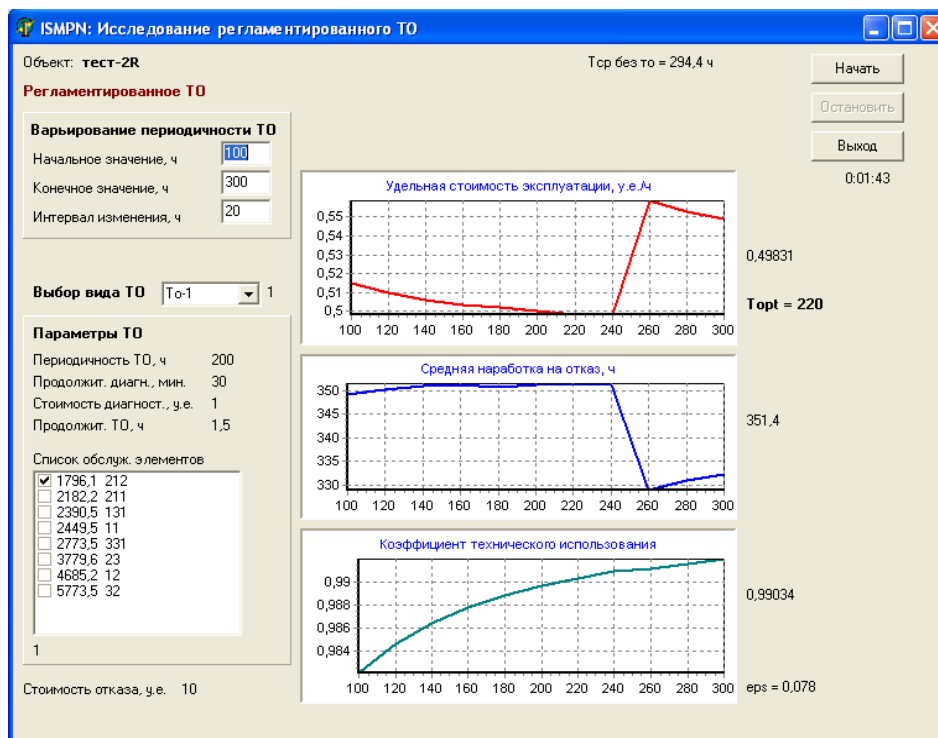


Figure 1 – Results of calculations at the 1st step (object Test-2)

As a result of calculations at the 1st step, we obtain a conditionally optimal solution (see fig. 1):

$$\mathbf{STO}_R^{(1)} = \left\{ \left\langle E_{\text{ТО}1}^{(1)}, T_{\text{ТО}1}^{(1)} \right\rangle \right\} = \left\{ \left\langle \{212\}, 220\text{h} \right\rangle \right\}.$$

In this case, the following values of indicators are obtained:

$$c_{\text{уд}}^{(1)} = 0,49831 \text{ c.u./h}; \quad T_0^{(1)} = 351 \text{ h}; \quad \text{and} \quad K_{\text{ти}}^{(1)} = 0,99034.$$

Next, we will carry out all the subsequent steps - we will perform calculations with the sequential inclusion of all serviced elements in the set $E_{\text{ТО}1}^{(k)}$. The results are shown in table 1.

With an increase in the number of serviced elements, we see a tendency for a monotonic increase in the indicator $T_0^{(k)}$ (decrease in indicator $c_{\text{уд}}^{(k)}$), therefore there is no need to introduce the 2nd type of maintenance.

If for the Test-2 object set the required $T_0^{\text{TP}} = 600 \text{ h}$, then the optimal parameters of regulated maintenance are:

$$\mathbf{STO}_R^* = \left\{ \left\langle \{212, 211, 131, 11, 331\}; 240\text{h} \right\rangle \right\}. \quad (1)$$

In this case, the following values of indicators are provided:

$$T_0(\mathbf{STO}_R^*) = 676 \text{ h};$$

$$c_{\text{уд}}(\mathbf{STO}_R^*) = 0,12009 \text{ c.u./h};$$

$$K_{\text{тн}}(\mathbf{STO}_R^*) = 0,97564. (\varepsilon = 0,116).$$

Table 2

Calculation results of the conditionally optimal parameters of regulated maintenance for Test-2 object (1 type of maintenance)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{\text{то}j}^{(k)}, T_{\text{то}j}^{(k)} \rangle$		The values of the indicators obtained with conditionally optimal parameters $\mathbf{STO}_R^{(k)}$			
		$E_{\text{то}j}^{(k)}$	$T_{\text{то}j}^{(k)}$, h	$T_0^{(k)}$, h	$c_{\text{уд}}^{(k)}$, c.u./h	$K_{\text{тн}}^{(k)}$	ε
1	1	{212}	220	351	0,49831	0,99034	0,078
2	1	{212, 211}	240	417	0,40265	0,98720	0,082
3	1	{212, 211, 131}	240	476	0,30026	0,98334	0,090
4	1	{212, 211, 131, 11}	240	546	0,16558	0,97945	0,105
5	1	{212, 211, 131, 11, 331}	240	676	0,12009	0,97564	0,116
6	1	{212, 211, 131, 11, 331, 23}	240	826	0,10196	0,97174	0,127
7	1	{212,211,131, 11, 331, 23,12}	240	874	0,07759	0,96765	0,131
8	1	{212,211,131,11,331,23,12,32}	240	1036	0,07408	0,96367	0,149

Test-3 object.

The Test-3 object is an example of a highly reliable object. The facility includes 50 recoverable items, of which 10 are potentially serviceable.

As a result of calculations at the 1st step, we obtain a conditionally optimal solution (fig. 2):

$$\mathbf{STO}_R^{(1)} = \langle \langle E_{\text{то}1}^{(1)}, T_{\text{то}1}^{(1)} \rangle \rangle = \langle \langle \{1\}, 11000\text{h} \rangle \rangle.$$

With these parameters, the following values of indicators are obtained:

$$c_{\text{уд}}^{(1)} = 0,00205 \text{ c.u./h}; \quad T_0^{(1)} = 11182 \text{ h.}; \quad \text{and} \quad K_{\text{тн}}^{(1)} = 0,99978.$$

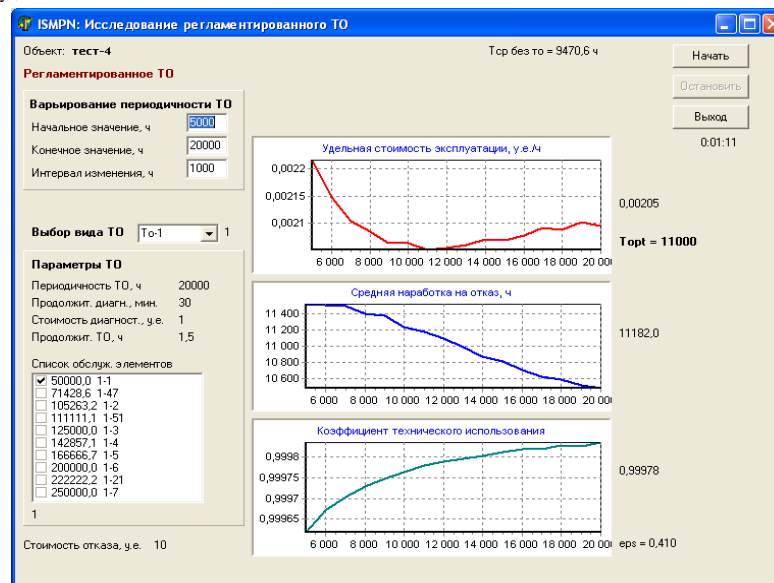


Figure 2 – Results of calculations at the 1st step (object Test-3)

Next, we will make calculations in accordance with the developed methodology. We will make calculations on the assumption that there is 1 type of maintenance, and all elements $E_{\text{to}1}^{(k)}$ from are sequentially included in the set of serviced elements E_{to} . The results are shown in table. 3.

Analysis of the results obtained shows that the indicators $T_0^{(k)}$ and $c_{\text{yd}}^{(k)}$ monotonically improve as the volume of maintenance increases. However, in the last steps (starting from 6th step), the improvement becomes insignificant. This suggests that it is possible to improve solution by introducing 2nd type of maintenance. To test this assumption, we will continue the calculations.

First, according to the results obtained, it is necessary to select and record in the database the optimal parameters of 1st type maintenance.

Table 3

Calculation results of conditionally optimal parameters regulated maintenance for Test-3 object
(1 type of maintenance)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{\text{to}j}^{(k)}, T_{\text{to}j}^{(k)} \rangle$		The values of indicators obtained with conditionally optimal parameters $\mathbf{STO}_R^{(k)}$			
		$E_{\text{to}j}^{(k)}$	$T_{\text{to}j}^{(k)}, \text{h}$	$T_0^{(k)}, \text{h}$	$c_{\text{yd}}^{(k)}, \text{c.u./h}$	$K_{\text{TH}}^{(k)}$	ϵ
1	1	{1}	11000	11182	0,00205	0,99978	0,410
2	1	{1, 2}	11000	12962	0,00188	0,99971	0,457
3	1	{1, 2, 3}	15000	13775	0,00178	0,99970	0,401
4	1	{1, 2, 3, 4}	16000	15009	0,00169	0,99967	0,493
5	1	{1, 2, 3, 4, 5}	16000	16802	0,00160	0,99962	0,539
6	1	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	16000	18497	0,00154	0,99957	0,577
7	1	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}	16000	20446	0,00149	0,99952	0,613
8	1	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}	18000	20976	0,00147	0,99951	0,616
9	1	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}	20000	21338	0,00145	0,99951	0,633
10	1	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}	20000	22715	0,00143	0,99947	0,669

If you set the required mean time between failures $T_0^{\text{TP}} = 15000 \text{ h}$, then the following can be taken as the optimal parameters of 1st type of maintenance:

$$\mathbf{STO}_R^* = \langle E_{\text{to}1}^{(5)}, T_{\text{to}1}^{(5)} \rangle = \langle \{1, 2, 3, 4, 5\}; 16000\text{h} \rangle \quad (2)$$

In this case, the following values of indicators will be provided:

$$\begin{aligned} T_0(\mathbf{STO}_R^*) &= 16802 \text{ h}; \\ c_{\text{yd}}(\mathbf{STO}_R^*) &= 0,00160 \text{ c.u./h}; \\ K_{\text{TH}}(\mathbf{STO}_R^*) &= 0,99962. \quad (\epsilon = 0,539) \end{aligned}$$

Parameters (2) will be entered into the database as parameters of the 1st type of maintenance. After that, we will enter the 2nd type of maintenance into the database and introduce one element for it into the set of serviced elements - the next element from E_{to} . This will be item 6 ($E_{\text{to}2}^{(6)} = \{6\}$). After that we will continue the calculations. According to the methodology, next step will be the 6th step.

As a result of calculations at step 6, we obtain the following conditionally optimal solution (Fig. 3):

$$\mathbf{STO}_R^{(6)} = \langle E_{\text{to}1}^*, T_{\text{to}1}^* \rangle, \langle E_{\text{to}2}^{(6)}, T_{\text{to}2}^{(6)} \rangle = \langle \{1, 2, 3, 4, 5\}, 16000\text{h} \rangle, \langle \{6\}, 36000\text{h} \rangle.$$

In this case, following values of indicators are obtained:

$$c_{\text{yd}}^{(6)} = 0,00155 \text{ c.u./h}; \quad T_0^{(6)} = 18201 \text{ h}; \quad \text{and} \quad K_{\text{TH}}^{(6)} = 0,99959.$$

The calculation results in all subsequent steps are shown in table 3. According to the results

obtained, it is clear that due to the introduction of the 2nd type of maintenance, it is not possible to improve the indicators $T_0^{(k)}$ and $c_{уд}^{(k)}$. So, at the 6th step, $T_0^{(6)}$ and $c_{уд}^{(6)}$ indicators worsen ($T_0^{(6)} = 18201$ hours instead of 18497 hours, $c_{уд}^{(6)} = 0.00155$ instead of 0.00154).

With this in mind, we finally accept as the optimal solution for Test-3 object:

$$\mathbf{STO}_R^* = \left\{ \left\langle E_{то1}^*; T_{то1}^* \right\rangle \right\} = \left\{ \left\langle \{1, 2, 3, 4, 5\}; 16000\text{h} \right\rangle \right\}.$$

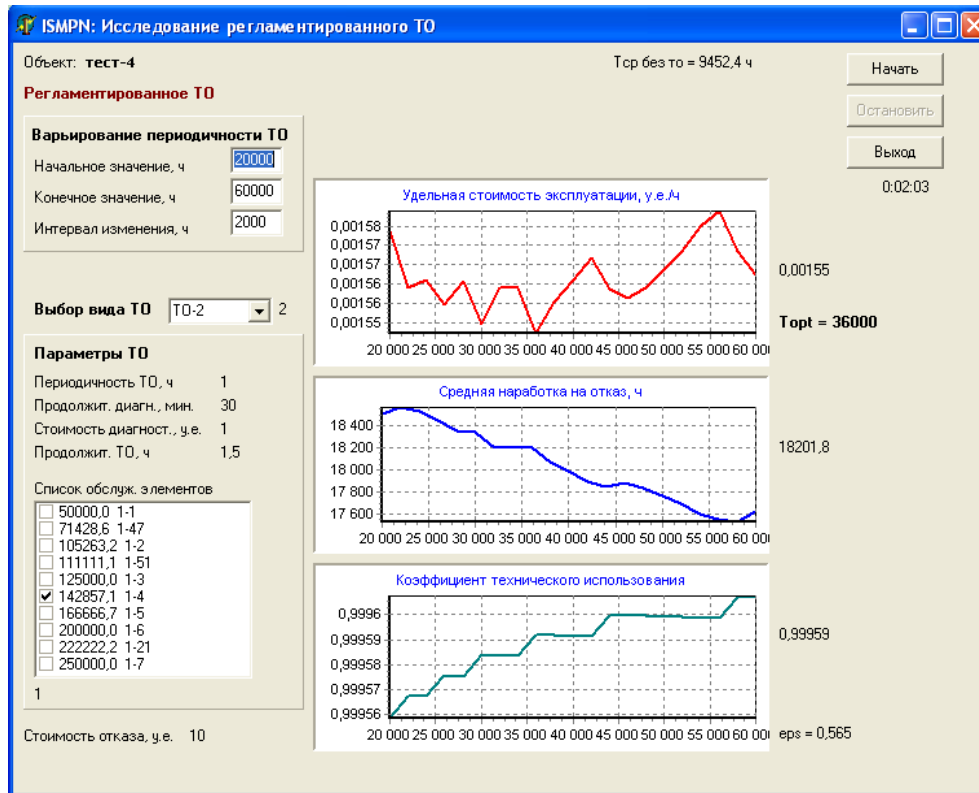


Figure 3 – Results of calculations at the 6th step (object Test-3)

Table 4
Calculation results of conditionally optimal parameters of regulated maintenance for the Test-3 object (2 types of maintenance)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{тоj}^{(k)}, T_{тоj}^{(k)} \rangle$		The values of indicators obtained with conditionally optimal parameters $\mathbf{STO}_R^{(k)}$			
		$E_{тоj}^{(k)}$	$T_{тоj}^{(k)}, \text{h}$	$T_0^{(k)}, \text{h}$	$c_{уд}^{(k)}, \text{c.u./h}$	$K_{ти}^{(k)}$	ε
6	2	{ 6 }	36000	18201	0,00155	0,99959	0,565
7	2	{ 6, 7 }	36000	19617	0,00149	0,99957	0,599
8	2	{ 6, 7, 8 }	38000	20698	0,00144	0,99955	0,627
9	2	{ 6, 7, 8, 9 }	36000	22466	0,00140	0,99953	0,647
10	2	{ 6, 7, 8, 9, 10 }	36000	23992	0,00136	0,99951	0,688

Test-4 object.

The Test-4 object includes 50 recoverable elements, of which 10 are potentially serviceable (Table 8).

As a result of calculations at the 1st step, we find that the optimal frequency of maintenance of the 1st type, provided that the set of serviced elements $E_{то1}^{(1)} = \{1\}$, is equal to $T_{то1}^{(1)} = 500$ hours.

In this case, the following values of indicators are obtained (see fig. 4):

$$c_{уд}^{(1)} = 0,01961 \text{ c.u./h}; T_0^{(1)} = 1345 \text{ h.}; \text{ and } K_{тн}^{(1)} = 0,99626.$$

Table 4 shows results obtained after completing the first 6 steps. The results presented in the table show that, starting from step 4, the unit cost of operation $c_{уд}^{(k)}$ begins to increase. This is a sign of the need to enter 2nd type of maintenance.

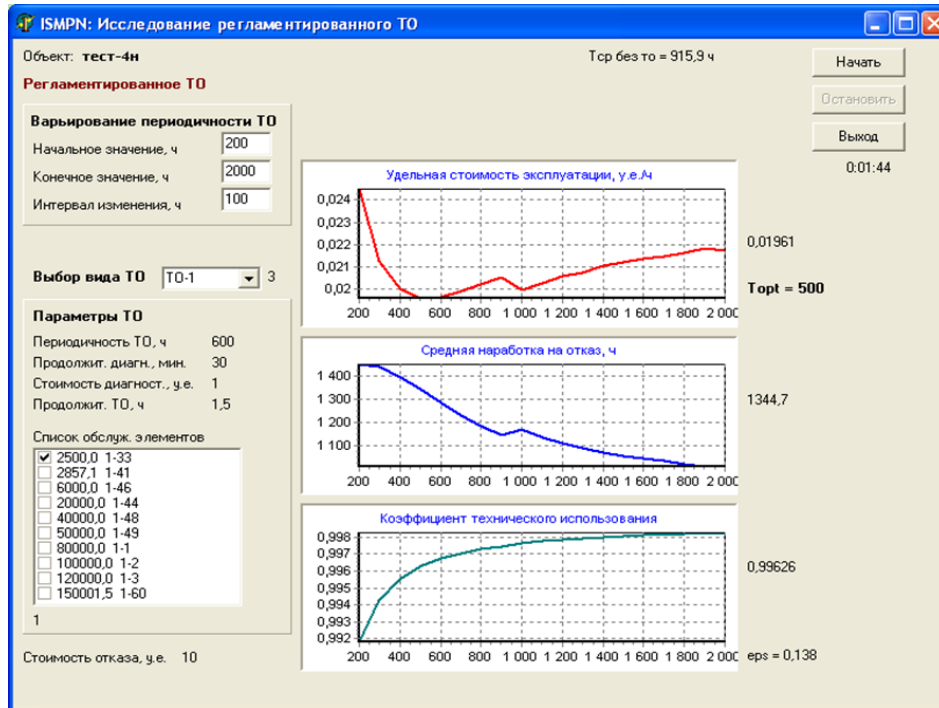


Figure 4 – Results of calculations at 1st step (Test-4)

As optimal parameters of maintenance 1st type, we take the parameters obtained in 3rd step (see table 4):

$$STO_R^{(3)} = \{\{1,2,3\}, 600h\}. \quad (3)$$

Table 5

The results of calculating optimal parameters for one (1st) type of TO (object Test-4)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{тоj}^{(k)}, T_{тоj}^{(k)} \rangle$		The values of indicators obtained with conditionally optimal parameters $STO_R^{(k)}$			
		$E_{тоj}^{(k)}$	$T_{тоj}^{(k)}, h$	$T_0^{(k)}, h$	$c_{уд}^{(k)}, \text{c.u./h}$	$K_{тн}^{(k)}$	ε
1	1	{1}	500	1345	0,01961	0,99626	0,138
2	1	{1,2}	500	2416	0,01468	0,99459	0,195
3	1	{1,2,3}	600	3230	0,01314	0,99388	0,238
4	1	{1,2,3,4}	600	3836	0,01378	0,99227	0,260
5	1	{1,2,3,4,5}	1000	2501	0,01437	0,99413	0,217
6	1	{1,2,3,4,6}	1000	2637	0,01499	0,99315	0,218

With these parameters, indicators are provided:

$$c_{уд}^{(3)} = 0,01314 \text{ c.u./h}; T_0^{(3)} = 3230 \text{ h.}; \text{ and } K_{тн}^{(3)} = 0,99388.$$

We enter the parameters of 1st type of maintenance into database and continue the search in

order to determine the optimal parameters for 2nd type of maintenance.

Taking into account the already completed 3 steps, we will continue the search starting from 4th step. In fig. 5 shows the screen view after calculations for 2nd type of maintenance in step 4.

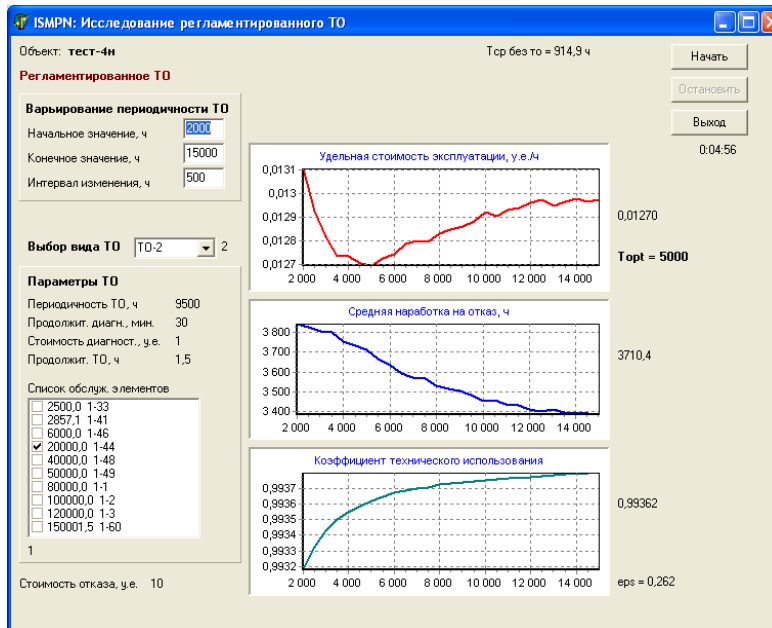


Figure 5 – Results of calculations at the 4th step (object Test-4)

Table 6
The results of calculating optimal parameters for 2nd type of maintenance (object Test-4)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{\text{To } j}^{(k)}, T_{\text{To } j}^{(k)} \rangle$		The values of indicators obtained with conditionally optimal parameters $\text{STO}_R^{(k)}$			
		$E_{\text{To } j}^{(k)}$	$T_{\text{To } j}^{(k)}, \text{ h}$	$T_0^{(k)}, \text{ h}$	$c_{\text{уд}}^{(k)}, \text{ c.u./h}$	$K_{\text{ти}}^{(k)}$	ε
4	2	{4}	5000	3710	0,01270	0,99362	0,262
5	2	{4,5}	5500	4030	0,01239	0,99349	0,273
6	2	{4,5,6}	6000	4287	0,01218	0,99339	0,285
7	2	{4,5,6,7}	7000	4514	0,01210	0,99334	0,291
8	2	{4,5,6,7,8}	8000	4592	0,01205	0,99321	0,297
9	2	{4,5,6,7,8,9}	8500	4593	0,01203	0,99322	0,304
10	2	{4,5,6,7,8,9,10}	10500	4508	0,01204	0,99327	0,298

Table 6 shows all the results obtained in the search for optimal parameters for the 2nd type of maintenance.

According to the data obtained, it can be seen that the inclusion of the last elements in the number of serviced during maintenance -2 leads to an insignificant improvement in indicators (this improvement is practically within the statistical error).

Therefore, the user has the right to decide not to service these elements at all during operation.

If, for example, during maintenance -2, only 3 elements are serviced ($E_{\text{To } 2}^{(6)} = \{4,5,6\}$), then the optimal parameters of maintenance for two types of maintenance are:

$$\text{STO}_R^{(6)} = \left\{ \langle \{1, 2, 3\}, 600 \text{ h} \rangle, \langle \{4, 5, 6\}, 6000 \text{ h} \rangle \right\}. \quad (4)$$

At same time, indicators are provided:

$$c_{yd}^{(6)} = 0,01218 \text{ c.u./h}; T_0^{(6)} = 4287 \text{ h.}; \text{ and } K_{TH}^{(3)} = 0,99339.$$

According to results obtained, it is clear that due to the introduction of 2nd type of maintenance, it was possible to significantly improve the indicators $T_0^{(k)}$ and $c_{yd}^{(k)}$.

Earlier, for the Test-4 object, we set $T_0^{TP} = 5000$ hours as the required reliability level. In this case, we see that this requirement is not met with a regulated maintenance strategy. Therefore, we will continue the calculations in order to check the possibility of further improvement of indicators due to the introduction of the third type of maintenance.

Before continuing the search, you need to enter the obtained optimal parameters for 1st and 2nd types of maintenance into the database. After that, we will continue the calculations, starting from 7th step. The results obtained in this case are presented in table. 7.

Table 7

The results of calculating the optimal parameters for the 3rd type of maintenance (object Test-4)

Step number k	Service type number j	Conditionally optimal parameters $\langle E_{to j}^{(k)}, T_{to j}^{(k)} \rangle$		The values of indicators obtained with conditionally optimal parameters $STO_R^{(k)}$			
		$E_{to j}^{(k)}$	$T_{to j}^{(k)}, \text{ h}$	$T_0^{(k)}, \text{ h}$	$c_{yd}^{(k)}, \text{ c.u./h}$	$K_{TH}^{(k)}$	ε
7	3	{7}	18500	4490	0,01207	0,99332	0,291
8	3	{7,8}	16000	4668	0,01196	0,99326	0,304
9	3	{7,8,9}	18000	4816	0,01186	0,99323	0,305
10	3	{7,8,9,10}	22000	4879	0,01180	0,99323	0,311

As a result of calculations for 3 types of maintenance, we received the following solution:

$$STO_R^{(10)} = \{ \langle \{1,2,3\}, 600\text{h} \rangle, \langle \{4,5,6\}, 6000\text{h} \rangle, \langle \{7,8,9,10\}, 22000\text{h} \rangle \}. \quad (5)$$

At the same time, indicators are provided:

$$c_{yd}^{(10)} = 0,01180 \text{ c.u./h}; T_0^{(6)} = 4879 \text{ h.}; \text{ and } K_{TH}^{(3)} = 0,99323.$$

So, we see that the introduction of the 3rd type of maintenance leads to a further improvement in performance in comparison with case of 2 types of maintenance. However, the requirement $T_0^{TP} = 5000$ h is not met in this case. Since solution (5) has already used all serviced elements from the set, it can be concluded that with a regulated maintenance strategy, the requirement $T_0^{TP} = 5000$ h for Test-4 object is unattainable.

Conclusions. The mode of modeling regulated maintenance was introduced in order to ensure the completeness of analysis possible maintenance strategies of designed facility and predicting the possible gain in reliability and cost of operating the facility through use of strategies for maintenance.

REFERENCES:

1. Barzilovich E.Yu. Maintenance models for complex systems. M.: Higher school, 1982. 231 p.
2. Technology of system modeling / E.F. Avramchuk, A.A. Vavilov, S.V. Emelyanov and others - M.: Mechanical engineering; Berlin: Technician, 1988. 520 p.
3. Operation of radio engineering complexes. Edited by A.I. Alexandrova. M., Sov. Radio, 1976.280 p.
4. Reliability and efficiency in technology. Directory. T.2. Mathematical methods in the theory of reliability and efficiency / Ed. B.V. Gnedenko. M.: Mashinostroenie, 1988. 280 p.
5. Computational methods of research and design of complex systems. Mikhalevich V.S., Volkovich V.L. - M.: Nauka, 1982.286 p.
6. Volokh OP Methodology for the determination of the rational values of the periodicity of the technical maintenance of the machines of the engineering plant during the hour of exploitation // Collection of Science Practices of the Institute of Science and Technology of Ukraine .. T. Shevchenko. Vip. 2.K.: MIKNU, 2005. P. 29-32.

7. Brown V.O., Boryak K.F., Lantvoit O.B., Tsytsarev V.N. Modeling of maintenance processes of complex recoverable objects of radio-electronic equipment // Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. K., 2008. №1. P. 47 - 52.
8. Boryak K.F. Pre-service to the process of technical servicing of foldable radioelectronic equipment for additional and statistical statistical model // Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. K., 2008. No. 2. P. 85 - 91.
9. Banzak G.V. Database on the reliability of complex objects of radio-electronic equipment / G.V. Banzak, K.F. Boryak, V.N. Tsytsarev // Book of Science Practitioners of Military Institute of Kyiv National University for the Name of Taras Shevchenko. 2010. No. 27. P.89 - 97.
10. Forecasting to reliability complex object radio-electronic texnology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lienkov, Konstantin Borjak, Gennadii Banzak, Vadim Braun, ets.; under edition S.V. Lenkov. Odessa: Publishing house "VMV", 2014. 252 p.
11. Jason Brown, Lucas Mol On the roots of all-terminal reliability polynomials / Discrete Mathematics, Volume 340, Issue6, June 2017, pages 1287-1299.
12. Lirong Cui, Yan Li, Jingyuan Shen, Cong Lin Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods / Applied Mathematical Modtlling, Volumt 40, Issues 23-24, December 2016, Pages 10783-10799.
13. Iris Tien, Armen Der Kiureghian Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems / Reability Engineering & System Safety, Volume 156, December 2016, Pages 134-147.
14. Boryak K.F. Reliability model of a complex restored object of radio-electronic equipment // Book of Science Practitioners of Military Institute of Kyiv National University for the Name of Taras Shevchenko. K.: 2009. № 21. P.33-41.
15. Lienkov S.V., Tolok I.V., Lienkov Ye.S. Prognostication of composition and resource of groupment of objects of technigue // Book of Science Practitioners of Military Institute of Kyiv National University for the Name of Taras Shevchenko. K.: MIKNU, 2019. №63. P. 54 - 65.

**д.т.н., проф. Ленков С.В., к.пед.н., доц. Толлок І.В., к.т.н. Кольцов Р.Ю.,
к.т.н. Банзак Г.В., к.т.н.Ленков Є.С., Добровольська С.В.**

ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ЩО РЕГЛАМЕНТУЄТЬСЯ

Характерною особливістю складних технічних об'єктів спеціального призначення є наявність в їх складі великої кількості (десятки, сотні тисяч) різномісних комплектуючих елементів, які мають різний рівень надійності, різні закономірності процесів їх зносу і старіння. Ця особливість вимагає більш тонкого підходу до організації і планування ТО в процесі їх експлуатації.

Проблема полягає в тому, що при розробці таких об'єктів всі питання, пов'язані з ремонтпридатністю і технічним обслуговуванням повинні вирішуватися вже на ранніх етапах проектування об'єкта. Якщо не передбачити заздалегідь необхідні апаратні і програмні засоби вбудованого контролю технічного стану (ТС) об'єкта, що не розробити і не "вбудувати" в об'єкт технологію проведення ТО, то реалізувати в майбутньому можливий виграв в безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО не вдасться. Оскільки всі ці питання повинні вирішуватися на етапі створення об'єкта (коли об'єкта ще немає), необхідні математичні моделі процесу ТО, за допомогою яких можна було б прорахувати можливий виграв в рівні безвідмовності об'єкта за рахунок проведення ТО, оцінити необхідні для цього вартісні витрати. Потім на підставі таких розрахунків прийняти рішення про необхідність проведення ТО для даного типу об'єктів і, якщо таке рішення прийнято, розробити структуру системи ТО, вибрати найбільш прийнятну стратегію ТО, визначити її оптимальні параметри.

У роботі показано, що модель для стратегії регламентованого ТО є вдосконалим варіантом вже відомих моделей і введена в комплексну модель з метою порівняльної оцінки різних стратегій ТО. Крім того слід враховувати, що на практиці в деяких випадках стратегія регламентованого ТО може виявитися більш кращою у порівнянні зі стратегіями ТОС.

Ключові слова: складні технічні об'єкти, стратегії технічного обслуговування, технічний стан, комплектуючих елементів.

УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ РОЗКРИТТЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ ВЗАЄМОДІЇ

Для значного класу задач системного аналізу важливою проблемою є розкриття невизначеностей. Це зумовлено різноманітністю цілей, властивостей і особливостей досліджуваних об'єктів. На сьогодні залишається актуальним завдання розкриття невизначеності конфліктів у задачах вибору цілей задумів і планів у процесі взаємодії партнерів або протидії конкурентів чи супротивників. У системному аналізі існують методи, які дозволяють в окремих випадках розв'язувати ці задачі. Вони базуються на застосуванні методів математичного аналізу і теорії ймовірностей. Однак ці методи застосовні лише до задач, у яких кількість партнерів і аргументів цільових функцій, що визначають мету їх діяльності, співпадають. Оскільки ж на практиці, як правило, таке обмеження не виконується, актуальним є завдання пошуку підходів до розв'язання задач розкриття невизначеності конфліктів у задачах вибору цілей задумів і планів у процесі взаємодії партнерів або протидії конкурентів чи супротивників, які б забезпечували можливість вирішення задач для довільної кількості партнерів і аргументів їх цільових функцій.

У роботі здійснено формалізацію задачі розкриття невизначеності при взаємодії партнерів, у якій кількість аргументів цільових функцій не обов'язково рівна кількості партнерів. Також проведено аналіз існуючого підходу щодо вирішення сформульованої задачі у випадку відсутності та наявності ситуаційної невизначеності для двох і довільної кількості партнерів. На основі застосування технічних обмежень запропоновано підхід щодо вирішення задачі та сформовано програмно-алгоритмічне забезпечення його реалізації. Зазначений підхід базується на попередньому формуванні області допустимих рішень (області Парето) та подальшому пошуку раціонального рішення в цій області. Запропонований підхід може застосовуватись до розв'язування задачі розкриття невизначеності конфліктів як у випадку відсутності, так і наявності ситуаційної невизначеності. Програмно-алгоритмічна реалізація авторського підходу до вирішення досліджуваної задачі дозволяє автоматизувати окремі етапи вирішення задачі.

Ключові слова: математична модель, невизначеність, партнери, область визначення, технічні обмеження.

Вступ. Для значного класу формалізованих задач системного аналізу важливою проблемою є розкриття невизначеностей. Це зумовлено різноманітністю цілей, властивостей і особливостей об'єктів системного аналізу. Прикладні задачі, які не містять невизначеностей, є скоріше винятком, ніж правилом. Адекватний опис проблеми зазвичай містить різного типу невизначеності, що відображає той природний стан, у якому перебуває дослідник. Будь-яке його знання завжди є відносно неповним і неточним. Це безпосередньо впливає з теореми Геделя про неповноту [1] та еволюцію розвитку людського пізнання.

Формально задачі розкриття невизначеностей у системному аналізі та теорії дослідження операцій багато в чому схожі. Проте є й принципові відмінності у підходах до формалізації, розв'язання і реалізації на практиці. Вони полягають насамперед у тому, що задачі в теорії дослідження операцій мають більший ступінь формалізації, оскільки в них зазвичай апріорі задано всі обмеження, припущення, вихідні дані та математичні моделі. У задачах же системного аналізу частину обмежень, припущень і вихідних даних наперед не вивчено. Інформацію про них уточнюють у процесі формалізації та розв'язання задачі.

Найпоширенішими на практиці є невизначеності цілей, ситуацій, конфліктів. Суть цих невизначеностей наведена у роботі [2]. На сьогодні залишається актуальним завдання розкриття невизначеності конфліктів у задачах вибору цілей задумів і планів у процесі взаємодії партнерів або протидії конкурентів чи супротивників.

Постановка проблеми. На даний час у системному аналізі існують методи, які дозволяють в окремих випадках розв'язувати ці задачі. Вони базуються на застосуванні методів математичного аналізу і теорії ймовірностей [3,4]. Однак ці методи застосовні лише до задач, у яких кількість партнерів і аргументів цільових функцій, що визначають мету їх діяльності, співпадають. Оскільки ж на практиці, як правило, таке обмеження не виконується, актуальності набуває завдання пошуку підходів до розв'язання задач розкриття невизначеності конфліктів у задачах вибору цілей задумів і планів у процесі взаємодії партнерів або протидії конкурентів чи супротивників (у подальшому, задач розкриття невизначеності конфліктів), які б забезпечували можливість вирішення задачі для довільної кількості партнерів і аргументів їх цільових функцій.

Під час формалізації і розв'язування реальних задач з описаного вище класу важливе значення має виявлення, насамперед, області допустимих рішень для всіх учасників конфлікту.

Зважаючи на це, одним із можливих підходів до розв'язання задач розкриття невизначеності конфліктів, у яких кількість партнерів і аргументів цільових функцій, що визначають мету їх діяльності, не обов'язково співпадають, є підхід, що базується на реалізації механізмів попереднього виявлення області допустимих рішень для всіх учасників конфлікту.

Таким чином, проблемну задачу, яка потребує вирішення, можна сформулювати так.

Взаємодіє певна кількість партнерів, кожен з яких має свою мету, що визначається заданою цільовою функцією з певною кількістю змінних, яка необов'язково співпадає з кількістю партнерів.

Партнери у процесі активної взаємодії можуть обмінюватися інформацією про свої дії. Можливі такі два варіанти обміну інформацією:

варіант А – повний обмін інформацією про цілі, дії, показники діяльності тощо;

варіант В – частковий обмін інформацією, при якому не надається інформація про цільові функції.

Знайти раціональний компроміс, тобто такі значення аргументів, при яких цільові функції досягли б таких значень, що задовольняло б усіх партнерів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зважаючи на підхід, який пропонується для розв'язання визначеної задачі, актуальним є проведення аналізу наукових праць, у яких аналізувалися питання, що стосуються механізмів формування області допустимих рішень в оптимізаційних задачах.

Ці питання, зокрема, відображені у роботах [2, 5-17].

Так, у роботах [6-9] наведені теоретичні підходи щодо побудови області допустимих рішень у задачах лінійного, цілочислового, дробово-лінійного, нелінійного, динамічного програмування.

У роботах [8,9] описано ряд прикладних оптимізаційних задач, які мають місце в економіці, та методи їх розв'язування. При цьому, детальна увага приділена питанням формування області допустимих рішень, як з точки зору коректного застосування математичних підходів до цього, так і з точки зору фізичного змісту досліджуваних процесів.

У роботі [10] наведено ряд прикладних оптимізаційних задач, які мають місце в прикордонній діяльності. При цьому, у цій праці належна увага приділена також питанням формування області допустимих рішень досліджуваних задач.

Роботи [11,12] присвячені теорії алгоритмів та обчислювальних процесів. У цих працях проаналізовано ряд алгоритмів, які можуть бути застосовними до вирішення цілого ряду класів оптимізаційних задач. При цьому, їх аналіз проведено з позиції можливості програмування та оцінки обчислювальної складності.

У роботі [13] наведені підходи до програмування оптимізаційних задач, яке передбачає і побудову області допустимих рішень.

Слід зауважити те, що розвиток підходів щодо формування області допустимих рішень було здійснено і в ряді прикладних наукових досліджень, зокрема [14-17].

Однак, незважаючи на достатньо великий перелік наукових праць, в яких досліджувалися оптимізаційні задачі, на сьогодні ще не до кінця сформовано універсальний підхід, який би дозволяв розв'язувати досліджувану задачу.

Метою статті є удосконалення науково-методичного апарату розкриття невизначеності в задачах взаємодії партнерів, у яких кількість аргументів їх цільових функцій не обов'язково рівна кількості партнерів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення мети вбачається за доцільне: здійснити формалізацію досліджуваної задачі; здійснити аналіз існуючого підходу щодо її вирішення; окреслити коло проблемних питань, що мають місце при його застосуванні; запропонувати механізм реалізації власного підходу щодо вирішення досліджуваної задачі; сформувати програмно-алгоритмічне забезпечення його реалізації.

Математична постановка задачі.

Нехай взаємодіє k партнерів, цільові функції яких мають вид

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n), \dots, f_k(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

x_1, x_2, \dots, x_n - параметри, значення яких можуть змінювати партнери.

Партнери у процесі активної взаємодії можуть обмінюватися інформацією про свої дії. Кожен із партнерів намагається максимізувати значення своєї цільової функції.

Тобто, партнер 1 прагне забезпечити

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max, \quad (2)$$

партнер 2 -

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max, \quad (3)$$

партнер k -

$$f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \max. \quad (4)$$

При цьому, кожен з партнерів готовий забезпечити не абсолютне значення максимуму власної цільової функції, а відносне, при якому

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq f_1^*, f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq f_2^*, \dots, f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq f_k^*. \quad (5)$$

Необхідно знайти такі значення $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, при яких виконувалися б умови (5), і які б задовольняли кожного партнера.

Аналіз існуючого підходу щодо вирішення досліджуваної задачі.

Для аналітичного вирішення досліджуваної задачі у прямій постановці методи відсутні.

Однак, існують методи вирішення такої задачі не в прямій постановці. Розглянемо їх з позиції можливості застосування окремих аспектів для вирішення часткових складових досліджуваної у даній роботі задачі [2].

Задача взаємодії двох партнерів.

Випадок відсутності ситуаційної невизначеності.

Нехай $f_1(x_1, x_2)$ і $f_2(x_1, x_2)$ - цільові функції 1 і 2-го партнерів, а x_1, x_2 - вектори параметрів, значення яких можуть змінювати відповідно 1 і 2-й партнери. Партнери у процесі активної взаємодії можуть обмінюватися інформацією про свої дії. Можливі два вище наведені варіанти обміну інформацією: варіант А і варіант В.

У варіанті А невизначеність може бути зумовлена неповнотою інформації про наявну та прогнозовану ситуації. За цих умов кожний із партнерів може діяти самостійно, а розкриття невизначеності цілей зводиться до розкриття ситуаційної невизначеності за відомих $f_1(x_1, x_2, \alpha_1)$, $f_2(x_1, x_2, \alpha_2)$, де α_1 і α_2 - показники ситуаційної невизначеності.

У варіанті В невизначеність може бути зумовлена двома факторами: невизначеністю наявної ситуації і неузгодженими діями партнерів.

У разі відсутності ситуаційної невизначеності розкриття невизначеності цілей дій партнерів виконують послідовно виконанням таких кроків.

Нехай партнер 1 вважає за потрібне для досягнення власної цілі мати значення $x_1 = x_1'$ і сповіщає про це партнеру 2. Партнер 2 максимізує власну ціль з урахуванням інформації першого партнера, тобто, вважаючи відомим $x_1 = x_1'$, знаходить таке значення $x_2 = x_2'$, за якого

$$f_2(x_1', x_2') = \max_{x_2} f_2(x_1', x_2). \quad (6)$$

Партнер 2 повідомляє бажане для нього значення $x_2 = x_2'$ партнеру 1. Партнер 1 розв'язує задачу оптимізації цілі для себе, шукаючи $\max f_1(x_1, x_2)$ за умови $x_2 = x_2'$, зберігаючи значення x_1' або вибираючи таке x_1'' , щоб виконалася умова

$$f_1(x_1'', x_2') = \max_{x_1} f_1(x_1, x_2'). \quad (7)$$

Якщо ця умова задовольняє обох партнерів, то задачу розв'язано. Але зазвичай значення x_1'' , за якого виконується умова (7), не дорівнює вихідному значенню $x_1 \neq x_1'$. Тому партнер 1 повідомляє нове доцільне для нього значення $x_1 = x_1''$ партнеру 2. Партнер 2 розв'язує задачу (6) за нового значення x_1 . Розв'язування задачі припиняють у разі знаходження раціонального компромісу для обох партнерів.

Випадок наявності ситуаційної невизначеності.

Припустимо, що для партнера 1 ситуаційна невизначеність характеризує показник α_1 , а для партнера 2 - α_2 , де $\alpha_1 \in [\alpha_1^-, \alpha_1^+]$, $\alpha_2 \in [\alpha_2^-, \alpha_2^+]$.

Нехай партнерам відомі значення x_1^0 , x_2^0 , які забезпечують раціональний компроміс за відсутності ситуаційної невизначеності (попередній варіант). Тоді за умов ситуаційної невизначеності партнер 1 знаходить значення \hat{x}_1' за умови максимізації математичного сподівання функції $f_1(x_1, x_2, \alpha_1)$ за відомих значень $x_2 = x_2^0$, тобто

$$\hat{x}_1' \rightarrow \max_{x_1} Mf_1(x_1, x_2^0, \alpha_1), \quad (8)$$

а партнер 2 визначає значення \hat{x}_2' за умови максимізації математичного сподівання функції $f_2(x_1, x_2, \alpha_2)$ за відомих значень $x_1 = x_1^0$, тобто

$$\hat{x}_2' \rightarrow \max_{x_2} Mf_2(x_1^0, x_2, \alpha_2). \quad (9)$$

Потім порівнюють значення x_1^0 і \hat{x}_1' , x_2^0 і \hat{x}_2' , тобто знаходять

$$\Delta x_1' = |x_1^0 - \hat{x}_1'|; \quad \Delta x_2' = |x_2^0 - \hat{x}_2'|. \quad (10)$$

Якщо $\Delta x_1'$ і $\Delta x_2'$ не перевищують задані значення

$$\Delta x_1' \leq \varepsilon_1; \quad \Delta x_2' \leq \varepsilon_2, \quad (11)$$

то вважають, що за раціональний компроміс можна взяти значення x_1^0 і x_2^0 . Якщо умова (11) не виконується, то процедуру пошуку раціонального компромісу продовжують за розглянутим вище алгоритмом, але замість відповідних функцій беруть їхні математичні сподівання і при $x_2 = \hat{x}_2'$ знаходять \hat{x}_1'' за умови

$$\hat{x}_1'' \rightarrow \max_{x_1} Mf_1(x_1, \hat{x}_2', \alpha_1).$$

Потім при $x_1 = \hat{x}_1''$ знаходять значення \hat{x}_2'' за умови

$$\hat{x}_2'' \rightarrow \max_{x_2} Mf_2(\hat{x}_1'', x_2, \alpha_2).$$

Якщо одержані значення \hat{x}_1'' і \hat{x}_2'' задовольняють партнерів, то процес обчислень припиняють і ці значення беруть за раціональний компроміс. Якщо не задовольняють – процес триває до виконання узгоджених умов компромісу. У кожному показнику компромісу можна вибирати величини

$$\Delta \hat{x}_1'' = |\hat{x}_1' - \hat{x}_1''|; \Delta \hat{x}_2'' = |\hat{x}_2' - \hat{x}_2''|$$

або

$$\Delta f_1' = |Mf_1(\hat{x}_1'', \hat{x}_2'', \alpha_1) - Mf_1(\hat{x}_1', \hat{x}_2', \alpha_1)|;$$

$$\Delta f_2' = |Mf_2(\hat{x}_1'', \hat{x}_2'', \alpha_2) - Mf_2(\hat{x}_1', \hat{x}_2', \alpha_2)|.$$

Як критерії раціонального компромісу можна використовувати умови виду (11).

Розглянутий підхід зорієнтовано на усереднені показники. Він становить практичний інтерес у випадках коли: різні ситуації майже рівноймовірні; значення цільової функції для різних ситуацій відрізняються несуттєво. Ці умови рідко виконуються на практиці, тому загальнішим є підхід до розкриття невизначеностей із урахуванням факторів ризику.

У цьому випадку заданий інтервал $[\alpha_1^-, \alpha_1^+]$ зміни α_1 замінюється дискретною множиною $\alpha_1^{(1)}, \dots, \alpha_1^{(q)}, \dots, \alpha_1^{(q_{01})}$. Ймовірність появи різних значень $\alpha_1^{(q)}$ неоднакова і характеризується множиною $p_1^{(1)}, \dots, p_1^{(q)}, \dots, p_1^{(q_{01})}$. Аналогічно будують множини для α_2 і p_2 . Для кожного значення $q_1 = \overline{1, q_{01}}$ і $q_2 = \overline{1, q_{02}}$ визначається значення цільових функцій кожного партнера, вважаючи відомими умови раціонального компромісу за відсутності факторів ситуаційної невизначеності, тобто покладаючи $x_1 = x_1^0, x_2 = x_2^0$. Тоді для $q_1 = \overline{1, q_{01}}, q_2 = \overline{1, q_{02}}$ маємо

$$f_1^{(q_1)} = f_1(x_1^0, x_2^0, \alpha_1^{(q_1)}); f_2^{(q_2)} = f_2(x_1^0, x_2^0, \alpha_2^{(q_2)}).$$

У загальному випадку $q_{01} \neq q_{02}$.

Задачу розкриття невизначеності можна розв'язати, використовуючи різні критерії оптимальності. За наявності мети максимізації значень цільової функції, або їх мінімізації доцільно використовувати чебишевський критерій, що дає змогу безпосередньо оцінювати досягнення зазначених цілей. У цьому разі потрібно знайти такі значення \hat{x}_1^0, \hat{x}_2^0 , щоб максимальний відхил цільових функцій від раціонального компромісу був мінімально можливим з урахуванням ймовірностей відповідних ситуацій.

Для партнера 1 ця задача полягає у знаходженні \hat{x}_1^0 , за відомого значення $x_2 = x_2^0$, щоб значення нев'язки

$$\Delta_1 = \max_{x_1} [p_1^{(q_1)} | f_1^{(q_1)} - f_1(x_1, x_2^0, \alpha_1^{(q_1)}) |] \quad (12)$$

було мінімальним

$$\Delta_1 |_{x=x_1^0} = \Delta_1^0 = \min_{x_1} \Delta_1. \quad (13)$$

Для партнера 2 за відомого $x_1 = x_1^0$ потрібно знайти таке \hat{x}_2^0 , щоб значення нев'язки

$$\Delta_2 = \max_{x_2} [p_2^{(q_2)} | f_2^{(q_2)} - f_2(x_1^0, x_2, \alpha_2^{(q_2)}) |] \quad (14)$$

було мінімально можливим.

Значення \hat{x}_1^0 за умов (12), (13) визначають із системи рівнянь

$$f_1(x_1, x_2^0, \alpha_1^{(q_1)}) - f_1^{(q_1)} = 0, \quad q_1 = \overline{1, q_{01}}. \quad (16)$$

Значення \hat{x}_2^0 за умов (14), (15) визначають із системи рівнянь

$$f_2(x_1^0, x_2, \alpha_2^{(q_2)}) - f_2^{(q_2)} = 0, \quad q_2 = \overline{1, q_{02}}. \quad (17)$$

Розв'язання кожної з цих задач у загальному випадку зводиться до чебишевської задачі наближення для несумісної системи нелінійних рівнянь (16) або (17), оскільки кількість рівнянь q_1 або q_2 зазвичай більша від кількості змінних (компонент вектора x_1 або x_2). Як показано вище, пошук раціонального компромісу партнерів зводять до послідовності ітерацій і завершують у разі виконання умов типу (11).

Задача взаємодії кількох партнерів

Нехай взаємодіють k_0 партнерів, кожен з яких має власну мету, описувану відомою цільовою функцією вигляду

$$f_k(x_1, \dots, x_k, \dots, x_{k_0}), \quad k = \overline{1, k_0},$$

де x_k - вектор параметрів k -го партнера. Партнери обмінюються інформацією про значення параметрів $x_k = x'_k$. При цьому, кожному партнерові відомі всі значення x'_k інших партнерів. Розв'язати задачу розкриття невизначеностей за цих умов можна з урахуванням двох варіантів.

1. Кожен k -й партнер розв'язує задачу окремо, але передає іншим партнерам інформацію про вибрані значення параметрів x_k і ступінь задоволення розв'язків, прийнятих іншими партнерами $(x'_1, \dots, x'_{k-1}, x'_{k+1}, \dots, x'_{k_0})$.

2. Рішення приймаються колективно і знаходять раціональний компроміс щодо введення певних критеріїв або ступеня важливості цілі кожного партнера.

Формалізацію і розв'язання наведених задач виконують за схемою для варіанта В лише з такою відмінністю: замість двох оптимізують k_0 функцій. Розглянемо варіант 2 для двох випадків.

1. Задано ступінь важливості для всіх цілей.

2. Задано додаткові умови на зразок: максимізувати деякий критерій за певних обмежень.

Розглянемо формалізацію цих задач, використовуючи прийом зведення задачі розкриття невизначеності до чебишевської задачі наближення для несумісної системи рівнянь.

Для першого випадку задачу розкриття невизначеності формулюють так: потрібно знайти такі значення $x_1^0, \dots, x_k^0, \dots, x_{k_0}^0$, щоб значення нев'язки

$$\Delta = \max_k [V_k | f_k(x) - f_k^* |], \quad (18)$$

взятої за міру чебишевського наближення системи рівнянь

$$f_k(x) - f_k^* = 0, \quad k = \overline{1, k_0} \quad (19)$$

було мінімально можливим:

$$\Delta |_{x=x^0} = \Delta^0 = \min_x \Delta, \quad (20)$$

де $x = \{x_1, \dots, x_k, \dots, x_{k_0}\}$; V_k - коефіцієнт важливості цілі k -го партнера; f_k^* - задане (бажане) значення цільової функції k -го партнера.

Формально ця задача збігається з розглянутою задачею розкриття невизначеності цілей, коли кожна ціль характеризує певний коефіцієнт важливості k_i .

Задачу розкриття невизначеності для другого випадку можна сформулювати так: потрібно знайти такі значення $x_1^0, \dots, x_k^0, \dots, x_{k_0}^0$, щоб забезпечити максимум заданого критерію

$$F(x_1, \dots, x_k, \dots, x_{k_0}) \rightarrow \max_{x_k} \quad (21)$$

за обмежень

$$f_k(x_1, \dots, x_k, \dots, x_{k_0}) \geq f_k^*. \quad (22)$$

Визначимо $F(x_1, \dots, x_k, \dots, x_{k_0})$ як

$$F(x) = \sum_{k=1}^{k_0} f_k(x) \quad (23)$$

або

$$F(x) = \frac{\sum_{k=1}^{k_0} V_k f_k(x)}{\sum_{k=1}^{k_0} V_k}. \quad (24)$$

Тут прийнято, що у критерії (21) цільові функції $f_k(x)$ усіх партнерів мають однаковий ступінь важливості, а в критерії (24) ступінь важливості цілі кожного партнера враховано показником V_k при $k = \overline{1, k_0}$. У загальному випадку задачу максимізації функції (23) або (24) з обмеженнями (22) можна звести до типової задачі нелінійного програмування.

Проблемні питання, що мають місце при застосуванні існуючих підходів щодо вирішення досліджуваної задачі.

Аналіз існуючих підходів до вирішення досліджуваної задачі, які наведені вище, дозволяє зробити висновок про те, що існують проблемні питання щодо можливості їх застосування.

До числа таких відносяться наступні:

1. У випадку застосування існуючого методу до розв'язування задачі взаємодії двох партнерів при невиконанні умови про наявність двох аргументів у цільових функціях партнерів:

- у випадку наявності одного аргументу виключається активний вплив 2-го партнера на формування (конструювання) раціонального рішення задачі. У такому разі задачу доцільно розв'язувати як задачу пошуку раціонального компромісу на множині Парето;

- у випадку наявності більше двох аргументів порушується умова рівноправності партнерів щодо впливу на формування (конструювання) раціонального рішення задачі, оскільки одному з партнерів доведеться формувати пропозицію щодо оптимальних значень певної кількості аргументів, а іншому – щодо іншої кількості аргументів.

Наведена проблема матиме місце як при розв'язуванні задачі взаємодії двох партнерів за відсутності ситуаційної невизначеності, так і за її наявності.

2. У випадку застосування існуючого методу до розв'язування задачі взаємодії кількох (більше двох) партнерів при невиконанні умови про співпадання кількості партнерів з кількістю аргументів у їх цільових функціях, як і у випадку двох партнерів, порушується умова рівноправності партнерів щодо впливу на формування (конструювання) раціонального рішення задачі.

3. У наведених методах залишається поза увагою питання формування розв'язку в межах фізично допустимих значень аргументів цільової функції.

4. Наведені методи не адаптовані на вирішення задач за наявності обмежень виду (5).

Таким чином, наявність прикладних задач, математичні моделі яких мають вид (1)-(5), та наведені проблемні аспекти застосування існуючих методів до їх розв'язування, обумовлюють необхідність пошуку механізмів щодо усунення наведених проблемних питань.

Авторський механізм вирішення досліджуваної задачі.

Авторське бачення механізмів вирішення досліджуваної задачі (1)-(5) стосується формування області допустимих рішень і пошуку раціонального рішення в цій області.

Отже, розглянемо оптимізаційну задачу (1)-(5).

Алгоритм методу її вирішення вбачається наступним.

1. Встановлюється область допустимих рішень задачі (1)-(5).

При цьому враховується наступне.

Областю визначення функції $f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ з математичної точки зору є множина M_1 : $M_1 = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R\}$, а з фізичної точки зору множина F_1 : $F_1 = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ має фізичний зміст}\}$. Слід зауважити, що множини M_1 і F_1 можуть співпадати, хоча в загальному випадку є різними.

У множині M_1 складові її елементів належать множинам дійсних чисел, наприклад $x_1 \in M_{11}, x_2 \in M_{12}, \dots, x_n \in M_{1n}$. У множині F_1 складові її елементів також належать множинам дійсних чисел, наприклад $x_1 \in F_{11}, x_2 \in F_{12}, \dots, x_n \in F_{1n}$.

Тоді областю визначення функції $f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$ є множина $A_1 = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in (M_{11} \cap F_{11}), x_2 \in (M_{12} \cap F_{12}), \dots, x_n \in (M_{1n} \cap F_{1n})\}$.

Введемо позначення $A_{11} = M_{11} \cap F_{11}, A_{12} = M_{12} \cap F_{12}, \dots, A_{1n} = M_{1n} \cap F_{1n}$.

Отже, $A_1 = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in A_{11}, x_2 \in A_{12}, \dots, x_n \in A_{1n}\}$.

Областю визначення функції $f_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$ з математичної точки зору є множина $M_k : M_k = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R\}$, а з фізичної точки зору множина $F_k : F_k = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : f_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \text{ має фізичний зміст}\}$. Слід зауважити, що множини M_k і F_k у загальному випадку є різними.

У множині M_k складові її елементів належать множинам дійсних чисел, наприклад $x_1 \in M_{k1}, x_2 \in M_{k2}, \dots, x_n \in M_{kn}$. У множині F_k складові її елементів також належать множинам дійсних чисел, наприклад $x_1 \in F_{k1}, x_2 \in F_{k2}, \dots, x_n \in F_{kn}$.

Тоді областю визначення функції $f_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$ є множина $A_k = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in A_{k1}, x_2 \in A_{k2}, \dots, x_n \in A_{kn}\}$, у якій

$$A_{k1} = M_{k1} \cap F_{k1}, A_{k2} = M_{k2} \cap F_{k2}, \dots, A_{kn} = M_{kn} \cap F_{kn}.$$

Далі знаходиться область $A = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in (A_{11} \cap A_{21} \cap \dots \cap A_{k1}), x_2 \in (A_{12} \cap A_{22} \cap \dots \cap A_{k2}), \dots, x_n \in (A_{1n} \cap A_{2n} \cap \dots \cap A_{kn})\}$.

Крім цього, знаходиться область $O = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in (O_{11} \cap O_{21} \cap \dots \cap O_{k1}), x_2 \in (O_{12} \cap O_{22} \cap \dots \cap O_{k2}), \dots, x_n \in (O_{1n} \cap O_{2n} \cap \dots \cap O_{kn})\}$, у якій $O_{ij} \left(i = \overline{1, k}, j = \overline{1, n} \right)$ - область можливої зміни змінної $x_j \left(j = \overline{1, n} \right)$ функції $f_i \left(i = \overline{1, k} \right)$ в обмеженнях (5).

Тоді область допустимих рішень задачі (1)-(5) являє собою множину $D = A \cap O$, елементи якої знаходяться так:

$$D = \left\{ (x_1, x_2, \dots, x_n) : x_j \in \left((A_{1j} \cap A_{2j} \cap \dots \cap A_{kj}) \cap (O_{1j} \cap O_{2j} \cap \dots \cap O_{kj}) \right), \left(j = \overline{1, n} \right) \right\}. \quad (25)$$

У подальшому вважатимемо, що $D = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) : x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n\}$ і називатимемо цю область областю Парето для задачі (1)-(5).

Слід зауважити, що в разі аналітичних труднощів визначення множини $D = A \cap O$ можна скористатися інструментальними можливостями, які надають відповідні алгоритми та ЕОМ.

2. Встановлюється раціональне рішення задачі (1)-(5) в області Парето D .

Для цього пропонується звести багатокритеріальну задачу до однокритеріальної на основі застосування технічних обмежень [2], що базуються на принципах мінімаксу

$\min_D \max_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*}$ та максиміну $\max_D \min_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*}$, де $i = \overline{1, k}$. А далі слід знайти те значення $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, при якому $\min_D \max_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \max_D \min_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*}$.

Хід реалізації кроку 2 алгоритму можна оцінити з таблиць 1, 2.

Таблиця 1

Елементи області $D = \{(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n\}$				$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$	$f_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$	...	$f_k(x_1, x_2, \dots, x_n)$
$x_1 \in D_1$	$x_2 \in D_2$	...	$x_n \in D_n$				
$t_1 =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_1)$	$f_2(t_1)$	...	$f_k(t_1)$
$t_2 =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_2)$	$f_2(t_2)$	...	$f_k(t_2)$
			
$t_{l-1} =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_{l-1})$	$f_2(t_{l-1})$	...	$f_k(t_{l-1})$
$t_l =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_l)$	$f_2(t_l)$	...	$f_k(t_l)$
$t_{l+1} =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_{l+1})$	$f_2(t_{l+1})$	...	$f_k(t_{l+1})$
...			
$t_s =$ $(x_1, x_2, \dots, x_n): x_1 \in D_1, x_2 \in D_2, \dots, x_n \in D_n$				$f_1(t_s)$	$f_2(t_s)$	...	$f_k(t_s)$

Таблиця 2

ЕЛЕМЕНТ и області D	$\frac{f_1(t_l)}{f_1^*},$ $l = \overline{1, s}$	$\frac{f_2(t_l)}{f_2^*},$ $l = \overline{1, s}$	...	$\frac{f_k(t_l)}{f_k^*},$ $l = \overline{1, s}$	$\max \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\min \max \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\min \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\max \min \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$
t_1	$\frac{f_1(t_1)}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_1)}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_1)}{f_k^*}$	$\max \frac{f_i(t_1)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{f_i(t_1)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	
t_2	$\frac{f_1(t_2)}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_2)}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_2)}{f_k^*}$	$\max \frac{f_i(t_2)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{f_i(t_2)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	

t_{l-1}	$\frac{f_1(t_{l-1})}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_{l-1})}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_{l-1})}{f_k^*}$	$\max \frac{f_i(t_{l-1})}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{f_i(t_{l-1})}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	
t_l	$\frac{f_1(t_l)}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_l)}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_l)}{f_k^*}$	$\max \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\min \max \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\min \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	$\max \min \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$
t_{l+1}	$\frac{f_1(t_{l+1})}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_{l+1})}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_{l+1})}{f_k^*}$	$\max \frac{f_i(t_{l+1})}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{f_i(t_{l+1})}{f_i^*}$ $i = \overline{1, k}$	

					$i = \overline{1, k}$		$i = \overline{1, k}$	
...
t_s	$\frac{f_1(t_s)}{f_1^*}$	$\frac{f_2(t_s)}{f_2^*}$	...	$\frac{f_k(t_s)}{f_1^*}$	$\max \frac{f_i(t_s)}{f_i^*}$		$\min \frac{f_i(t_s)}{f_i^*}$	
					$i = \overline{1, k}$		$i = \overline{1, k}$	

3 табл. 2 впливає, що якщо $\min \max \frac{f_i(t_l)}{f_i^*} =$
 $\min_D \max_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \max_D \min_i \frac{f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f_i^*} = \max \min \frac{f_i(t_l)}{f_i^*}$ у точці t_l , то $t_l =$
 $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$.

Слід відмітити, що окремим частковим завданням реалізації кроку 2 алгоритму є формування масиву точок t_l області D . У разі комп'ютерної побудови області D це завдання може бути вирішене шляхом реалізації процедури вкладених циклів. Якщо ж область D сформована аналітично, то для задання масиву точок t_l слід коректно вибрати крок дискретизації, зважаючи на вид функцій $f_i (i = \overline{1, k})$.

Слід відмітити, що наведений авторський алгоритм вирішення досліджуваної у даній роботі задачі буде дещо модифікований у випадку, коли різні ситуації є не рівно ймовірними.

Розглянемо такий випадок докладніше.

Нехай у задачі (1)-(5) мають місце фактори ризику. Тоді задача набуде наступного вигляду.

Нехай взаємодіє k партнерів, цільові функції яких мають вид

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_1), f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_2), \dots, f_k(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_k). \quad (26)$$

У функціях (26) $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ - параметри, що характеризують ситуаційну невизначеність для кожного партнера.

Кожен з цих параметрів може набувати певних дискретних значень з заданими ймовірностями, які можна оцінити з табл. 3.

Таблиця 3

Можливі значення параметрів α_i та відповідних ймовірностей p_i , з якими вони можуть мати місце, $i = \overline{1, k}$						
α_1	p_1	α_2	p_2	...	α_k	p_k
α_{11}	p_{11}	α_{21}	p_{21}	..	α_{k1}	p_{k1}
α_{12}	p_{12}	α_{22}	p_{22}	...	α_{k2}	p_{k2}
...
α_{1q_1}	p_{1q_1}	α_{2q_2}	p_{2q_2}	...	α_{kq_k}	p_{kq_k}

Слід зауважити, що в загальному випадку q_1, q_2, \dots, q_k не рівні між собою.

Партнери у процесі активної взаємодії можуть обмінюватися інформацією про свої дії.

Кожен із партнерів намагається максимізувати значення математичного сподівання своєї цільової функції.

Тобто, партнер 1 прагне забезпечити

$$Mf_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_1) \rightarrow \max, \quad (27)$$

партнер 2 -

$$Mf_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_2) \rightarrow \max, \quad (28)$$

партнер k -

$$Mf_k(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_k) \rightarrow \max. \quad (29)$$

При цьому, кожен з партнерів не готовий до невиконання обмежень

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_1) \geq f_1^*, f_2(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_2) \geq f_2^*, \dots, f_k(x_1, x_2, \dots, x_n, \alpha_k) \geq f_k^*. \quad (30)$$

Необхідно знайти такі значення $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$, при яких виконувалися б умови (30), і які б задовольняли кожного партнера.

Алгоритм розв'язування задачі (26)-(30) може мати наступний вигляд.

1. Реалізується крок 1 алгоритму розв'язування задачі (1)-(5).

У результаті його реалізації знаходиться область D допустимих рішень задачі (1)-(5) у вигляді (25).

2. Знаходяться ймовірності реалізації точок $t_l, l = \overline{1, s}$, що наведені в табл. 2, кожним партнером.

Для цього враховується наступне.

Параметр α_1 , що характеризує для гравця 1 ситуаційну невизначеність, може набувати окремих значень з певними ймовірностями, що можуть бути оцінені з табл. 4. У табл. 4 наведено також області можливих рішень, що обиратимуться гравцем 1 у разі реалізації конкретного значення параметра α_1 , і точки, які належать цим областям.

Таблиця 4

Можливі значення параметра α_1	Ймовірності, з якими з'являються можливі значення параметра α_1	Область можливих рішень, що обиратимуться гравцем 1 у разі реалізації конкретного значення параметра α_1	Точки, які належать області можливих рішень, що обиратимуться гравцем 1 у разі реалізації конкретного значення параметра α_1			
$\alpha_{1.1}$	$p_{1.1}$	$D_{1.1}$	$t_{1.1.1}$	$t_{1.1.2}$	...	$t_{1.1.\alpha_{11}}$
$\alpha_{1.2}$	$p_{1.2}$	$D_{1.2}$	$t_{1.2.1}$	$t_{1.2.2}$	...	$t_{1.2.\alpha_{12}}$
...
$\alpha_{1.q_1}$	$p_{1.q_1}$	$D_{1.q_1}$	$t_{1.q_1.1}$	$t_{1.q_1.2}$	...	$t_{1.q_1.\alpha_{1q_1}}$

Слід зауважити, що $\sum_{w=1}^{q_1} p_{1.w} = 1, \bigcup_{w=1}^{q_1} D_{1.w} = D$, потужності областей $D_{1.w}$ різні, але в сукупності всі точки цих областей формують множину точок, що наведена в табл. 2, як елементи області D . При цьому, одна і та ж точка t , з числа наведених у табл. 4, може одночасно належати різним областям $D_{1.w}$.

Також слід відмітити і те, що ймовірність появи елемента $t_l, l = \overline{1, s}$ області $D_{1.w}$ для 1-го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_1 , буде такою, як наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Елементи області D	Унікальне позначення елементів області D у випадку дослідження поведінки 1-го гравця	Ймовірності появи елемента області D для 1-го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_1
t_1	$t_{1.1}$	$P_{1.1}$
t_2	$t_{2.1}$	$P_{2.1}$
t_{l-1}	$t_{l-1.1}$	$P_{l-1.1}$
t_l	$t_{l.1}$	$P_{l.1}$
t_{l+1}	$t_{l+1.1}$	$P_{l+1.1}$
...
t_s	$t_{s.1}$	$P_{s.1}$

При цьому, для відшукування ймовірностей $p_{l.1}$, $l = \overline{1, s}$ слід скористатися формулою

$$p_{l.1} = \sum_{w=1}^{q_l} p_{1.w}, \quad (31)$$

у якій під знаком \sum знаходяться ті елементи другого стовпця табл. 4, що відповідають областям $D_{1.w}$, яким належить точка $t_{l.1} = t_l$.

Цілком аналогічно, параметр α_k , що характеризує для гравця k ситуаційну невизначеність, може набувати окремих значень з певними ймовірностями, що можуть бути оцінені з табл. 6. У табл. 6 наведено також області можливих рішень, що обиратимуться гравцем k у разі реалізації конкретного значення параметра α_k , і точки, які належать цим областям.

Таблиця 6

Можливі значення параметра α_k	Ймовірності, з якими з'являються можливі значення параметра α_k	Область можливих рішень, що обиратимуться гравцем k у разі реалізації конкретного значення параметра α_k	Точки, які належать області можливих рішень, що обиратимуться гравцем k у разі реалізації конкретного значення параметра α_k			
$\alpha_{k.1}$	$p_{k.1}$	$D_{k.1}$	$t_{k.1.1}$	$t_{k.1.2}$	...	$t_{k.1.\alpha_{k1}}$
$\alpha_{k.2}$	$p_{k.2}$	$D_{k.2}$	$t_{k.2.1}$	$t_{k.2.2}$	...	$t_{k.2.\alpha_{k2}}$
...
$\alpha_{k.q_k}$	$p_{k.q_k}$	$D_{k.q_k}$	$t_{k.q_1.1}$	$t_{k.q_1.2}$	...	$t_{k.q_1.\alpha_{kqk}}$

Слід зауважити, що $\sum_{w=1}^{q_k} p_{k.w} = 1$, $\bigcup_{w=1}^{q_k} D_{k.w} = D$, потужності областей $D_{k.w}$ різні, але в сукупності всі точки цих областей формують множину точок, що наведена в табл. 2, як елементи області D . При цьому, одна і та ж точка t , з числа наведених у табл. 6, може одночасно належати різним областям $D_{k.w}$.

Також слід відмітити і те, що ймовірність появи елемента $t_l, l = \overline{1, s}$ області D для k -го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_k , буде такою, як наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Елементи області D	Унікальне позначення елементів області D у випадку дослідження поведінки k -го гравця	Ймовірності появи елемента області D для k -го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_k
t_1	$t_{1,k}$	$P_{1,k}$
t_2	$t_{2,k}$	$P_{2,k}$
t_{l-1}	$t_{l-1,k}$	$P_{l-1,k}$
t_l	$t_{l,k}$	$P_{l,k}$
t_{l+1}	$t_{l+1,k}$	$P_{l+1,k}$
...
t_s	$t_{s,k}$	$P_{s,k}$

При цьому, для відшукування ймовірностей $p_{l,k}, l = \overline{1, s}$ слід скористатися формулою

$$p_{l,k} = \sum_{w=1}^{q_k} p_{k,w}, \quad (32)$$

у якій під знаком \sum знаходяться ті елементи другого стовпця табл. 6, що відповідають областям $D_{k,w}$, яким належить точка $t_{l,k} = t_l$.

3. Встановлюється раціональне рішення задачі (26)-(30) в області Парето D .

Для цього пропонується звести багатокритеріальну задачу до однокритеріальної на основі застосування технічних обмежень [2], що базуються на принципах мінімаксу $\min \max \frac{p_{l,i} f_i(t_l)}{f_i^*}$ та максиміну $\max \min \frac{p_{l,i} f_i(t_l)}{f_i^*}$, де $i = \overline{1, k}$. А далі слід знайти те значення $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$, при якому $\min \max \frac{p_{l,i} f_i(t_l)}{f_i^*} = \max \min \frac{p_{l,i} f_i(t_l)}{f_i^*}$.

Хід реалізації кроку 3 алгоритму можна оцінити з табл. 8-9.

Таблиця 8

Елементи області D	$f_1(t_l), l = \overline{1, s}$	Ймовірності появи елемента області D для 1-го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_1	...	$f_k(t_l), l = \overline{1, s}$	Ймовірності появи елемента області D для k -го гравця з урахуванням ймовірностей, з якими з'являються можливі значення параметра α_k
t_1	$f_1(t_1)$	$P_{1,1}$	...	$f_k(t_1)$	$P_{1,k}$
t_2	$f_1(t_2)$	$P_{2,1}$	...	$f_k(t_2)$	$P_{2,k}$
...
t_{l-1}	$f_1(t_{l-1})$	$P_{l-1,1}$	...	$f_k(t_{l-1})$	$P_{l-1,k}$
t_l	$f_1(t_l)$	$P_{l,1}$	...	$f_k(t_l)$	$P_{l,k}$
t_{l+1}	$f_1(t_{l+1})$	$P_{l+1,1}$	...	$f_k(t_{l+1})$	$P_{l+1,k}$

...
t_s	$f_1(t_s)$	$p_{s,1}$	$f_k(t_s)$	$p_{s,k}$

Таблиця 9

Елементи області D	$\frac{p_{l,1}f_1(t_l)}{f_1^*}$, $l = \overline{1, s}$	...	$\frac{p_{l,k}f_k(t_l)}{f_k^*}$, $l = \overline{1, s}$	$\max \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\min \max \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\min \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\max \min \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$
t_1	$\frac{p_{1,1}f_1(t_1)}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{1,k}f_k(t_1)}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{1,i}f_i(t_1)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{p_{1,i}f_i(t_1)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	
t_2	$\frac{p_{2,1}f_1(t_2)}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{2,k}f_k(t_2)}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{2,i}f_i(t_2)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{p_{2,i}f_i(t_2)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	
...
t_{l-1}	$\frac{p_{l-1,1}f_1(t_{l-1})}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{l-1,k}f_k(t_{l-1})}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{l-1,i}f_i(t_{l-1})}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{p_{l-1,i}f_i(t_{l-1})}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	
t_l	$\frac{p_{l,1}f_1(t_l)}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{l,k}f_k(t_l)}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\min \max \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\min \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	$\max \min \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$
t_{l+1}	$\frac{p_{l+1,1}f_1(t_{l+1})}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{l+1,k}f_k(t_{l+1})}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{l+1,i}f_i(t_{l+1})}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{p_{l+1,i}f_i(t_{l+1})}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	
...
t_s	$\frac{p_{s,1}f_1(t_s)}{f_1^*}$	...	$\frac{p_{s,k}f_k(t_s)}{f_k^*}$	$\max \frac{p_{s,i}f_i(t_s)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$		$\min \frac{p_{s,i}f_i(t_s)}{f_i^*}$, $i = \overline{1, k}$	

З табл. 9 випливає, що якщо $\min \max \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*} = \max \min \frac{p_{l,i}f_i(t_l)}{f_i^*}$ у точці t_l , то $t_l = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$.

Програмно-алгоритмічне забезпечення реалізації авторського механізму удосконалення існуючого підходу щодо вирішення досліджуваної задачі.

Для реалізації першого наведеного алгоритму було опрацьовано відповідний програмний додаток. Середовищем його розробки було обрано Microsoft Visual Studio 2017, як одне з найпотужніших середовищ розробки для мови C# [18-20]. Застосування вибраної мови програмування C# дозволило реалізувати завдання, що описане вище. Фрагмент такої реалізації, що стосується наведеного алгоритму, наведений нижче.

```

Class1 obj = new Class1(Convert.ToDouble(textBox1.Text),
Convert.ToDouble(textBox2.Text));
obj.Obrah();
int ii, jj;
for ( ii = 1,; ii <= obj.x1; ii++)
{
    for ( jj = 1; jj <= obj.x2; jj++)
    {
        if (obj.f1[ii - 1, jj - 1] >= Convert.ToDouble(textBox1.Text))
        {
            richTextBox1.Text += "\t" + x + "\t" + y + "\t" + obj.f1[ii - 1, jj - 1] + "\n";
            mass[ii * jj] = obj.f1[ii - 1, jj - 1];
        }
        if (obj.f2[ii - 1, jj - 1] >= Convert.ToDouble(textBox2.Text))
        {
            richTextBox2.Text += "\t" + x + "\t" + y + "\t" + obj.f2[ii - 1, jj - 1] + "\n";
            mass1[ii * jj] = obj.f2[ii - 1, jj - 1];
        }
        if (obj.f3[ii - 1, jj - 1] >= Convert.ToDouble(textBox3.Text))
        {
            richTextBox3.Text += "\t" + x + "\t" + y + "\t" + obj.f2[ii - 1, jj - 1] + "\n";
            mass2[ii * jj] = obj.f2[ii - 1, jj - 1];
        }
        if (obj.f1[ii - 1, jj - 1] >= Convert.ToDouble(textBox1.Text)&& obj.f2[ii - 1, jj - 1]
        >= Convert.ToDouble(textBox2.Text)&& obj.f3[ii - 1, jj - 1] >= Convert.ToDouble(textBox3.Text))
        {
            gg[h, 0] = x;
            gg[h, 1] = y;
            gg[h, 2] = obj.f1[ii - 1, jj - 1];
            gg[h, 3] = obj.f2[ii - 1, jj - 1];
            gg[h, 4] = obj.f3[ii - 1, jj - 1];
            h++;
        }
    }
}
for(int i = 0; i < h; i++)
{
    arr1[i] = Math.Round(gg1[i, 2] / Convert.ToDouble(textBox1.Text), 3);
    arr2[i] = Math.Round(gg1[i, 3] / Convert.ToDouble(textBox2.Text), 3);
    arr3[i] = Math.Round(gg1[i, 4] / Convert.ToDouble(textBox3.Text), 3);
    if (arr1[i] >= arr2[i] && arr1[i] >= arr3[i])
        Max[i] = arr1[i];
    else if (arr2[i] >= arr1[i] && arr2[i] >= arr3[i])
        Max[i] = arr2[i];
    else if (arr3[i] >= arr1[i] && arr3[i] >= arr2[i])
        Max[i] = arr3[i];
    if (arr1[i] <= arr2[i] && arr1[i] <= arr3[i])
        Min[i] = arr1[i];
    else if (arr2[i] <= arr1[i] && arr2[i] <= arr3[i])
        Min[i] = arr2[i];
    else if (arr3[i] <= arr1[i] && arr3[i] <= arr2[i])
        Min[i] = arr3[i];
}

```

```

}
MinMax=Max[0];
for (int i = 0; i < Max.Length; i++)
{
    if (MinMax > Max[i])
    {
        MinMax = Max[i];
        minmaxPos = i;
    }
}
MaxMin =Min[0];

for (int i = 0; i < Min.Length; i++)
{
    if (MaxMin < Min[i])
    {
        MaxMin = Min[i];
        maxminPos = i;
    }
}
}

```

Результати роботи додатку, що опрацьований авторами та відповідає наведеному методу, можуть бути оцінені з рис. 1-2.

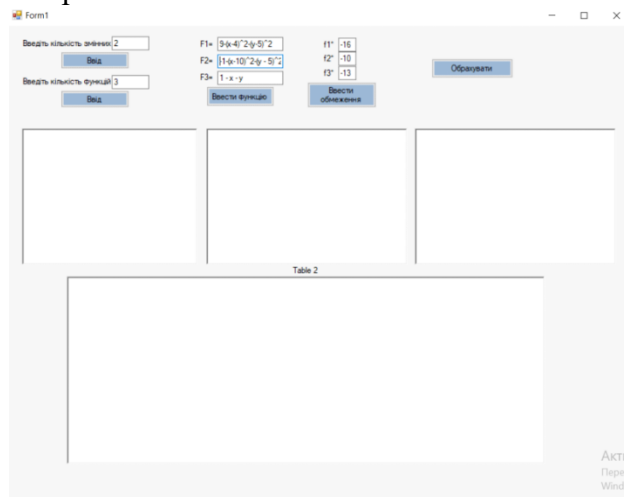


Рисунок 1 – Головне вікно програмного додатку

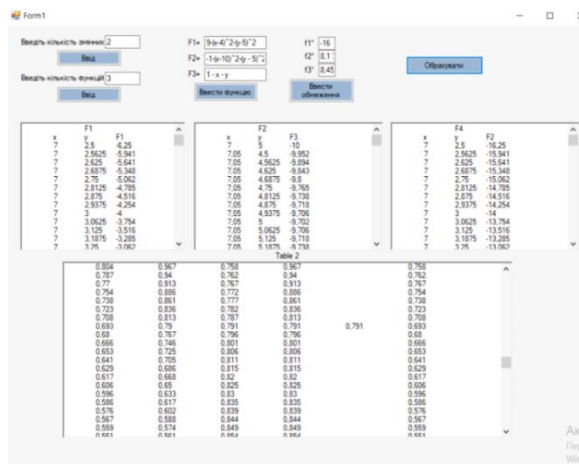


Рисунок 2 – Вікно результатів розрахунків

Висновки й перспективи подальших досліджень. За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що запропонований підхід щодо реалізації механізмів попереднього виявлення області допустимих рішень для всіх учасників конфлікту забезпечує удосконалення науково-методичного апарату вирішення задачі розкриття невизначеності конфліктів, у яких кількість партнерів і аргументів цільових функцій, що визначають мету їх діяльності, не обов'язково співпадають. Слід зауважити, що запропонований підхід може застосовуватись до розв'язування задачі розкриття невизначеності конфліктів як у випадку відсутності, так і наявності ситуаційної невизначеності.

Обґрунтування механізмів реалізації наведеної ідеї, а також апробація удосконаленої у роботі моделі на основі конкретного прикладу визначає перспективи подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Нагель Э., Ньюман Д. Теорема Геделя. М.: Знание, 1970. 63 с.
2. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. К.: Видавнича група ВНУ, 2007. 544 с.
3. Боровик О. В., Боровик Л. В., Матохнюк Л. О. Вища математика: Диференціальне числення функції однієї і багатьох змінних. Частина 2: навчальний посібник. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. – 640 с.
4. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабалюк. – К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
6. Жадлун З.О., Галаєва Л.В., Шульга Н.Г. Математичне програмування : Посібник / З.О. Жадлун, Л.В. Галаєва, Н.Г. Шульга. – К.: ЦП «Компринт», 2013. – 360 с.
7. Математичні методи дослідження операцій: підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрик та ін. – Суми: Сумський державний університет, 2017. – 212 с.
8. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація: навч. посібник [Електронний ресурс] / Вітлінський В. В., Терещенко Т. О., Савіна С. С. - К. : КНЕУ, 2016. - 303 с.
9. Дослідження операцій / посібник [для студентів економічних спеціальностей вищих навчальних закладів] / Галаєва Л.В., Рогоза Ш.А., Шульга Н.Г. – К.: ЦП «Компринт», 2015. – 231 с.
10. Боровик О. В., Боровик Л. В. Дослідження операцій в оперативно-службовій діяльності органів охорони державного кордону: Підручник. – Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2009. – 444 с.
11. Кормен, Томас Х., Лейзерсон, Чарльз И., Ривест, Рональд Л., Штайн, Клиффорд. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1296 с.
12. А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман Построение и анализ вычислительных алгоритмов. – М.: Мир, 1979. – 536 с.
13. Кузьмичов А. І. Оптимізаційні методи і моделі: практикум в Excel: Навч. пос. – К.: ВПЦ АМУ, 2013. – 438 с.
14. Чуб І. А., Новожилова М. В., Андронов В. А. Моделювання прикладних оптимізаційних задач розміщення об'єктів з метричними характеристиками, що змінюються: монографія / Чуб І. А., Новожилова М. В., Андронов В. А. – Харків: НУЦЗ України, 2017. – 167 с.
15. D'Apke, C. Efficient Controls for Traffic Flow on Networks / C. D'Apke, P. I. Kogut, R. Manzo // Dynamical and Control Systems. - 16(2010). - № 3. - P. 407-437.
16. Jahn J. Vector Optimization: Theory, Applications and Extensions. - Berlin: Springer-Verlag, 2004. - 400 p.
17. Семенова Н. В. Подход к решению векторных задач дискретной оптимизации на комбинаторном множестве перестановок [Текст] / Н. В. Семенова, Л. Н. Колечкина, А. Н. Нагорная // Кибернетика и системный анализ. - 2008. - № 3. - С. 158-172.
18. Rambo J., Blaha M. UML 2.0 Object-Oriented Modeling and Development / J. Rambo, M. Blaha; - 2nd ed. - St. Petersburg: Piter, 2007. - 544 p.
19. McDonald, Matthew. WPF 4: Windows Presentation Foundation in NET 4.0 with examples for C# 2010 for professionals: - М.: LLC "I.D. William", 2011. - 1024 p.

20. Johnson Bruse Professional Visual Studio 2013/Bruse Johnson - Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2014 - 1048 p.

REFERENCES:

1. Naghelj, E. and Njjuman, D. (1970), "Teorema Ghedelja" [Gödel's theorem], Znanye, Moscow, 63 p.
2. Zghurovsjkyj, M.Z. and Pankratova, N.D. (2007), "Osnovy systemnogho analizu" [Fundamentals of systems analysis], Vydavnycha ghrupa BHV, Kiev, 544 p.
3. Borovyk, O.V., Borovyk, L.V. and Matokhnjuk L.O. (2016), "Vyshha matematyka: Dyferencialjne chyslennja funkciji odnijeji i baghatjokh zminnykh. Chastyna 2" [Higher Mathematics: Differential calculus of a function of one and many variables. Part 2], Vydavnyctvo NADPSU, Khmeljnyckyj, 640 p.
4. Kushlyk-Dyvuljsjka, O.I., Polishhuk, N.V., Orel, B.P. and Shtabaljuk P.I. (2014), "Teorija jmovirnostej ta matematychna statystyka" [Probability theory and mathematical statistics], NTUU «KPI», Kiev, 212 p.
5. Ventcelj, E.S. (1972), "Yssledovanye operacyj" [Operations Research], Sovetskoe radyo, Moscow, 552 p.
6. Zhadlun, Z.O., Ghalajeva, L.V. and Shuljgha N.Gh. (2013), "Matematychni programuvannja" [Mathematical programming], CP «Komprynt», Kiev, 360 p.
7. Lavrov, Je.A., Perkhun, L.P. and Shendryk, V.V. (2017), "Matematychni metody doslidzhennja operacij" [Mathematical methods of operations research], Sumsjkyj derzhavnyj universytet, Sumy, 212 p.
8. Vitlinsjkyj, V.V., Tereshhenko, T.O. and Savina, S.S. (2016), "Ekonomiko-matematychni metody ta modeli: optymizacija" [Economic and mathematical methods and models: optimization], KNEU, Kiev, 303 p.
9. Ghalajeva, L.V., Roghoza, Sh.A. and Shuljgha, N.Gh. (2015), "Doslidzhennja operacij /posibnyk [dlja studentiv ekonomichnykh specialjnostej vyshhykh navchaljnykh zakladiv]" [Operations research / manual [for students of economic specialties of higher educational institutions]], CP «Komprynt», Kiev, 231 p.
10. Borovyk, O.V. and Borovyk, L.V. (2009), "Doslidzhennja operacij v operatyvno-sluzhbovij dijaljnosti orghaniv okhorony derzhavnogho kordonu" [Research of operations in the operational and service activities of state border guards], Vydavnyctvo Nacionaljnoji akademiji Derzhavnoji prykordonnoji sluzhby Ukrainy imeni B. Khmeljnyckogho, Khmeljnyckyj, 444 p.
11. Kormen, Tomas, X., Lejzerson, Charljz, Y., Ryvest, Ronaljd L., Shtajn and Klyfford (2005), "Alghorytmy: postroenye y analiz" [Algorithms: construction and analysis], Yzdateljskyj dom "Vyljams", Moscow, 1296 p.
12. Akho, A., Khopkroft, Dzh. and Uljman, Dzh. (1979), "Postroenye y analiz vychyslyteljnykh alghorytmov" [Construction and analysis of computational algorithms], Myr, Moscow, 536 p.
13. Kuzjmychov, A.I. (2013), "Optymizacijni metody i modeli: praktykum v Excel" [Optimization methods and models: a workshop in Excel], VPC AMU, Kiev, 438 p.
14. Chub, I.A, Novozhylova, M.V. and Andronov, V.A. (2017), "Modeljuvannja prykladnykh optymizacijnykh zadach rozmishhennja ob'ektiv z metrychnymy kharakterystykamy, shho zminjutsja: monoghracija" [Simulation of applied optimization problems of placement of objects with changing metric characteristics], NUCZ Ukrainy, Kharkiv, 167 p.
15. D'Apke, C. Efficient Controls for Traffic Flow on Networks / C. D'Apke, P. I. Kogut, R. Manzo // Dynamical and Control Systems. - 16(2010). - № 3. - P. 407-437.
16. Jahn J. Vector Optimization: Theory, Applications and Extensions. - Berlin: Springer-Verlag, 2004. - 400 p.
17. Semenova, N.V., Kolechkyna, L.N. and Naghornaja, A.N. (2008), "Podkhod k reshenju vektornykh zadach diskretnoj optymizacyy na kombynatornom mnozhestve perestavok" [An approach to solving vector problems of discrete optimization on a combinatorial set of permutations], Cybernetics and Systems Analysis, No. 3, pp. 158-172.
18. Rambo J., Blaha M. UML 2.0 Object-Oriented Modeling and Development / J. Rambo, M. Blaha; - 2nd ed. - St. Petersburg: Piter, 2007. - 544 p.
19. McDonald, Matthew. WPF 4: Windows Presentation Foundation in NET 4.0 with examples for C# 2010 for professionals: - M.: LLC "I.D. William", 2011. - 1024 p.
20. Johnson Bruse Professional Visual Studio 2013/Bruse Johnson - Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc., 2014 - 1048 p.

**IMPROVEMENT OF THE SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS OF DISCLOSURE
OF UNCERTAINTY IN THE PROBLEMS OF INTERACTION**

For a large class of systems analysis tasks, an important issue is the disclosure of uncertainties. This is due to the variety of goals, properties and characteristics of the studied objects. Today, the task of revealing the uncertainty of conflicts in the tasks of choosing the goals of plans and plans in the process of interaction of partners or opposition of competitors or opponents remains relevant. There are methods in systems analysis that allow you to solve these problems in some cases. They are based on the application of methods of mathematical analysis and probability theory. However, these methods are applicable only to problems in which the number of partners and the arguments of the objective functions that determine the purpose of their activities coincide. Since in practice, as a rule, such a restriction is not met, it is important to find approaches to solving problems of disclosing the uncertainty of conflicts in the tasks of choosing the goals of plans and plans in the process of interaction of partners arbitrary number of partners and arguments of their target functions.

The paper formalizes the problem of revealing uncertainty in the interaction of partners, in which the number of arguments of the objective functions is not necessarily equal to the number of partners. The analysis of the existing approach to the solution of the formulated problem in the absence and presence of situational uncertainty for two and any number of partners is also carried out. Based on the application of technical constraints, an approach to solving the problem is proposed and software and algorithmic support for its implementation is formed. This approach is based on the preliminary formation of the area of acceptable solutions (Pareto area) and the subsequent search for a rational solution in this area. The proposed approach can be applied to solving the problem of disclosing the uncertainty of conflicts both in the absence and in the presence of situational uncertainty. Software-algorithmic implementation of the author's approach to solving the research problem allows to automate individual stages of problem solving.

Keywords: mathematical model, uncertainty, partners, scope, technical limitations.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЦИКЛУ ЗАСТОСУВАННЯ БОЙОВОЇ МАШИНИ МОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ОЗБРОЄННЯ

Наведені результати аналізу досвіду створення розвідувально-ударних комплексів провідними країнами світу та можливості їх застосування у ході реалізації концепцій війни на основі підсумків збройних конфліктів за останні роки. Метою дослідження є проведення системного аналізу тривалості функціонального циклу використання бойової машини мобільного комплексу озброєння в умовах вогневого впливу сучасних засобів повітряного нападу противника та розвідувально-ударних комплексів. Запропонована логістична модель оцінки часу застосування бойової машини мобільного комплексу озброєння в процесі експлуатації. Логістична модель дозволяє розраховувати загальну тривалість функціонального циклу бойового застосування бойової машини мобільного комплексу озброєння. Дослідження часових характеристик процесу застосування бойової машини проводиться з використанням методу критичного шляху. Розрахунок моделі дозволяє визначити операції критичного шляху бойової машини, час виконання функціонального циклу бойової роботи. При рішенні задачі розрахунку часу, який необхідний для виконання функціонального циклу застосування бойової машини, за початкові дані використані нормативи виконання операцій відомого зразка озброєння. Результати моделювання пропонується використати при оцінюванні впливу часу виконання функціонального циклу на бойову ефективність бойової машини. Такі результати є базовими для формування вимог до тактико-технічних характеристик бойової машини мобільного комплексу озброєння. Результати моделювання дозволяють визначити математичне очікування часу виконання функціонального циклу бойової машини з метою забезпечення потрібного рівня живучості та пред'явити вимоги до параметрів рухомості транспортних агрегатів перспективних бойових машин мобільних комплексів озброєння.

Ключові слова: розвідувально-ударний комплекс, мобільний комплекс озброєння, функціональний цикл, стартова позиція, транспортний агрегат, логістична модель

Вступ. На основі проведеного аналізу умов ведення бойових дій виявлено, що особливістю сучасних військових конфліктів на прикладі конфліктів на Близькому Сході та на Кавказі, а саме в Сирії, Лівії, Нагорному Карабасі, є активне застосування розвідувально-ударних комплексів (РУК), здатних одночасно виявляти, розпізнавати і уражати велику кількість цілей на території противника. При цьому скорочується час від моменту виявлення цілі до нанесення по неї вогневого удару до декількох хвилин. Отже, оцінка можливості успішного виконання поставленого перед бойовою машиною (БМ) мобільного комплексу озброєння (МКО) бойового завдання в умовах протидії РУК має високу науково-технічну та практичну актуальність.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Існує низка науково-технічних видань, в яких наведено результати аналізу основних тактико-технічних характеристик (ТТХ), принципів дії, застосування тощо, у тому числі, надаються перспективні напрямки щодо створення та розвитку РУК, а також приведені різні аспекти щодо забезпечення живучості складних виробів військової техніки [1-13].

Зокрема, у [1] обґрунтовано вимоги до виживання зенітних ракетних комплексів (ЗРК) в умовах вогневого впливу засобів повітряного нападу (ЗПН) противника, але без врахування можливих етапів виконання бойового завдання.

У [2] визначені класифікаційні ознаки, характерні для об'єднання засобів розвідки, цілевказівки, наведення та ураження, що дозволяють комплексно вирішувати завдання вибору

і оперативного ураження повітряних і наземних цілей. Висвітлені тенденції розвитку та проблемні питання щодо створення таких комплексів. Запропоновано удосконалену класифікацію РУК.

У [3] запропонована методика комплексної оцінки живучості складних систем військового призначення з урахуванням їх структурної уразливості і функціональності.

У [7, 8] розглянуті методики щодо оцінки ефективності бойового застосування засобів ураження.

У [9] надано методологічний підхід щодо оцінки логістичної моделі застосування мобільного комплексу озброєнь, але без врахування сучасних змін, щодо використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) як ударної складової РУК.

У даній роботі зроблено спробу розв'язання наукової задачі обґрунтування часових характеристик функціонування БМ МКО для підвищення її живучості.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є розробка логістичної моделі оцінки часу застосування БМ МКО у процесі експлуатації та проведення системного аналізу тривалості функціонального циклу (ФЦ) її використання бойової машини в умовах вогневого впливу сучасних ЗПН противника.*

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:

- проведено оцінку часу застосування РУК противника;
- розроблено логістичну модель оцінки часу застосування БМ МКО у процесі експлуатації;
- отримано результати оцінки тривалості ФЦ БМ МКО залежно від умов обстановки.

Оцінка часу застосування розвідувально-ударного комплексу. Розвідувально-ударний комплекс є організаційним і технічним об'єднанням єдиної інформаційно-комунікаційної мережі засобів збору та обробки інформації, геоінформаційного та навігаційно-часового забезпечення, підтримки прийняття рішень і управління, наведення та ураження, що дозволяють комплексно вирішувати завдання вибору та оперативного ураження цілей [2].

Функціонально до складу РУК входять: засоби розвідки (радіолокаційні, радіо- і радіотехнічні, лазерні, телевізійні, оптико-електронні тощо); засоби комплексу автоматизації обробки інформації та бойового управління; засоби зв'язку та передачі даних; засоби навігації; засоби вогневого ураження (керована та не керована зброя та боєприпаси, що наводяться самостійно) та/або радіоелектронного придушення; засоби доставки боєприпасів (ракети різних типів, артилерія, літаки, підводні човни, кораблі, роботизовані безпілотні, безекіпажні) комплекси [2].

Залежно від можливої глибини вогневого (ударного) впливу РУК діляться на: розвідувально-вогнєві комплекси (РВК), що діють на глибину від 30 до 40 км ("тактична зона" – зона бойової побудови тактичних і оперативно-тактичних формувань [2]. Як правило РУК – це автономні артилерійські комплекси, до складу яких входять засоби артилерійської розвідки, ураження (у тому числі на основі високоточних боєприпасів), автоматизованого управління вогнем і забезпечення стрільби; безпосередньо РУК, які діють на глибину до 200 км ("оперативна зона" – зона оперативної побудови оперативних і оперативно-стратегічних об'єднань; РУК, що діють на глибину до 500 км ("оперативно-стратегічна зона" – зона оперативної побудови перших і наступних ешелонів, резервів і тилу) [2].

За результатами проведеного аналізу збройних конфліктів (бойових дій і операцій) за останні п'ять років встановлено, що у сучасних війнах домінуючу роль відіграє високотехнологічне озброєння (ВТО). Одним із основних типів ВТО є БПЛА, які визначають нову стратегію та тактику збройного протистояння на театрах бойових дій, що характеризується зменшенням часу на виявлення та ураження цілей. Як приклад, активне та ефективне застосування розвідувальних та розвідувально-ударних БПЛА у бойових діях демонструє друга війна за Нагірний Карабах восени 2020 року.

У багатьох арміях світу вже застосовують БПЛА для виконання розвідувальних і ударних функцій: розрізняють розвідувальні БПЛА, ударні БПЛА та БПЛА як "керовані

ракети" (дрон-камікадзе).

Наприклад, БПЛА, що активно був застосований під час загострення у Нагорному Карабасі, – є турецький ударний Bayraktar TB2. БПЛА Bayraktar TB2 (розробник – турецька компанія Baykar) – здатний діяти як під контролем оператора, так і самостійно. Такий БПЛА можна застосовувати як для розвідки і спостереження, так і для нанесення ударів по противнику [6].

БПЛА Bayraktar TB2 здатний нести керовані авіабомби з лазерним наведенням MAM (Mini Akıllı Mühimmat – "Розумні міні-боєприпаси") виробництва турецької компанії Roketsan Roket Sanayii ve Ticaret A.S., вага яких складає від 8 кг до 23 кг, а бойова частина дозволяє ефективно вражати автомашини і легко броньовану техніку.

БПЛА Bayraktar TB2, при вазі у 630 кг, може: піднімати 55 кг корисного навантаження – боєприпасів, здійснювати політ на максимальній висоті – 8200 м та розвивати швидкість до 220 км/ч. Радіус дії БПЛА на прямий радіовидимості – 150 км [6].

При цьому, Bayraktar TB2 працюють з висоти, практично недосяжної для ЗРК малої дії, включаючи високоенергетичний переносний ЗРК "Верба" та його аналоги. Тим більше, що з відстані у 8 км, БПЛА планує по гірці, тому, навіть ЗРК "Оса" і "Стріла-10" своїми зенітними керованими ракетами не спроможні знищити його, або можуть вести обстріл ЗКР лише лічені секунди.

Азербайджанська армія також використовувала широкий перелік БПЛА і інших моделей. За даними центру дослідження військових БПЛА американського Бард-коледжу [5], рік тому на озброєнні азербайджанської армії знаходились ізраїльські розвідувально-дозорні БПЛА Heron TP (дві одиниці) і Hermes 4507 (10 одиниць), баражуючи боєприпаси Sky Striker (100 одиниць) і Harop (50 одиниць). Крім того, у Азербайджані, на спільному з Ізраїлем підприємстві Azad systems випускалися дрон-розвідник Aerostar та "камікадзе" Orbiter1K і Orbiter-3. Нарешті, ще два дальніх Hermes 900 були у берегової охорони.

Інформаційний ресурс Туреччини "Clash Report" [6], який демонстрував успіхи Азербайджанської армії у Карабаському конфлікті, склав детальну статистику застосування турецького ударно-розвідувального БПЛА Bayraktar TB2.

Згідно з опублікованими даними, станом на 08.11.2020 р., Азербайджан знищив 976 цілей. Зокрема, тільки засобів протиповітряної оборони знищено 31 одиницю, з них: БМ 9К35 "Стріла-10" – 6 одиниць, БМ 9К33 "Оса" – 16 одиниць, БМ 9К330 "Тор" – 2 одиниці, ЗРК С-300 ПС – 7 одиниць. Крім того, знищено 26 засобів зв'язку та РЕБ, 187 одиниць бронетехніки, 257 одиниць артилерійського озброєння, 386 одиниць автотранспорту та 89 вогневих точок, складів та інших об'єктів військової інфраструктури. Загальна вартість знищених об'єктів оцінюється у 1,9 млрд доларів США [6]. Таким чином, за результатами проведеного аналізу конфлікту у Нагорному Карабасі виявлено, що використання зразків ВТО значно підвищує ефективність застосування сил та засобів.

В даних умовах необхідним стає перегляд відомого методологічного апарату щодо оцінки ефективності застосування існуючих зразків озброєння та військової техніки, та обґрунтуванню вимог до перспективних зразків [14]. Тому, у багатьох провідних країнах світу зараз здійснюється перегляд теорії побудови і практики застосування, як нових комплексів, так і тих, що є на озброєнні з урахуванням організації та ведення бойових дій у єдиному інформаційному та кібернетичному просторі [15-19].

При цьому, велика увага приділяється питанню щодо скорочення часу повного циклу бойового застосування комплексу озброєння з метою випередження противника у досягненні мети проведення операції (бою). У даній роботі – це ФЦ бойового застосування МКО.

Логістична модель оцінки часу застосування БМ МКО у процесі експлуатації. Застосуванням БМ МКО у процесі експлуатації є послідовність дій (заходів), що спрямовані на виконання бойового завдання. Тривалість цих дій може бути різною у залежності від алгоритму та змісту, технічної досконалості обладнання, навченості особового складу, дії противника тощо.

Для оцінки загальних витрат часу, який необхідний для виконання бойового завдання,

можливо використати ФЦ [9], що є основним об'єктом інтегрованої логістики. За умови застосування БМ МКО під ФЦ можливо розглядати повний цикл бойового застосування від моменту отримання завдання, до моменту її виконання та залишення БМ позиційного району (ПР). До основних властивостей ФЦ можливо віднести наступні [9]:

- базова структура ФЦ (зв'язки, вузли і тощо) однакова для фізичного розподілу, матеріально-технічного забезпечення, виробництва і постачання;
- конфігурацію окремого ФЦ необхідно досліджувати, щоб з'ясувати найважливіші взаємозв'язки і лінії контролю, не залежно від складності логістичної системи у цілому;
- оскільки часові інтервали виконання окремих операцій, з яких складається ФЦ, є випадковими величинами, то й увесь цикл – є випадковою величиною, що підкоряється певному закону розподілу.

Постановка завдання. Розрахувати загальний час виконання ФЦ бойового застосування БМ МКО у ПР.

Зроблені наступні припущення:

- БМ при виконанні ФЦ застосування за призначенням у ПР витрачає час на відпрацювання п'яти основних операцій функціонування. Операція, при описі мережевої моделі виконання ФЦ, є процес виконання БМ певної дії за кінцевий час;

- БМ у один і той же момент часу здатна виконувати тільки одну операцію;
- операція, що складається з послідовності операцій є адитивною операцією;
- операція, яку неможливо розбити на складові без зміни рівня деталізації моделі є елементарною операцією;

- T_1 – математичне очікування (МО) часу операції переміщення БМ у ПР, розгортання з похідного положення у бойове, орієнтування;

- T_2 – МО часу операції приведення БМ у бойову готовність у ПР з проведенням функціонального контролю;

- T_3 – МО часу операції залишення стартової позиції (СП) після приведення БМ у бойову готовність у ПР;

- T_4 – МО часу операції обстрілу цілей одним бойовим комплектом БМ;

- T_5 – МО часу операції залишення СП БМ після стрільби.

Для математичного опису тривалості ФЦ, що є сумою часу виконання окремих операцій, можливо скористатися відомими формулами теорії ймовірності [14]:

- для середнього значення часу ФЦ:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^N \bar{T}_i; \quad (1)$$

- для середнього квадратичного відхилення (СКВ) ФЦ:

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + 2 \sum_{i \leq j} r_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad (2)$$

де \bar{T}_i - середнє значення часу виконання і-ої операції ФЦ;

σ_i - середнє значення СКВ виконання і-ої операції ФЦ;

r_{ij} - коефіцієнт кореляції між і-й і j-й операціями ФЦ;

N - кількість етапів ФЦ БМ МКО.

Знак $i \leq j$ означає, що підсумовування поширюється на усі можливі попарні поєднання випадкових величин.

За умови, якщо дані величини не корельовані, то, при усіх $r_{ij} = 0$, вираз (2) можливо записати у спрощеному вигляді наступним чином:

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2.$$

Ймовірнісне трактування ФЦ дозволяє визначити його тривалість T_0 із заданою довірчою ймовірністю.

Наприклад, за умови, що функція розподілу часу ФЦ підкоряється нормальному закону:

$$T_0 = \bar{T} + x_p \sigma_T, \quad (3)$$

де x_p - показник нормального розподілу, що відповідає ймовірності P .

Отже, за допомогою виразу (3) можливо розрахувати час виконання бойового завдання, тобто вирішити завдання "точно-вчасно".

Відомо, що одна з основних проблем логістичного менеджменту – це зменшення невизначеності ФЦ.

Детальніше дослідження часових характеристик процесу бойового застосування БМ можливо провести завдяки використанню методу критичного шляху. Розрахунок моделі дозволяє визначити операції критичного шляху, МО часу виконання ФЦ і дисперсію.

Початкові дані для розрахунку можливо отримати завдяки обчисленню за відомими даними максимального та мінімального часу виконання операції, або розкладанням адитивної операції на складові, для яких час виконання і СКВ вже відомі.

При відомих значеннях максимального та мінімального часу виконання операції, параметри закону розподілу можливо обчислити наступним чином [14]:

$$m_t = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}; \quad (4)$$

$$\sigma_t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{5}, \quad (5)$$

де m_t - МО випадкової величини;

t_{\min} - мінімальне значення випадкової величини;

t_{\max} - максимальне значення випадкової величини;

σ_t - СКВ випадкової величини.

Для послідовності адитивних операцій МО часу виконання, СКВ випадкової величини можливо обчислювати за центральною граничною теоремою теорії ймовірності.

Отже, нехай подія A – є умовою початку n операцій, що виконуються одночасно. Завершення усіх n операцій є умовою настання події B . За умови, якщо для i -ої послідовності операцій виконується умова:

$$m_t - 3 \cdot \sigma_i > \max(m_j + 3 \cdot \sigma_j) \quad \forall i, j = \{1, \dots, n\}, j \neq i, \quad (6)$$

$$M|t_{AB}| = m_i, \quad (7)$$

$$\sigma_{AB} = \sigma_i, \quad (8)$$

де m_i - МО часу виконання i -ої операції;

m_j - МО часу виконання j -ої операції;

σ_i - СКВ часу виконання i -ої операції;

σ_j - СКВ часу виконання j -ої операції;

$M|t_{AB}|$ - МО часу виконання n операцій;

σ_{AB} - СКВ часу виконання n операцій.

Припущення щодо нормального закону розподілу базується на центральній граничній теоремі, проте питання про правомочність такого допущення залишається відкритим у зв'язку з наявністю протиріччя між фізичним сенсом величини, що досліджується та властивостями нормального закону розподілу. Враховуючи, що бета-розподілення справедливо тільки за умови виконання певних співвідношень між мінімальною, максимальною та нормальною оцінками закону розподілу, а експериментальні дані точніше апроксимуються нормальним законом розподілу.

Приймається гіпотеза про нормальний закон розподілу часу виконання адитивної

операції та обмежується область визначення функції розподілу позитивним значенням аргументу.

За максимальну та мінімальну оцінки закону розподілу часу виконання операцій використовується час виконання нормативів на оцінки "задовільно" і "відмінно".

Загальний середній час на виконання ФЦ (бойового завдання) може бути визначений наступним чином:

$$\bar{T}_{\text{фц}} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5,$$

$$\text{де } T_1 = \sum_{i=1}^D t_{i,i+1}, T_2 = \sum_{k=1}^F t_k, T_3 = \sum_{j=1}^E \tau_k, T_4 = \sum_{j=1}^E t_j, T_5 = \sum_{j=1}^E \tau_j;$$

$t_{i,i+1}$ - МО часу руху між i -м і $(i+1)$ -м пунктами;

t_k - МО часу приведення у бойову готовність у k -му пункті;

τ_k - МО часу згорання після приведення у бойову готовність у k -му пункті (у точці зустрічі або біля СП);

t_j - МО часу обстрілу цілей одним бойовим комплектом БМ в j -му пункті (на СП);

τ_j - МО часу згорання після обстрілу цілей у j -му пункті;

D, E, F - кількість ділянок руху БМ, між СП, тоді:

$$\bar{T}_{\text{фц}} = \sum_{i=1}^D t_{i,i+1} + \sum_{k=1}^F t_k + \sum_{k=1}^F \tau_k + \sum_{j=1}^E t_j + \sum_{j=1}^E \tau_j. \quad (9)$$

Таким чином, час початку виконання бойового завдання T_H можливо визначити за формулою:

$$T_H = T_{\text{ТВ}} - T_0, \quad (10)$$

де $T_{\text{ТВ}}$ - необхідний час на виконання бойового завдання.

Оскільки усі складові (9) є випадковими величинами, то їх можливо характеризувати відповідними статистичними параметрами: середніми значеннями і СКВ.

З випадкового характеру складових процесу бойового застосування виходить, що поняття "точно вчасно" повинно розглядатися з урахуванням довірчих границь часу на виконання бойового завдання. Це означає, що час на прибуття БМ на СП або у район зосередження після виконання бойового завдання "точно вчасно" є верхньою границею та може бути визначений аналогічно виразу (3) наступним чином:

$$T_{\text{ТВ}} = T_H + \bar{T}_0 + x_p \sigma_T. \quad (11)$$

При рішенні задачі розрахунку часу, який необхідний для виконання ФЦ бойового застосування БМ у ПР, за початкові дані використані нормативи виконання операцій ЗРК "Оса-АКМ" з правил стрільби ЗРК "Оса" [20].

Зроблено припущення, що дані величини не корельовані, середні відстані між СП, і кордоном ПР дорівнюють 2 км.

Обговорення результатів моделювання. У табл. 1 приведено вхідні данні та результати розрахунку для БМ МКО, представлено результати оцінки тривалості ФЦ для двох можливих варіантів дій, вибір яких визначається умовами обстановки.

Умовою успішного виконання ФЦ БМ МКО є не ураження БМ МКО засобами РУК противника за наступний час:

$$\bar{T}_{\text{ФЦ}} = \sum_{i=1}^N \bar{T}_i.$$

Таблиця 1

Параметри тривалості операцій ФЦ БМ в процесі експлуатації

Операція ФЦ	Норматив		m _t хв.	σ _i хв.	Кількість повторень Варіант 1	Середній час виконання операцій, хв.	Кількість повторень Варіант 2	Середній час виконання операцій, хв.
	t _{min.} хв.	t _{max.} хв.						
Переміщення БМ на СП у ПР	0,6	0,8	0,7	0,05	3	2,05	2	1,37
Розгортання БМ з орієнтуванням	4,5	6	5,1	0,3	1	5,1	1	5,1
Приведення БМ у бойову готовність	8	9,5	8,6	0,3	1	8,6	1	8,6
Залишення СП після приведення БМ у готовність	0,25	0,5	0,35	0,05	1	0,35	1	0,35
Обстріл цілей (1 комплект)	4	5	4,4	0,2	2	8,8	2	8,8
Залишення СП БМ після стрільби	0,27	0,37	0,31	0,02	2	0,6	2	0,6
Середній час ФЦ (СКВ)				0,92		25,5		24,8
Середній час ФЦ з довірчою ймовірністю P = 0,9						28,1		27,4

Висновки. Таким чином, удосконалено логістичну модель щодо оцінки часу застосування БМ МКО у процесі експлуатації, яка дозволяє розраховувати загальну тривалість ФЦ бойового застосування з урахуванням можливої зміни логістики застосування БМ МКО.

Результати досліджень, що отримані за логістичною моделлю, можуть бути використані при оцінці впливу часу виконання ФЦ на бойову ефективність БМ МКО, що може стати основою для формування вимог до тактико-технічних характеристик БМ, у тому числі й для видів забезпечення бойового застосування.

Дана модель може бути використана у рамках дослідження різних експлуатаційних і бойових властивостей, як існуючих, так і перспективних БМ МКО.

Подальшим напрямком досліджень може бути розробка удосконаленої логістичної моделі оцінки часу застосування БМ МКО, яка враховує особливості зміни умов використання БМ МКО у процесі експлуатації в сучасних умовах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ланецкий Б.Н., Лук'янчук В.В., Лісовенко В.В., Ніколаєв І. М. Методичний підхід до обґрунтування вимог до виживаємості зенітних ракетних комплексів в умовах вогневої протидії противника. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2014. № 2 (15). С. 93 - 97.

2. Даник Ю.Г., Шестаков В.І. Особливості розвитку та удосконалена класифікація розвідувально-ударних комплексів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2017. № 3 (30). С. 126 - 136.

3. Сафонов Р.А. Методика оценки живучести сложных систем военного назначения [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://xreferat.ru/17/622-1-metodika-ocenki-zhivuche-sti-slozhnyh-sistem-voennogo-naznacheniya.html>.

4. Інформаційне агентство [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.dsnews.ua/ukr/politics/voyna-besplotnikov-kak-ukraina-mozhet-ispolzovat-na-donbasse-opyt-azerbaydzhana-v-nagornom-karabahe-26102020-403927/> Війна безпілотників. Як Україна може використати на Донбасі: досвід Азербайджану в Нагірному Карабасі. Дата доступу: 13.11.2020.

5. The center for the study of the drone at Bard College [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dronecenter.bard.edu/The-Drone-Databook>. Дата доступу: 13.11.2020.

6. Інформаційний ресурс [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://twitter.com/clashreport/Clash-Report>. Дата доступу: 13.11.2020.

7. Греков В.П., Акуленко ІМ., Балабуха О.С. Оцінювання ефективності бойового застосування засобів ураження з врахуванням впливу технічних характеристик систем розвідки та управління. Збірник

наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту. 2005. Вип. 2 (2). С. 79 - 84.

8. Федченко В.В., Греков В.П., Балабуха О.С. Оцінювання ефективності ракетних ударів з урахуванням надійності озброєння та протидії противника. Моделювання та інформаційні технології. 2005. Вип. 2 (2). С. 41 - 46.

9. Герасимов С.В., Дергачов К.Ю., Балабуха О.С. Логістична модель застосування мобільного комплексу озброєнь. Матеріали наукового семінару "Моделювання в військово-наукових дослідженнях". 2006. Вип. 3 (4). С. 10 - 13.

10. Герасимов С.В., Дергачов К.Ю., Балабуха О.С. Структура програмного забезпечення диспетчерської системи слєження за подвижними об'єктами. Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції "Європейська наука XXI століття: Стратегія і перспективи розвитку". 2006. Т. 23. С. 6 - 8.

11. П'янков А.А., Пискачов ОІ., Балабуха О.С. Підвищення рухомості самохідної пускової установки як перспективний шлях зменшення імовірності її ураження. Збірник наукових праць Об'єднаного науково-дослідного інституту. 2007. Вип. 1 (6). С. 54 - 59.

12. Коваль В.В., Балабуха О.С. Основні вимоги до перспективної високоточної зброї повітряного базування. Системи озброєння і військова техніка. 2016. Вип. 1 (45). С. 85 - 87.

13. Кожушко Я.М., Гричанюк О.М., Саморок М.Г., Балабуха О.С. Аналіз можливого бортового оснащення радіотехнічними та телевізійними системами безпілотного літального апарату. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. 2018. Вип. 4 (58). С. 37 - 42.

14. Хемді А. Таха. Дослідження операцій. К.: ДИАЛЕКТИКА, 2018. 1056 с.

15. Herasimov S., Belevshchuk Y., Ryapolov I. and alc. Characteristics of radiolocation scattering of the SU-25T attack aircraft model at different wavelength ranges. *Information and controlling systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 6/9 (96). 2018. P. 22 – 29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.152740>.

16. Herasimov S., Tymochko O., Kolomiitsev O. and alc. Formation Analysis Of Multi-Frequency Signals Of Laser Information Measuring System. *EUREKA: Physics and Engineering*. № 5. 2019. P. 19 – 28. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00984>.

17. Kriukov O., Melnikov R., Bilenko O. and alc. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics. *Applied physics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. № 1/5 (97). 2019. P. 40 – 46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.

18. Herasimov S., Roshchupkin E., Kutsenko V. and alc. Statistical analysis of harmonic signals for testing of Electronic Devices. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. № 8 (7). 2020. P. 3791 – 3798. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/143872020>.

19. Herasimov S., Pavlenko M., Roshchupkin E. and alc. Aircraft flight route search method with the use of cellular automata. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. № 9 (4). P. 5077 – 5082. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/129942020>.

20. Оса (зенітний ракетний комплекс) [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0_\(%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0_(%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81)).

REFERENCES:

1. Lanetsky B. N., Lukyanchuk V. V., Lisovenko V. V. and Nikolaev I. M. (2014), "Methodical approach to substantiation of requirements to survival of anti-aircraft missile systems in the conditions of enemy fire resistance". *Science and technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, 2(15). P. 93 - 97.

2. Danyk Yu. G. and Shestakov V. I. (2017), "Features of development and improved classification of reconnaissance and strike systems". *Modern information technologies in the field of security and defense*, 3(30). P. 126 - 136.

3. Safonov R. A. "Methods for assessing the survivability of complex military systems" [Electronic resource]. Access mode: <http://xreferat.ru/17/622-1-metodika-ocenki-zhivuche-sti-slozhnyh-sistem-voennogo-naznacheniya.html>. Access date: 15.11.2020.

4. "Information agency" [Electronic resource]. Access mode: <https://www.dsnews.ua/ukr/politics/voyna-bes-pilotnikov-kak-ukraina-mozhet-ispolzovat-na-donbasse-opyt-azerbaydzhana-v-nagornom-karabahe-26102020-403927>. Access date: 15.11.2020.

5. "The center for the study of the drone at Bard College" [Electronic resource]. Access mode: https://dronecenter.bard.edu/The_Drone_Databook. Access date: 15.11.2020.

6. "Information agency" [Electronic resource]. Access mode: <https://twitter.com/clashreport/> Clash

Report. Access date: 15.11.2020.

7. Grekov V. P., Akulenko I. M. and Balabukha O. S. (2005), "Estimation of efficiency of combat use of means of defeat taking into account influence of technical characteristics of systems of reconnaissance and management". Collection of scientific works of the Joint Research Institute, 2(2). P. 79 - 84.

8. Fedchenko V. V., Grekov V. P. and Balabukha O. S. (2005), "Evaluation of the effectiveness of missile strikes taking into account the reliability of weapons and enemy counteraction". Modeling and information technology, 2(2). P. 41 - 46.

9. Gerasimov S. V., Dergachev K. Yu. and Balabukha O. S. (2006), "Logistic model of application of a mobile complex of armaments". Proceedings of the scientific seminar "Modeling in military research", 3(4). P. 10 - 13.

10. Gerasimov S. V., Dergachev K. Yu. and Balabukha O. S. (2006), "Struktura software software of the dispatching system for tracking moving objects". Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference "European Science of the XXI Century: Strategy and Prospects for Development", 23. P. 6 - 8.

11. Pyankov A. A., Piskachev O. I. and Balabukha O. S. (2007), "Increasing the mobility of self-propelled launcher as a promising way to reduce the probability of its defeat". Collection of scientific works of the Joint Research Institute, 1(6). P. 54 - 59.

12. Koval V. V. and Balabukha O. S. (2016), "Basic requirements for promising high-precision air-based weapons". Weapons systems and military equipment, 1(45). P. 85 - 87.

13. Kozhushko Ya. M., Hrychanyuk O. M., Samorok M. G. and Balabukha O. S. (2018), "Analysis of possible onboard equipment with radio and television systems of unmanned aerial vehicles". Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force, 4(58). P. 37 - 42.

14. Hamdi A. Taha. Operations Research (2018). Kyiv: DIALECTICS. 1056 p.

15. Herasimov S., Belevshchuk Y., Ryapolov I. and alc. Characteristics of radiolocation scattering of the SU-25T attack aircraft model at different wavelength ranges. Information and controlling systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 6/9 (96). 2018. P. 22 – 29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.152740>.

16. Herasimov S., Tymochko O., Kolomiitsev O. and alc. Formation Analysis Of Multi-Frequency Signals Of Laser Information Measuring System. EUREKA: Physics and Engineering. № 5. 2019. P. 19 – 28. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00984>.

17. Kriukov O., Melnikov R., Bilenko O. and alc. Modeling of the process of the shot based on the numerical solution of the equations of internal ballistics. Applied physics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 1/5 (97). 2019. P. 40 – 46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.155357>.

18. Herasimov S., Roshchupkin E., Kutsenko V. and alc. Statistical analysis of harmonic signals for testing of Electronic Devices. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. № 8 (7). 2020. P. 3791 – 3798. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/143872020>.

19. Herasimov S., Pavlenko M., Roshchupkin E. and alc. Aircraft flight route search method with the use of cellular automata. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. № 9 (4). P. 5077 – 5082. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/129942020>.

20. Wasp (anti-aircraft missile system) [Electronic resource]. Access mode: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0_\(%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%81%D0%B0_(%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81)). Access date: 15.11.2020.

Danilov Yu., Khrol L.O., Bologov A.V., Moshnoy S.V., Solodeeva L.V.
SIMULATION OF FUNCTIONAL CYCLE OF APPLICATION COMBAT MACHINE OF THE
MOBILE WEAPONS COMPLEX

The results of the analysis of the experience of creation of reconnaissance and strike complexes by the leading countries of the world and the possibility of their application in the implementation of the concepts of war based on the results of armed conflicts in recent years are presented. The purpose of the study is to conduct a systematic analysis of the duration of the functional cycle of the combat vehicle of the mobile weapon complex in the conditions of fire influence of modern means of air attack of the enemy and reconnaissance and strike systems. The logistic model of estimation of time of application of the fighting machine of a mobile complex of armament in the course of operation is offered. The logistics model allows to calculate the total duration of the functional cycle of combat use of the combat vehicle of the mobile

armament complex. The study of the time characteristics of the process of using a combat vehicle is carried out using the critical path method. The calculation of the model allows to determine the operations of the critical path of the combat vehicle, the execution time of the functional cycle combat work. In solving the problem of calculating the time required to perform the functional cycle of the combat vehicle, for the initial data used standards for operations of a known type of weapon. The simulation results are proposed to be used in assessing the impact of the time of the functional cycle on the combat effectiveness of the combat vehicle. Such results are the basis for the formation of requirements for the tactical and technical characteristics of the combat vehicle of the mobile armament complex. The simulation results allow to determine the mathematical expectation of the time of execution of the functional cycle of the combat vehicle in order to ensure the required level of survivability and to set requirements for the mobility parameters of transport units of advanced combat vehicles of mobile weapons systems.

Keywords: reconnaissance and strike complex, mobile armament complex, functional cycle, starting position, transport unit, logistics model

УДК 519.24

д.т.н., проф. Кошовий М.Д. (НАКУ «ХАІ»)
Малкова Г.В. (НАКУ «ХАІ»)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2020/69-05>

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОШУКУ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВАРТОСТІ ПРОВЕДЕННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Експериментальні методи дослідження все більше застосовують у промисловості при оптимізації виробничих процесів. Експерименти, як правило, є багатофакторними і пов'язані з оптимізацією якості матеріалів, пошуком оптимальних умов проведення технологічних процесів, розробкою найбільш раціональних конструкцій устаткування і т.д. Застосування планування експерименту робить поведінку експериментатора цілеспрямованою і організованою, істотно сприяє підвищенню продуктивності праці та надійності отриманих результатів. Важливою перевагою є його універсальність, придатність в величезній більшості областей досліджень.

При реалізації промислового експерименту головним завданням є отримання максимального об'єму корисної інформації про вплив окремих факторів виробничого процесу за умови проведення мінімальної кількості дорогих спостережень за найкоротший проміжок часу. Тому важливого значення набуває підвищення ефективності експериментальних досліджень при мінімальних часових та вартісних витратах. Для цього доцільно розробляти системи автоматизації експериментів, які дозволять скоротити терміни проведення експериментальних досліджень і зменшити витрати на них. Об'єкт дослідження: процеси оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними і часовими витратами. Предмет дослідження: метод оптимізації, розроблений на основі алгоритму гравітаційного пошуку, який полягає у порівнянні сили тяжіння (вартості) першого рядка матриці планування експерименту до наступних рядків матриці.

При дослідженні фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень було проаналізовано працездатність та ефективність методу гравітаційного пошуку у порівнянні з раніше розробленими методами: аналіз перестановок рядків, рою частинок, табу-пошуку.

Показано зменшення вартості проведення плану експерименту та ефективність для рішення задач оптимізації в порівнянні з початковим планом та реалізацією вищевказаних методів.

Ключові слова: гравітаційний пошук, план експерименту, матриця планування, оптимальний план, оптимізація, вартість, порівняльна характеристика, виграш.

Вступ. Експериментальні методи широко використовуються як в науці, так і в промисловості. Основна мета наукового дослідження полягає в тому, щоб показати статистичну значущість ефекту впливу певного фактору на досліджуваний процес. В умовах промислового експерименту основна мета, зазвичай, полягає в отриманні максимальної кількості об'єктивної інформації про вплив досліджуваних факторів на виробничий процес за допомогою найменшого числа дорогих спостережень та за найкоротший проміжок часу. Якісне і оптимальне планування експерименту дозволяє успішно вирішувати наукові, виробничі та технологічні проблеми [1].

Розроблено метод оптимізації багатофакторного експерименту за допомогою гравітаційного пошуку [2]. У методі використовуються аналогії руху твердих тіл внаслідок їх гравітаційної взаємодії [3], його реалізація полягає у перестановці рядків матриці планування експерименту та знаходження мінімального значення вартості перестановки по відношенню до першого рядка матриці.

Працездатність та ефективність методу гравітаційного пошуку доведена на прикладі дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень [4] та у порівнянні з розробленими раніше: аналіз перестановок рядків, рою частинок та табу – пошуку.

Об'єкт дослідження: процеси оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними і часовими витратами.

Предмет дослідження: метод побудови матриці планування експерименту, оптимальної за вартістю реалізації або часовими витратами, з використанням алгоритму гравітаційного пошуку [2, 3].

Мета дослідження: розробка методу оптимізації планів багатофакторного експерименту з використанням гравітаційного пошуку [2, 3] та проведення порівняльного аналізу з раніше розробленими методами (аналіз перестановок рядків, рою частинок, табу – пошуку [4 - 6]).

Аналіз останніх публікацій. Проведений аналіз існуючих публікацій свідчить про те, що є багато прикладів побудови планів багатофакторних експериментів [7 - 9]. Такі методи як алгоритм стрибаючих жаб [10], мурашиний алгоритм [11], аналіз перестановок рядків [4], табу – пошуку [5], рою частинок [6] були розроблені раніше, про що свідчить наявність великої кількості матеріалів.

Перелічені методи використовуються для оптимізації матриці планування експерименту за вартісними (часовими) витратами та мають свої переваги та недоліки. Перевагами цих методів є працездатність та ефективність, яка доведена при дослідженні багатьох технологічних процесів, приладів та систем. Серед недоліків можна виділити низьку швидкодію (для повного перебору всіх рядків матриці планування необхідно багато часу), наявність не завжди оптимальних рішень та обмежена кількість факторів k .

Тому має сенс дослідити метод гравітаційного пошуку та зробити порівняльний аналіз вищевказаних методів з розробленим на прикладі дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень [4].

Основні матеріали дослідження. У загальному випадку, задача вибору оптимального плану багатофакторного експерименту може бути сформульована таким чином. Є повний зважений орієнтований граф G з безліччю вершин $N = 2^k$, k – кількість факторів. Ваги всіх дуг позитивні. Необхідно знайти шлях з мінімальною вартістю $S_{заг}$ проведення експерименту

$$S_{заг} = \sum_{j=2}^N \sum_{i=1}^k S_{ij} \rightarrow \min ,$$

де $S_{i,j}$ – вартість переходу від i -го до j -го дослідю.

Оптимальним рішенням є план, отриманий перестановками, який має мінімальну вартість проведення експерименту. З ростом числа факторів k кількість перетворень істотно зростає [4].

У табл. 1 наведені значення кількості факторів i перетворень для $k = 2 \dots 5$.

Таблиця 1

Кількість перетворень планів багатфакторних експериментів (БФЕ) для $k = 2 \dots 5$

Кількість факторів	Кількість дослідів у плані БФЕ	Кількість перетворень при перестановці рядків матриці планування	Кількість перетворень при перестановці стовпців матриці планування
2	4	24	2
3	8	40320	6
4	16	$2,092 \times 10^{13}$	24
5	32	$2,63 \times 10^{35}$	120

Для проведення дослідження необхідно обрати фактори, що впливають на процес, та параметр оптимізації. При дослідженні фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень у якості факторів обрані: x_1 – кут відхилення центральної осі випромінюючого елемента (далі – ВЕ) від центральної осі приймаючого елемента (далі – ПЕ), x_2 – інтервал між центральними осями ВЕ та ПЕ, x_3 – дистанція між ВЕ та ПЕ. Напруга U , мВ є параметром оптимізації. Для побудови математичної моделі у вигляді $U = f(x_1, x_2, x_3)$ достатньо застосувати повний факторний експеримент 2^3 . Опис процесу дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень наведено у роботі [4]. У табл. 2 показана початкова матриця планування експерименту.

Таблиця 2

Початкова матриця планування експерименту

Номер дослідю	Фактори		
	x_1	x_2	x_3
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 таблиці 3.

Таблиця 3

Вартості змін значень рівнів факторів

Перехід рівнів	S_{x_1} , у.о.	S_{x_2} , у.о.	S_{x_3} , у.о.
-1 \rightarrow +1	3,2	6,8	7
+1 \rightarrow -1	3	5,5	6,4

Вартість реалізації початкового плану експерименту складає $S_{\text{поч}} = 47,9$ у.о.

Для оптимізації плану повного факторного експерименту ($k = 3$) за вартісними (часовими) витратами було розроблено та досліджено метод гравітаційного пошуку. Його реалізація полягає у перестановці рядків матриці та знаходження мінімального значення вартості перестановки по відношенню до першого рядка матриці. Сутність застосування методу гравітаційного пошуку, схема реалізації якого показана на рис. 1, полягає в наступному.

Етап 1. Генерування початкової матриці планування експерименту (в залежності від кількості факторів).



Рисунок 1 – Схема реалізації методу гравітаційного пошуку

Етап 2. Введення вартості переходів між рівнями для кожного із факторів.

Етап 3. Розрахунок вартості початкової матриці планування експерименту.

Етап 4. Розрахунок значення тяжіння (вартості) першого рядка матриці планування до усіх наступних (в залежності від кількості факторів).

Етап 5. Запам'ятовування мінімального значення тяжіння та перестановка рядків матриці.

Етап 6. Здійснення розрахунку наступного переходу, починаючи від попереднього мінімального значення.

Етап 7. Виконання перевірки, чи проаналізовані всі переходи. Якщо всі переходи проаналізовані, то виконується крок 8. Якщо ні – крок 6 до завершення всіх ітерацій.

Етап 8. Розрахунок вартості оптимальної матриці планування експерименту.

Етап 9. Порівняння вартості початкового плану експерименту з оптимальним.

Етап 10. Виведення результатів дослідження.

Оптимальний за вартістю проведення план експерименту, отриманий з використанням методу гравітаційного пошуку, представлений в табл. 4.

Таблиця 4

Оптимальний план експерименту, отриманий методом гравітаційного пошуку

Номер досліду	Фактори		
	x ₁	x ₂	x ₃
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

Вартість реалізації оптимального плану експерименту становить 31,7 у.о.

Табл. 5 відображає раніше розроблені плани експерименту для дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень [4,5].

Таблиця 5

Плани експерименту для дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень

Аналіз перестановок рядків			Рой частинок				Табу-пошук				
Номер досліду	Фактори			Номер досліду	Фактори			Номер досліду	Фактори		
	x ₁	x ₂	x ₃		x ₁	x ₂	x ₃		x ₁	x ₂	x ₃
1	-1	-1	-1	1	+1	-1	-1	1	+1	+1	-1
2	-1	-1	+1	2	+1	+1	-1	2	-1	+1	-1
3	+1	-1	+1	3	-1	+1	-1	3	-1	+1	+1
4	+1	-1	-1	4	-1	+1	+1	4	+1	+1	+1
5	+1	+1	-1	5	+1	+1	+1	5	+1	-1	+1
6	+1	+1	+1	6	+1	-1	+1	6	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	7	-1	-1	+1	7	-1	-1	-1
8	-1	+1	-1	8	-1	-1	-1	8	-1	-1	+1

Вартість реалізації плану експерименту, отриманого методом аналізу перестановок рядків, складає 39,8 у.о., рою частинок – 34,9 у.о., табу – пошуку – 35,1 у.о.

У табл. 6 приведено порівняльний аналіз початкового плану експерименту з планами, отриманими наступними методами оптимізації: аналіз перестановок рядків, рою частинок, табу – пошуку, гравітаційного пошуку.

Порівняльний аналіз методів

Метод оптимізації	Вартість, у.о.	Виграш, разів
Початковий план	47,9	
Гравітаційний пошук	31,7	1,51
Аналіз перестановок рядків	39,8	1,2
Рою частинок	34,9	1,37
Табу-пошук	35,1	1,36

У результаті порівняння вартостей планів експерименту, отриманих різними методами оптимізації, можна зробити висновок, що план, оптимізований за методом гравітаційного пошуку, дає максимальний виграш у вартості реалізації. Це підтверджує працездатність та ефективність методу гравітаційного пошуку для дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень.

Висновки. Для оптимізації планів багатофакторного експерименту за вартісними витратами розроблено метод гравітаційного пошуку.

Доведена його працездатність та ефективність для дослідження фотоелектричних перетворювачів кутових переміщень. Результати досліджень показали, що розроблений метод гравітаційного пошуку дає виграш у вартості в 1,51 рази, порівняно з початковим планом експерименту. Метод буде кращі за вартістю реалізації плани експерименту у порівнянні з методами аналізу перестановок рядків, рою частинок та табу-пошуку.

Перспективи подальших досліджень полягають у створенні та застосуванні програмного забезпечення для оптимізації цим методом планів багатофакторних експериментів з кількістю факторів $k > 3$.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Воронина О.А. Математические основы планирования и проведения эксперимента: учебное пособие. Орел: изд. ОрелГТУ, 2007. 124 с.
2. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 446 с.
3. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. Информационные технологии. 2012. №7. С. 1-32.
4. Кошевой Н. Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: изд. Шевченко Р.В., 2013. 317 с.
5. 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. DOI 10.15588/1607-3274-2018-4-17.
6. Кошевой Н. Д., Беляева А. А. Применение алгоритма оптимизации роєм частиц для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №1. С. 41-49. DOI 10.15588/1607-3274-2018-1-5.
7. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Метод итерационного планирования оптимальных по стоимостным и временным затратам экспериментов. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. 2009. №19. С. 44-48.
8. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М. Оптимальное планирование эксперимента для исследования динамических объектов. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. 2009. №20. С. 57-62.
9. Кошевой Н.Д., Костенко Е.М., Заболотний А.В. Оптимальное планирование эксперимента при исследовании устройства для контроля качества диэлектрических материалов. АСУ и приборы автоматики. 2009. №147. С. 38-41.
10. 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.
11. Кошевой Н.Д., Чуйко А.С. Применение муравьиных алгоритмов для оптимизации факторных планов эксперимента. Математичне моделювання. 2013. №1. С. 92-97.

REFERENCES:

1. Voronina O.A. Mathematical foundations of planning and conducting an experiment: a tutorial. Orel: ed. Orel State Technical University, 2007. 124 p.
2. Karpenko A.P. Modern search engine optimization algorithms. Algorithms Inspired by Nature: a tutorial. M.: Publishing house of MSTU. N.E.Bauman, 2014. 446 p.
3. 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.
4. 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.
5. 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. DOI 10.15588/1607-3274-2018-4-17.
6. Koshevoy N.D., Belyaeva A.A. Application of particle swarm optimization algorithm to minimize the cost of a multivariate experiment. Radio electronics, informatics, control. 2018. No. 1, pp. 41 - 49. DOI 10.15588/1607-3274-2018-1-5.
7. Koshevoy N.D., Kostenko E.M. Method of iterative planning of optimal in terms of cost and time costs.experiments. Collection of Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University. 2009. No. 19, pp. 44-48.
8. Koshevoy N.D., Kostenko E.M. Optimal planning of the experiment for the study of dynamic objects. Collection of Military Institute of Kiev National Taras Shevchenko University. 2009. No. 20, pp. 57-62.
9. Koshevoy N.D., Kostenko E.M., Zabolotny A.V. Optimal planning of the experiment investigating a device for quality control of dielectric materials. ACS and automation devices. 2009. No. 147, pp. 38-41.
10. 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.
11. Koshevoy N.D., Chuiko A.S. Application of ant algorithms to optimize factorial experimental designs. Mathematical modeling. 2013. No. 1, pp. 92-97.

prof. Koshevoy N.D., Malkova A.V.

APPLICATION OF THE GRAVITY SEARCH METHOD TO MINIMIZE THE COST OF CONDUCTING A MULTIFACTOR EXPERIMENT

Experimental research methods are increasingly used in industry in the optimization of production processes. Experiments, as a rule, are multifactorial and are connected with optimization of quality of materials, search of optimum conditions of carrying out technological processes, development of the most rational designs of the equipment, etc. The use of experimental planning makes the behavior of the experimenter purposeful and organized, significantly increases productivity and reliability of the results. An important advantage is its versatility, suitability in the vast majority of research areas.

When implementing an industrial experiment, the main task is to obtain the maximum amount of useful information about the influence of individual factors of the production process, provided that the minimum number of expensive observations in the shortest period of time. Therefore, it is important to increase the efficiency of experimental research with minimal time and cost. For this purpose, it is expedient to develop systems of automation of experiments which will allow to reduce terms of carrying out experimental researches and to reduce expenses for them. Object of research: processes of optimization of plans of multifactor experiment on cost and time expenses. Subject of research: an optimization method developed on the basis of the gravitational search algorithm, which consists in comparing the force of gravity (cost) of the first row of the planning matrix of the experiment to the next rows of the matrix.

In the study of photoelectric transducers of angular displacements, the efficiency and effectiveness of the gravitational search method were analyzed in comparison with previously developed methods: analysis of line permutations, particle swarm, taboo search. The cost of carrying out the experiment plan and the efficiency for solving optimization problems in comparison with the original plan and the implementation of the above methods are shown.

Keywords: gravitational search, experimental plan, planning matrix, optimal plan, optimization, cost, comparative characteristics, cost benefit.

МЕТОДИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА КОМПЛЕКСНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті сформульовані основні завдання управління інформаційними мережами та послугами телекомунікацій з точки зору забезпечення їх надійного функціонування. Телекомунікаційна мережа розглядається як складна система, яка складається із багатьох компонентів, кожен із яких має свої особливості функціонування в процесі експлуатації. Визначені основні функції системи контролю телекомунікаційної мережі: виявлення несправностей і діагностування стану мережі, адміністрування мережних пристроїв, прогнозування і усунення перевантажень та інших можливих відхилень у функціонуванні мережі, забезпечення погодженої взаємодії між різними типами систем управління в цілях надання телекомунікаційних послуг із заданою якістю.

Методи аналізу та керування мережами за своєю суттю є різновидом методів ідентифікації, тобто поточного оцінювання параметрів та стану складних технічних систем. Існує тісний взаємозв'язок завдань ідентифікації та діагностики. Методи розв'язання цих завдань у значній мірі залежать від класу, до якого можна віднести об'єкт ідентифікації. Комп'ютерні та телекомунікаційні мережі відносяться до класу розподілених систем із затримками сигнальної та керуючої інформації. Для аналізу стану таких систем застосовуються методи ретроспективної ідентифікації.

Досліджено вплив затримок сигнальної і керуючої інформації на ефективність пошуку і визначення місць відмов, перевантажень і аварійних режимів в телекомунікаційних мережах. Наведені результати комп'ютерного моделювання. В роботі знайшов подальший розвиток підхід, заснований на регулярному контролі параметрів і стану мережних вузлів з урахуванням затримок надходження інформації про параметри і стан конкретного мережного вузла і затримок керуючої інформації, необхідної для регулювання параметрів мережного вузла як об'єкта управління.

Ключові слова: телекомунікаційна система, методи ідентифікації, комплексна діагностика, система управління, складна система, затримка керуючої інформації

Вступ. Одним з чинників в забезпеченні надійності телекомунікаційних мереж і систем служить ефективно управління їх ресурсами [1-5]. Однією із найважливіших задач розробки телекомунікаційної системи (ТКС) є створення системи управління (СУ), яка є спеціальною інфраструктурою, що забезпечує організацію взаємодії з компонентами різних автономних сегментів мереж передачі даних на основі єдиних інтерфейсів і протоколів обміну інформацією.

Основні завдання управління інформаційними мережами та послугами телекомунікацій з точки зору забезпечення їх надійного функціонування можна сформулювати наступним чином.

1) Процес створення ТКС – це багатоплановий процес, що складається з декількох взаємопов'язаних етапів. Після вибору структури системи, який супроводжується математичним моделюванням, виготовляється апаратура, що входить до складу системи. Контроль і випробування на принципові функції мережі також мають бути безперервним і тривалим процесом.

2) Апаратні засоби ТКС складаються з різних комплектуючих елементів. По своєму призначенню апаратура підрозділяється на засоби обчислювальної техніки, передачі, відтворення і зберігання інформації, відображення інформації, джерела живлення і т.д.

3) На функціональність ТКС в процесі експлуатації роблять вплив різноманітні чинники. Ця особливість вимагає проведення випробувань, що дозволяють виявити їх вплив в різних режимах використання системи.

4) На всіх наступних етапах створення ТКС враховуються результати перевірок та іспитів апаратури, елементи якої створені на попередніх етапах. За результатами цих іспитів вводяться корективи до початкового проекту.

5) Кожна велика система вимагає розробки своєї методики випробувань, що відображає її особливості; контроль надійності елементів, що входять до складу великої системи, слід розглядати як попередній етап контролю надійності всієї системи.

Вищесказане обумовлює актуальність і необхідність проведення досліджень щодо забезпечення надійності функціонування як окремих елементів, так і телекомунікаційної системи в цілому.

Аналіз останніх публікацій. Телекомунікаційну мережу слід розглядати як складну систему [1-5], яка складається із багатьох компонентів, кожен із яких має свої особливості функціонування в процесі експлуатації. Організаційна структура забезпечує реалізацію завдань управління, експлуатації і технічного обслуговування різноманітного комп'ютерного устаткування, оперативного контролю і адміністрування мережних пристроїв, а також погодженої взаємодії між різними типами систем управління в цілях надання послуг із заданою якістю.

У сферу управління потрапляють практично всі види мереж і систем, що існують в даний час, а також типи комп'ютерного устаткування. Об'єктами управління є комп'ютерні ресурси, що фізично представляють собою реальне устаткування, на яке подаються керуючі сигнали. Фізично компоненти керованої комп'ютерної мережі (устаткування систем комутації, систем передачі і так далі, визначувані як мережні елементи), можуть бути як зосередженими (централізованими), так і розподіленими. Основні функції системи управління ТКС можна сформулювати наступним чином.

1) Управління робочими характеристиками (якістю роботи) здійснюється через функції управління, необхідні для визначення технічного стану мережних елементів і ефективності функціонування комп'ютерної мережі в цілому. Сукупна інформація про роботу комп'ютерної мережі поступає періодично, забезпечуючи тим самим статистику роботи комп'ютерної мережі і дозволяючи планувати різні дії, що управляють. По суті, дана функціональна область визначає фазу виміру робочих характеристик.

2) Управління усуненням несправностей забезпечує можливості виявлення, визначення несправності в комп'ютерній мережі, їх реєстрацію, доведення відповідної інформації до обслуговуючого персоналу, видачу рекомендацій по усуненню несправностей.

3) Управління конфігурацією забезпечує інвентаризацію мережних елементів (їх типи, місцезнаходження, ідентифікацію і тому подібне), включення елементів в роботу, їх конфігурацію і вихід з роботи, встановлення і зміну фізичних з'єднань між елементами.

4) Управління розрахунками здійснює контроль міри використання мережних ресурсів і підтримує функції по нарахуванню оплати за це використання.

5) Управління безпекою необхідне для захисту комп'ютерної мережі від несанкціонованого доступу. Воно може включати обмеження доступу за допомогою паролів, видачу сигналів тривоги при спробах несанкціонованого доступу, відключення небажаних користувачів або, навіть, криптографічний захист інформації.

У широкому сенсі завдання контролю, діагностики та пошуку несправностей у мережному устаткуванні є завданнями теорії надійності та технічної експлуатації [6, 7]. Для мереж із незначною кількістю устаткування проблема відмов мережних вузлів стоїть не так гостро, оскільки, наприклад, сучасні комутаційні вузли (маршрутизатори, комутатори, мости, повторювачі) мають досить високу надійність. Тому в багатьох практичних ситуаціях розподіл, маршрутизація та загальне керування трафіком здійснюється цілком задовільно [4]. Проте несправності устаткування або програмного забезпечення можуть привести до дуже серйозних проблем. Наприклад, якщо маршрутизатор заявить про існування лінії, якої у нього насправді немає, або навпаки, перестане враховувати існування лінії, що є у нього, граф підмережі, через яку здійснюється доставляння даних, виявиться невірним. Якщо маршрутизатор не зможе переслати пакети або пошкодить їх при пересилці, також виникне

проблема. Нарешті, якщо у маршрутизатора закінчиться вільна пам'ять або виникне помилка в розрахунках маршрутів, також можливі різні неприємності.

Усі ці проблеми виникають не тільки при перевантаженні окремих вузлів, маршрутів, автономних сегментів або при збоях програмного забезпечення, але й при відмовах електронних елементів мережного устаткування. Все, що можна тут зробити, – це спробувати обмежити шкоду, що наноситься практично неминучим виходом з ладу устаткування. Ці проблеми і методи їх розв'язання детально обговорюються в [6-8].

Однак у всіх проаналізованих роботах завдання поточного контролю, діагностики мереж, виявлення відмов конкретних мережних вузлів та визначення типу відмови розглянуті недостатньо докладно.

Таким чином, найважливішою функціональною областю управління системи є здійснення контролю функціонування телекомунікаційної мережі й усунення перевантажень та інших можливих несправностей, що є невід'ємною частиною в забезпеченні необхідного рівня надійності мережі.

Постановка задачі дослідження. Методи аналізу та керування мережами за своєю суттю є різновидом методів ідентифікації, тобто поточного оцінювання параметрів та стану складних систем [3, 9]. Аналіз методів ідентифікації об'єктів керування і способів оцінювання їх поточного стану обумовлений тісним взаємозв'язком завдань ідентифікації та діагностики. Методи розв'язання цих завдань у значній мірі залежать від класу, до якого можна віднести об'єкт ідентифікації. Зокрема, для розподілених систем із затримками сигнальної та керуючої інформації, до яких можна віднести комп'ютерні та телекомунікаційні мережі, доцільно застосовувати методи ретроспективної ідентифікації [10].

Зважаючи на досить широку номенклатуру та велику кількість різноманітних типів мережного обладнання телекомунікаційну мережу з пакетною комутацією слід розглядати як складну систему з неповною інформацією про її стан і параметри [4]. Крім того, в таких системах мають місце затримки сигнальної і керуючої інформації, що виникають при доставці даних по каналах зв'язку і при обробці в проміжних комутаційних вузлах.

Для забезпечення стабільного функціонування цієї системи, включаючи навантаження окремих маршрутів та вузлів сегмента мережі, необхідно здійснювати постійне спостереження параметрів і стану системи пошуку відмов. При цьому слід враховувати, що затримки передачі сигнальної і керуючої інформації мають випадковий характер і можуть змінюватися в широких межах. Затримка аргументу навіть для простого диференціального рівняння першого порядку з постійними коефіцієнтами призводить до появи післядії [11-13]. Крім того, якщо вихідне рівняння має стійке рішення, стабільність рішення того ж рівняння із затриманим (запізнілим) аргументом не гарантована.

Загального методу розв'язання таких задач не існує, але встановлено [12], що найбільш ефективним методом якісного аналізу диференціальних рівнянь із затриманим аргументом є апроксимація похідних кінцевими різницями, тобто перехід від диференціальних до різницевих рівнянь. В роботі [14] показано, що при управлінні потоками і процесами в інформаційно-комунікаційних мережах мають місце затримки отримання інформації про стан і параметри мережі, які носять випадковий характер і можуть змінюватися в широких межах. Також мають місце затримки інформації, використовуваної для зміни параметрів мережних вузлів, маршрутів і автономних частин.

Оцінювання параметрів і стану телекомунікаційної мережі як динамічної системи з запізненням. Вплив затримок сигнальної і керуючої інформації на ефективність пошуку і визначення місць відмов, перевантажень і аварійних режимів в мережах зв'язку досить детально розглянуті в [3, 6-8, 11, 14]. Задача оцінювання параметрів і стану динамічної системи з запізненням, яка використовується в якості моделі сегмента мережі, представляє собою задачу ретроспективної ідентифікації [10, 13]. Неоднорідне диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами і затриманим (запізнілим) аргументом має наступний вигляд:

$$\frac{dy_{as}(t)}{dt} = by_{as}(t - \tau_k) + u(t - \tau_m), \quad (1)$$

де $y_{as}(t)$ – шукана функція; $u(t)$ – збудження; b – коефіцієнт зворотного зв'язку; τ_k, τ_m – затримки сигнальної і керуючої інформації, причому в загальному випадку $\tau_k \neq \tau_m$.

Рівняння (1) можна представити в дискретизованому вигляді, якщо апроксимувати його рівнянням в кінцевих різницях виду

$$y_{as}(n) \square y_{as}(n-1) + by_{as}(n-k) + u(n-m), \quad (2)$$

де $y_{as}(n)$ – функція стану об'єкта; $u(n-m)$ – керуючий сигнал; k і m – затримки сигналів стану і управління відповідно.

Тоді системна функція об'єкта, яка описується рівнянням (2), має такий вигляд:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - bz^{-k}}, \quad (3)$$

Характеристичний поліном функції (3) визначається як

$$z^k - z^{k-1} - b = 0. \quad (4)$$

В [14] показано, що зменшучи абсолютну величину коефіцієнта зворотного зв'язку в контурі управління при збільшенні затримок сигналів управління забезпечується підтримка стійкості системи управління, яка описується системною функцією (3) з характеристичним поліномом (4).

Рівняння (2) можна розглядати як найпростіше рівняння управління зосередженим об'єктом із затримками сигналів стану і управління. Типова модель такого вузла мережі як об'єкта контролю, показана на рис. 1 [13], де $x(n)$ – інформаційний сигнал; $u(n)$ – керуючий сигнал; z^{-m}, z^{-k} – елементи затримки, яка має місце при доставці інформації; в загальному випадку значення затримки інформації [13] про висхідному і низхідному каналах обміну даними не збігаються ($k \neq m$); z^{-l} – елемент затримки реакції вузла мережі на варіації його стану; z^{-r} – затримка обробки пакета в об'єкті управління; $\eta(n)$ – зовнішні шуми та інтерференція, що зумовлюють спотворення і втрати пакетів.

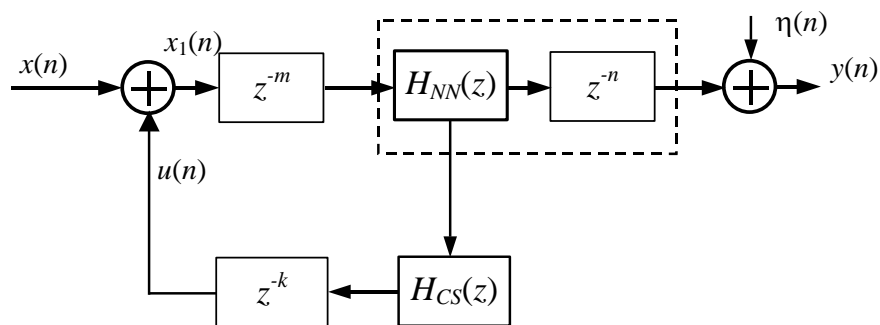


Рисунок 1 – Типова структура системи контролю та управління мережевим вузлом

Система зворотного зв'язку, повинна надавати певний відгук на варіації стану вузла зв'язку, як об'єкта управління, наприклад, перевантаження, зменшення пропускної здатності, спустошення буфера, неналежне функціонування, повна або часткова відмова і т.п. Для коректної роботи систем управління надійністю, час відгуку має бути налаштоване дуже ретельно [4]. Щоб мати відповідну якість процесу управління, потрібно застосовувати певний спосіб адаптації, але правильний вибір постійних часу – це нетривіальне питання.

Аналітичний вираз для передатної функції $H_1(z) = X_1(z)/X(z)$ об'єкта, яким керує система управління, має наступний вигляд [13]:

$$H_1(z) = \frac{1}{1 - H_{NN}(z)z^{-m}H_{CS}(z)z^{-(k+l)}}. \quad (5)$$

Відповідний вираз для передатної функції $H_y(z)$ системи в цілому має вигляд:

$$H_y(z) = \frac{z^{-r}}{1 - H_{NN}(z)H_{CS}(z)z^{-(m+k+l)}} + \Xi(z), \quad (6)$$

де співвідношення енергії сигналу до модуля комплексної спектральної щільності зовнішньої завади $\xi(n)$ визначається як

$$|Q_\xi(z)| = \frac{\left| \left[X_1(z^{-(m+r)})H_{NN}(z^{-r}) \right] \left[X_1^*(z^{m+r})H_{NN}^*(z^r) \right] \right|}{|\Xi(z)\Xi^*(z^{-1})|}. \quad (7)$$

Вираз (6) в разі великих значень відношення сигнал/шум зводиться до загальної передатної функції (5) системи із затримками сигнальної і керуючої інформації.

Моделювання системи управління. В роботі досліджуються особливості функціонування системи управління для різних параметрів мережного трафіку (зокрема, трафіку Triple/QuadroPlay з самоподібними властивостями) і з різними випадковими похибками і спотвореннями. З використанням виразів (5)...(7) було проведено цифрове моделювання системи управління параметрами комутаційного вузла.

Головною метою моделювання було дослідження залежності варіацій довжини черги від часу реакції мережного вузла (число періодів l , якому відповідає затримка z^{-l}) в порівнянні з часом затримки обробки і доставки даних (число періодів z^{-m} , z^{-k} відповідно). В якості тестового інформаційного сигналу $x(t)$ була обрана ступінчаста функція зміни миттєвої інтенсивності мережного трафіку з накладеним на неї аддитивним випадковим процесом, розподіленим за законом Парето.

Результати моделювання для двох значень відносної затримки реакції мережевого вузла $l = 20$ і $l = 10$ при повній затримці обробки даних і доставки $m + k = 10$ представлені на рис. 2 і 3, відповідно.

Тут: $q(k)$ – перехідна характеристика системи управління із затримками обробки інформаційного та керуючого сигналів; l – число періодів, якому відповідає затримка z^{-l} ; m і k – числа періодів, яким відповідають затримки z^{-m} і z^{-k} обробки і доставки даних, відповідно.

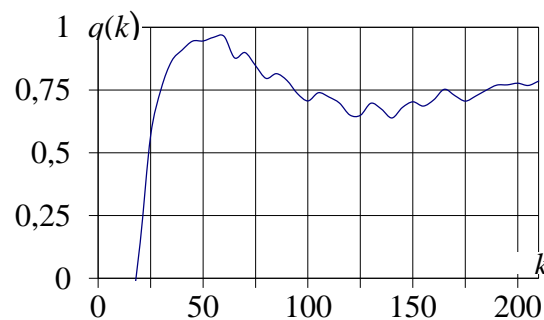


Рисунок 2 – Залежність змін довжини черги від часу реакції мережного вузла
 $l = 20$, $m + k = 10$

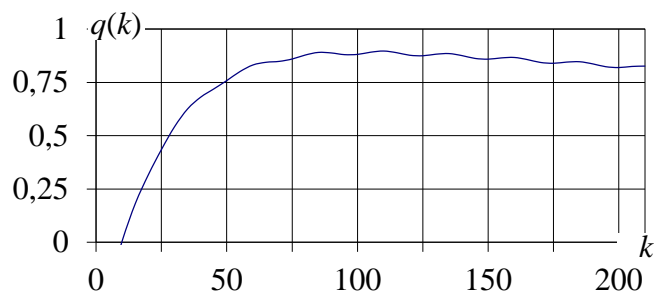


Рисунок 3 – Залежність змін довжини черги від часу реакції мережного вузла
 $l = 10, \quad m + k = 10$

Як видно з рис. 2 і 3 при значній різниці затримки реакції мережного вузла і повної затримки обробки і доставки даних має місце мінімальний запас стійкості системи управління за критерієм перевантаження буфера. При сплесках мережної активності, обумовлених, наприклад, пачковістю самоподібного трафіку, зростає ризик перевантаження буфера, відкидання пакетів керуючого сигналу, і, як наслідок, переходу системи управління мережею в режим незатухаючих коливань [3]. У той же час при узгодженні згаданих затримок забезпечується достатній ресурс стійкості управління за критерієм перевантаження буфера для тих же статистичних характеристик сплеску мережної активності. Треба відзначити, що затримки у виявленні і розпізнаванні корисних сигналів і завад або фактів відмов обладнання мають місце не тільки при описі статистичних характеристик, але і при оцінці різних часових параметрів сигналів, застосуванні принципів накопичення сигналів тощо. Для оптимального вибору таких важливих характеристик систем управління, як поточний час реакції об'єкта контролю, необхідно постійно аналізувати затримки сигнальної і керуючої інформації і налаштовувати під них параметри комутаційних вузлів. Цілком логічно вибирати величину поточного часу реакції об'єкта контролю близькою до величини згаданих затримок. Про це ж свідчать і результати цифрового моделювання. Це можна робити, наприклад, з використанням елементарного різницевого рівняння першого порядку з коефіцієнтом, який задається в залежності від характеристик мережних вузлів і поточних параметрів трафіку [3, 14].

У роботі [15] з використанням наведених моделей розроблено метод та пристрій контролю перевантаженнями та управління миттєвою інтенсивністю трафіку шляхом застосування багатошвидкісного згладжування потоків трафіку з урахуванням затримок сигнальної та управляючої інформації. Результати моделювання показують, що усунення перевантаження досягається за короткий час, тому коливання навантаження відносно невеликі. Якщо тривалість спалахів перевищує динамічний резерв пристрою, можуть статися як затори, так і втрата контролю ротоків трафіку. Для запобігання цього явища потрібний поточний контроль затримок сигнальної та управляючої інформації та вирівнювання реакції мережних вузлів до цих затримок.

Висновки. Телекомунікаційну мережу слід розглядати як складну систему, яка складається із багатьох компонентів, кожен із яких має свої особливості функціонування в процесі експлуатації. Організація взаємодії компонентів мережі передачі даних на основі єдиних інтерфейсів і протоколів обміну інформацією здійснює система управління, яка є спеціальною інфраструктурою телекомунікаційної мережі.

В статті сформульовані основні завдання управління інформаційними мережами та послугами телекомунікацій з точки зору забезпечення їх надійного функціонування.

Обґрунтована важливість задачі здійснення контролю функціонування мережі, виявлення несправностей і діагностика стану мережі, передбачування і усунення перевантажень та інших можливих відхилень у функціонуванні мережі.

Методи аналізу та керування мережами за своєю суттю є різновидом методів ідентифікації, тобто поточного оцінювання параметрів та стану складних систем.

Для забезпечення безумовної працездатності складних систем в умовах можливої наявності різних дефектів в апаратурі, зміни режимів роботи, дії збурень, завад та інших несприятливих чинників в системі закладається різного роду надмірність: структурна, апаратна, сигнальна, інформаційна та інші.

В даній роботі знайшов подальший розвиток підхід, заснований на регулярному контролі параметрів і стану мережевих вузлів з урахуванням затримок інформації про параметри і стан конкретного мережевого вузла і затримок керуючої інформації, необхідної для регулювання параметрів мережевого вузла як об'єкта управління.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. - Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. - 538 pp.
2. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью / А.С. Савченко // Проблемы информатизации та управління. – Київ: НАУ, 2011. – Вип. 2(34). – С. 120-128.
3. Бестугин А. Р. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей / А.Р. Бестугин, А.Ф. Богданова, Г.В. Стогов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2003. – 174 с.
4. Tanenbaum A.S., Computer Networks, 5th Ed./ Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 p.
5. Cui Y. Data Centers as Software Defined Networks: Traffic Redundancy Elimination with Wireless Cards at Routers // Y. Cui, S. Xiao, C. Liao, I. Stojmenovic, M. Li. – IEEE Journal on Selected Areas in Communications. December 2013. – Vol. 31, No. 12. – P. 1-15.
6. Бигелову С. Сети: поиск неисправностей, поддержка и восстановление / С. Бигелову. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 1200 с.
7. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва: Лори, 2002. – 363 с.
8. Mizrak A.T. Detecting Malicious Routers. Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. – 155 p.
9. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети. Том 1 – Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов; под ред. проф. В.П. Шувалова. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.
10. Гельфандбейн Я.А., Колосов Л.В. Ретроспективная идентификация возмущений и помех / Я.А. Гельфандбейн, Л.В. Колосов. – Москва: Сов. радио, 1972. – 232 с.
11. Эсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Эсгольц Л.Э., Норкин С. Б. – Москва: Наука, 1971. – 296 с.
12. Беллман Р. Дифференциально-разностные уравнения; пер. с англ. / Беллман Р., Кук К.Л. – Москва: Мир, 1967. 548 с.
13. Торошанко Я.И. Ретроспективная идентификация информационных и управляющих сигналов в интеллектуальных сетях связи / Я.И. Торошанко, Л.И. Танцюра, Л.А. Дёмина // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2015. – №2. – С. 111-115.
14. Лесная Н.Н. Разработка алгоритма управления интеллектуальными мультисервисными сетями / Н.Н. Лесная // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. – Вип. 11. – Київ, 2005. – С. 150-155.
15. Toroshanko Y. Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket / Yaroslav Toroshanko, Nataliia Yakymchuk, Yosyp Selepyna, Vyacheslav Cherevyk // 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). IEEE Xplore: 2-6 July, 2019, Lviv, Ukraine. – P. 352-355.

REFERENCES:

1. Stallings W. (2016). Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud. - Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey. 538 p.
2. Savchenko A.S. (2011). Conceptual Model of a Large Corporate Network Management System / A.S. Savchenko // Problems of Informatization and Management. Kyiv: NAU. No. 2(34). PP. 120-128.
3. Bestugin A.R., Bogdanova A.F., and Stogov G.V. (2003). Control and Diagnostics of Telecommunication Networks. Sankt-Peterburg: Polytechnica, 2003. 174 p.
4. Tanenbaum A.S., and Wetherall D.J. (2011). Computer Networks, 5-th ed. Prentice Hall, Cloth. 960 p.

5. Cui Y., Xiao S., Liao C., Stojmenovic I., and Li M. (2013). Data Centers as Software Defined Networks: Traffic Redundancy Elimination with Wireless Cards at Routers. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. December 2013. Vol. 31. No. 12. P. 1-15.
6. Bigelow S. (2005). Networks: Troubleshooting, Support and Recovery / S. Bigelow. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg. 1200 p.
7. Wilson E. (2002). Monitoring and Analysis of Networks. Troubleshooting Methods. Moscow: Lori, 2002. 363 p.
8. Mizrak A.T. (2007). Detecting Malicious Routers. Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA. 155 p.
9. Kruk B.I., Popantonopulo V.N., and Shuvalov V.P. (2003). Telecommunication Systems and Networks. Vol. 1 – Modern Technologies. Moscow: Goryachaya Liniya – Telecom. 647 p.
10. Gelfandbein Ya.A., Kolosov L.V. (1972). Retrospective Identification of Disturbances / Moscow: Sov. radio, 1972. 232 p.
11. Esgolts L. E., and Norkin S. B. (1971). Introduction to the Theory of Differential Equations with Deviating Argument. Moscow: Nauka. 296 p.
12. Bellman R., and Cook K. L. (1967). Differential Difference Equations. Moscow: Mir. 548 p.
13. Toroshanko Ya.I., Tantsyura L.I., and Dyomina L.O. (2015). Retrospective Identification of Signal and Control Data in Intelligent Telecommunication Networks. Proceeding of the O. S. Popov ONAT. No.2. 111-115 p.
14. Lesnaya N.N. (2005). Development of Control Algorithm Intelligent Multiservice Networks. Problems Efficiency Infrastructure. Collected works. Kyiv. Issue 11. 150-155 p.
15. Yaroslav Toroshanko, Nataliia Yakymchuk, Yosyp Selepyna, and Vyacheslav Cherevyk. Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 2-6 July, 2019, Lviv, Ukraine. PP. 352-355.

Yakymchuk N.M., Toroshanko A.I.

METHODS OF IDENTIFICATION AND COMPREHENSIVE DIAGNOSIS OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS

The article formulates the main tasks of management of information networks and telecommunications services in terms of ensuring their reliable operation. The telecommunication network is considered as a complex system consisting of many components, each of which has its own characteristics of operation during operation. The main functions of the telecommunication network control system are determined: fault detection and network status diagnostics, network device administration, forecasting and elimination of congestion and other possible deviations in network functioning, ensuring coordinated interaction between different types of control systems for providing telecommunication services with specified quality.

Methods of analysis and management of networks are essentially a kind of identification methods, i.e. the current assessment of the parameters and condition of complex technical systems. There is a close relationship between identification and diagnostic tasks. The methods for solving these problems largely depend on the class to which the identification object can be assigned. Computer and telecommunication networks belong to the class of distributed systems with delays in signal and control information. Methods of retrospective identification are used to analyze the state of such systems.

The influence of delays of signal and control information on the efficiency of search and determination of places of failures, overloads and emergency modes in communication networks is investigated. The results of computer simulation are given. The approach based on regular control of parameters and condition of network nodes taking into account delays of receipt of information on parameters and a condition of a concrete network node and delays of the control information necessary for adjustment of parameters of a network node as control object has found further development.

Keywords: telecommunication system, identification methods, complex diagnostics, control system, complex system, delay of control information.

РОЗРОБКА СТЕГАНОГРАФІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є

У сучасному інтернет-просторі в умовах постійного обміну інформацією зростає необхідність її захисту від несанкціонованого використання сторонніми особами, що можна забезпечити використанням стеганографічних методів, які дозволяють організувати канал прихованої комунікації.

У статті розроблений новий стеганографічний метод для цифрових зображень на основі швидкого перетворення Фур'є. В якості додаткової інформації можна використовувати як текстові повідомлення, так і зображення, переведені в бінарну послідовність. Для вбудови додаткової інформації використовуються блоки 2×2 , для яких обчислюється швидке перетворення Фур'є. Вбудова повідомлення здійснюється шляхом модифікації абсолютної різниці між двома коефіцієнтами перетворення Фур'є блока. В кожному блоку можна вбудувати до чотирьох біт бінарної послідовності.

Результати обчислювальних експериментів, спрямованих на оцінку ефективності запропонованого методу, показали, що забезпечується висока якість стеганоповідомлень (середні значення PSNR становлять 58-60 дБ) в порівнянні з сучасними аналогами при забезпеченні високої пропускну здатності прихованого каналу зв'язку (0.75 та 1 біт/піксель). Середні значення показника точності вилучення додаткової інформації НСС становлять від 0.87 до 0.97 в залежності від обраної колірної складової і кількості біт, що вбудовуються. Точність вилучення повідомлення залежить від характеристик самого контейнера – при наявності великої кількості блоків зі значеннями яскравості, близьких до 0 або 255 виникають помилки детектування. Однак дану проблему можна усунути попереднім аналізом контейнера.

Розроблений метод показав високу стійкість до атаки шумом «Сіль та перець» ($d=0.01$) при помітних спотвореннях заповненого контейнера, а також до накладання Гаусового і мультиплікативного шумів за умови непомітних спотворень стеганоповідомлення.

Ключові слова: стеганографія, швидке перетворення Фур'є, цифрове зображення.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяє їх широкому поширенню серед населення. В наш час вже неможливо уявити передачу будь-якої інформації без використання мережі Інтернет, обмін інформацією є настільки масштабним процесом, що вже неможливо повністю контролювати весь ланцюжок проходження інформаційним контентом проміжних серверів, які і забезпечують миттєву доставку повідомлень від відправника до отримувача. Ніхто з законних власників інформації не може гарантувати неможливість її несанкціонованого використання сторонніми особами, що потребує додаткового захисту конфіденційної інформації. Оскільки в ряді країн обмежено використання криптографічних засобів, широке поширення отримали розробки в області стеганографії – застосування стеганографічних методів і програм дозволяє зберегти в таємниці сам факт наявності повідомлення (додаткової інформації) в будь-якому інформаційному контенті. В якості контейнера можуть виступати будь-які цифрові дані: текстові документи, зображення, аудіо, відео та інші. Результат вбудови повідомлення в контейнер будемо називати заповненим контейнером або стеганоповідомленням.

При розробці стеганографічних методів увага приділяється наступним важливим умовам:

– забезпечення високої цілісності сприйняття сформованого стеганоповідомлення у порівнянні з оригінальним, відсутністю помітних спотворень, які указували б на наявність додаткової інформації;

– забезпечення надійності вилучення повідомлення з заповненого контейнеру, що є неодмінним компонентом при організації каналу прихованої передачі інформації;

– по можливості забезпечувати високу пропускну спроможність прихованого каналу інформації, оскільки в більшості методів підвищення ємності контейнера призводить до погіршення якості стеганоповідомлення;

– в деякій мірі стеганографічні методи повинні забезпечувати стійкість до навмисних або ненавмисних атак.

Більшість останніх публікацій присвячені розробці стеганографічних методів, заснованих на дискретному косинусному перетворенні [1,2], вейвлет-перетворенні [3,4] або комбінації частотних перетворень [5,6], що хоч і призводить до стійкості до атак, але для даних методів характерно зменшення пропускну спроможності і складність реалізації, крім того не забезпечується висока якість стеганоповідомлення, про що свідчать невисокі значення PSNR. Однак методів, в основу яких покладено перетворення Фур'є, не так багато.

В роботі [7] запропонований стеганографічний метод забезпечує достатньо високу пропускну спроможність, однак значно залежить від обраних параметрів вбудови – висока якість стеганоповідомлень забезпечується лише при малих значеннях α , при значеннях $\alpha > 0.0001$ заповнений контейнер містить помітні спотворення. В роботах [8,9] отримані невисокі значення PSNR (37,6 і 32,8 дБ відповідно) для стеганоповідомлення при забезпеченні високої пропускну спроможності прихованого каналу зв'язку.

В статті [10] наведено теоретичний базис для стеганографічного методу [11], який забезпечує високу надійність вилучення інформації, проте значення PSNR (42 дБ) і пропускну спроможність залишаються недостатньо високими.

Таким чином, аналіз публікацій показав, що для більшості стеганографічних методів характерною є проблема співвідношення якості стеганоповідомлення і пропускну спроможності прихованого каналу зв'язку. Тому метою роботи є розробка стеганографічного методу для цифрових зображень, що забезпечує високу пропускну спроможність прихованого каналу зв'язку при збереженні якості заповненого контейнеру.

Основна частина. Як контейнер будемо розглядати окрему колірну складову цифрового зображення (ЦЗ), представленого в схемі RGB, або полутонове зображення I розміром $M \times N$. В якості додаткової інформації можна використовувати будь-яку бінарну послідовність, сформовану на основі тексту або зображення.

В основі стеганографічного методу лежить теоретичний базис, наведений в [10], основне положення якого полягає в отриманні цілих частотних коефіцієнтів Фур'є для блоків 2×2 . Однак стеганографічний метод, розроблений на основі [10], потребує просторової корекції значень яскравості перед обчисленням перетворення Фур'є та передбачає вбудову лише одного біта інформації в блок. Для методу, що розробляється, будемо використовувати швидке перетворення Фур'є для блоку B розміром 2×2 :

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^1 \sum_{y=0}^1 B(x, y) e^{-2i\pi \left(\frac{ux}{2} + \frac{vy}{2} \right)}, \quad (1)$$

де $F(u, v)$ – (u, v) -й коефіцієнт швидкого перетворення Фур'є, $B(x, y)$ – (x, y) -й піксель блоку B , $u = \overline{0,1}$, $v = \overline{0,1}$.

Вбудову додаткової інформації реалізуємо на основі просторового методу PVD [12] шляхом модифікації різниці між двома коефіцієнтами перетворення Фур'є: $F(0,1)$ і $F(1,0)$. Суть вбудови повідомлення полягає в наступному. З бінарної послідовності вибираються l біт, які переводяться в десяткову систему числення - d . Саме це значення і визначає різницю між пікселями, після чого значення коефіцієнтів модифікуються у відповідності з d .

Коефіцієнти $F(0,1)$ і $F(1,0)$ для вбудови інформації були обрані експериментальним шляхом. При аналізі коефіцієнтів було помічено, що коректне вилучення інформації відбувається лише за умови парних значень абсолютної різниці між коефіцієнтами, що обумовлено тим, що у випадку непарного значення різниці коефіцієнтів обернене перетворення Фур'є призводить до дробових значень яскравості, які потребують округлення до цілих значень. Це в свою чергу веде до некоректної різниці між коефіцієнтами Фур'є при повторному перетворенні. Для уникнення помилок детектування слід подвоювати значення d .

Ще один недолік пов'язаний з широким діапазоном значень абсолютної різниці між коефіцієнтами $F(0,1)$ і $F(1,0)$ для різних блоків. В класичному методі PVD для пікселів ЦЗ це враховується використанням таблиці діапазонів квантування, однак в даному методі через використання подвійних значень d застосування таблиць ускладнене по причині відсутності непарних значень. Тому ми пропонуємо корегувати десяткове значення абсолютної різниці d на величину $s = k \cdot 2^{l+1}$, де $k = \left\lfloor \frac{d}{2^{l+1}} \right\rfloor$, l - число біт, що вбудовуються в блок. Модифікація самих коефіцієнтів відбувається згідно класичного методу PVD [12], після чого виконується обернене швидке перетворення Фур'є:

$$B'(x, y) = \sum_{u=0}^1 \sum_{v=0}^1 F'(u, v) e^{2i\pi \left(\frac{ux}{2} + \frac{vy}{2} \right)}, \quad (2)$$

де $F'(u, v)$ - коефіцієнти Фур'є блоку після вбудови інформації, $B'(x, y)$ - значення яскравості модифікованого блоку, $x = \overline{0,1}$, $y = \overline{0,1}$.

Вилучення додаткової інформації відбувається наступним чином. Для блоку обчислюється швидке перетворення Фур'є, між двома коефіцієнтами $F'(0,1)$ і $F'(1,0)$ обчислюється абсолютне значення різниці d' . Якщо $d' > s$, то модифікуємо значення d' за формулою $d' = d' - s$. Знаходимо $b' = \frac{d'}{2}$, де значення b' , переведене у двійкову систему числення, представляє собою фрагмент бінарної послідовності.

Нижче наведені основні кроки вбудови і вилучення повідомлення для запропонованого стеганографічного методу.

Вбудова додаткової інформації в контейнер.

Крок 1. Додаткову інформацію AI представити як бінарну послідовність $binAI$ довжиною L .

Крок 2. Виділити колірну складову I ЦЗ розміром $M \times N$, використовувати для вбудови додаткової інформації AI .

Крок 3. Колірну складову I розбити на блоки B розміром 2×2 , що не перетинаються. Для кожного блоку B (кроки 4-10):

Крок 4. Виконати швидке перетворення Фур'є. Результат - B^F .

Крок 5. З послідовності $binAI$ виділити l біт, перевести їх в десяткову систему числення. Результат - b .

Крок 6. Обчислити $d = |B_{1,2}^F - B_{2,1}^F|$.

Крок 7. Обчислити $b' = 2b + \left\lfloor \frac{d}{2^{l+1}} \right\rfloor \cdot 2^{l+1}$.

Крок 8. Якщо $|b' - d| < |2b - d|$, то $b = b'$, інакше $b = 2b$.

Крок 9. Модифікувати значення $B_{1,2}^F$ і $B_{2,1}^F$ у відповідності до формули

$$(B_{1,2}^{F'}, B_{2,1}^{F'}) = \begin{cases} \left(B_{1,2}^F + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, B_{2,1}^F - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{якщо } B_{1,2}^F \geq B_{2,1}^F \text{ \& } b > d \\ \left(B_{1,2}^F - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, B_{2,1}^F + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{якщо } B_{1,2}^F < B_{2,1}^F \text{ \& } b > d \\ \left(B_{1,2}^F - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor, B_{2,1}^F + \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor \right), & \text{якщо } B_{1,2}^F \geq B_{2,1}^F \text{ \& } b \leq d \\ \left(B_{1,2}^F + \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil, B_{2,1}^F - \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right), & \text{якщо } B_{1,2}^F < B_{2,1}^F \text{ \& } b \leq d \end{cases}$$

де $m = |b - d|$, $\lfloor \bullet \rfloor$ - округлення до найменшого цілого, $\lceil \bullet \rceil$ - округлення до найбільшого цілого.

Крок 10. Виконати обернене швидке перетворення Фур'є. Результат - B' .

Крок 11. Зберегти заповнений контейнер.

Вилучення додаткової інформації з заповненого контейнеру.

Крок 1. Виділити колірну складову I' ЦЗ розміром $M \times N$, яка містить додаткову інформацію.

Крок 2. Обрану колірну складову ЦЗ I' розміром $M \times N$ розбити на блоки B' розміром 2×2 , що не перетинаються.

Для кожного блоку B' (кроки 3-6):

Крок 3. Виконати швидке перетворення Фур'є. Результат - $B^{F'}$.

Крок 4. Обчислити $d' = |B_{1,2}^{F'} - B_{2,1}^{F'}|$.

Крок 5. Якщо $d' \geq \left\lfloor \frac{d'}{2^{l+1}} \right\rfloor \cdot 2^{l+1}$, то $b' = \frac{d' - \left\lfloor \frac{d'}{2^{l+1}} \right\rfloor \cdot 2^{l+1}}{2}$, інакше $b' = \frac{d'}{2}$.

Крок 6. Перевести значення b' в двійкову систему числення довжиною l біт. Додати отримане значення до бінарної послідовності AI' .

Крок 7. З бінарної послідовності AI' сформувати вилучене повідомлення.

Ефективність розробленого стеганографічного методу будемо оцінювати на основі наступних показників:

- PSNR, що визначає якість заповненого контейнеру у порівнянні з оригінальним ЦЗ;
- NCC [13], що визначає точність вилучення вбудованого повідомлення;
- пропускну спроможність прихованого каналу зв'язку.

Пропускна спроможність прихованого каналу зв'язку розраховується як число біт вбудованого повідомлення на один елемент контейнера. Для запропонованого методу максимальна ємність колірної складової I розміром $M \times N$ оцінюється як

$$v = \left\lfloor \frac{M}{2} \right\rfloor \cdot \left\lfloor \frac{N}{2} \right\rfloor \cdot l,$$

де l - число біт повідомлення, вбудованих в один блок 2×2 ЦЗ.

Пропускна спроможність обчислюється за формулою

$$capacity = \frac{v}{MN}.$$

Відповідно, вбудовуючи 4 біти повідомлення в кожний блок пропускну спроможність буде становити 1 біт/піксель, а при вбудові 3 біт повідомлення – 0,75 біт/піксель. Порівнюючи пропускну спроможність з роботами [7, 11], в яких пропускну спроможність складає 0,7 і 0,25 біт/піксель відповідно), розроблений метод забезпечує високу пропускну спроможність прихованого каналу зв'язку.

Для оцінки якості стеганоповідомлень та якості вилучення додаткової інформації був проведений обчислювальний експеримент на основі 200 цифрових зображень різного розміру. В якості вбудованого повідомлення в експерименті були використані напівтониці ЦЗ. В таблиці 1 наведені середні значення показників PSNR та NCC, а також максимальні і мінімальні значення NCC для наступних випадків:

- в кожний блок синьої колірної складової відбувалась вбудова 4-х біт повідомлення (експеримент 1);
- в кожний блок синьої колірної складової відбувалась вбудова 3-х біт повідомлення (експеримент 2);
- в кожний блок зеленої колірної складової відбувалась вбудова 3-х біт повідомлення (експеримент 3).

У всіх трьох експериментах заповнені контейнери були збережені без втрат.

Таблиця 1

Ефективність вилучення додаткової інформації із заповненого контейнеру

	Середнє значення PSNR, дБ	Середнє значення NCC	Максимальне значення NCC	Мінімальне значення NCC
Експеримент 1	58,633282	0,87922645	0,99989	0,2648
Експеримент 2	60,076282	0,9373597	0,9996	0,41737
Експеримент 3	60,024235	0,9721804	0,99994	0,80379

З таблиці 1 видно, що при забезпеченні високої пропускну спроможності прихованого каналу зв'язку (1 і 0,75 біт/піксель) забезпечуються високі показники PSNR порівняння оригінального контейнеру і отриманого стеганоповідомлення – середні значення становлять від 58 до 60 дБ. Однак точність вилучення додаткової інформації при використанні синьої колірної складової контейнеру недостатньо висока – середні значення показника NCC становлять 0,87-0,94 через наявність таких стеганоповідомлень, з яких вилучена додаткова інформація дуже відрізняється від вбудованої, про що свідчать дуже низькі мінімальні значення NCC в експериментах 1 і 2. При вбудові 4-х біт в кожний блок погане вилучення повідомлення (NCC менше 0,7) відбувалося в 12,5% заповнених контейнерів, зменшення кількості біт дозволило зменшити долю стеганоповідомлень з поганим вилученням інформації до 5%.

Аналіз причин некоректного вилучення повідомлення показав, що синя колірна складова містить багато блоків зі значеннями яскравості, близьких до 0 та 255, набагато більше, ніж в червоній і зеленій колірних складових. Модифікація коефіцієнтів Фур'є таких блоків призводить до того, що в результаті оберненого перетворення Фур'є ми отримуємо значення яскравостей, менших нуля або більших 255, що призводить до округлень до граничних значень – 0 або 255. В результаті при вилученні інформації виникають помилки. Нижче наведено приклад некоректного вилучення додаткової інформації:

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{fft2} \begin{pmatrix} 6 & 4 \\ 2 & 4 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{вбудова } 3=011_2} \begin{pmatrix} 6 & 6 \\ 0 & 4 \end{pmatrix} \xrightarrow{iffi2} \begin{pmatrix} 4 & -1 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 2 & 1 \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 \\ 2 & 1 \end{pmatrix} \xrightarrow{fft2} \begin{pmatrix} 7 & 5 \\ 1 & 3 \end{pmatrix} \xrightarrow{\text{вилучення}} |5-1|=4 \rightarrow \frac{4}{2}=2=010_2.$$

Для порівняння ефективності вилучення повідомлення, вбудованого в іншу колірну складову, був проведений експеримент вбудови 3-х біт додаткової інформації в кожний блок зеленої колірної складової ЦЗ (експеримент 3). В таблиці 1 видно, що результати вилучення повідомлення в експерименті 3 набагато краще результатів експерименту 2 – середнє значення NCC становить 0,97, а мінімальне – 0,8. Тому для забезпечення високої точності вилучення додаткової інформації рекомендується проводити аналіз матриць ЦЗ та обирати ту з них, яка містить найменшу кількість блоків зі значеннями, близькими до 0 або 255.

Для оцінки стійкості запропонованого методу до атак зашумленням був проведений обчислювальний експеримент, результати якого наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Ефективність вилучення додаткової інформації із заповненого контейнеру після атак

Атака	Параметри	Середнє значення PSNR, дБ	Середнє значення NCC	Максимальне значення NCC	Мінімальне значення NCC
Експеримент 1					
Гаусів шум	$m = 0, d = 0.00001$	48,86962	0,344633	0,44853	0,061157
	$m = 0, d = 0.000001$	56,36327	0,802141	0,91876	0,24327
Мультиплікативний шум	$d = 0.00005$	49,40806	0,539976	0,98263	0,093479
	$d = 0.000006$	55,32855	0,787686	0,99989	0,18039
	$d = 0.000001$	58,63328	0,879226	0,99989	0,2648
Шум «Сіль та перець»	$d = 0.01$	24,6721	0,861752	0,97989	0,25954
	$d = 0.005$	26,582	0,870476	0,9901	0,26237
Експеримент 2					
Гаусів шум	$m = 0, d = 0.00001$	49,14321	0,288482	0,33804	0,19205
	$m = 0, d = 0.000001$	57,49274	0,841496	0,89902	0,38408
Мультиплікативний шум	$d = 0.00005$	49,03103	0,476161	0,88556	0,16396
	$d = 0.000006$	56,01979	0,810879	0,9982	0,29988
	$d = 0.000001$	60,07628	0,93736	0,9996	0,41737
Шум «Сіль та перець»	$d = 0.01$	24,92572	0,918699	0,98018	0,40956
	$d = 0.005$	27,93963	0,928015	0,99017	0,41289
Експеримент 3					
Гаусів шум	$m = 0, d = 0.00001$	49,13999	0,296112	0,34005	0,24478
	$m = 0, d = 0.000001$	57,46723	0,872095	0,90179	0,72341
Мультиплікативний шум	$d = 0.00005$	49,02722	0,417405	0,90854	0,17678
	$d = 0.000006$	56,00131	0,823811	0,99655	0,49959
	$d = 0.000001$	60,02424	0,97218	0,99994	0,80379
Шум «Сіль та перець»	$d = 0.01$	24,92548	0,952747	0,97987	0,78745
	$d = 0.005$	27,93351	0,962455	0,99	0,79591

З табл. 2 видно, що найгірші результати вилучення повідомлення спостерігаються при помітному зашумленні Гаусовим і мультиплікативним шумами ($m = 0, d = 0.00001$ і $d = 0.00005$ відповідно) – у всіх експериментах спостерігаються низькі значення показника NCC, однак при менших спотвореннях стеганоповідомлення забезпечується досить висока якість вилучення додаткової інформації – середні значення NCC дорівнюють від 0,78 до 0,94. Окремо слід відзначити стійкість запропонованого методу до атаки шумом «Сіль та перець» - навіть при великих спотвореннях заповненого контейнеру (про що свідчать низькі значення PSNR від 24 до 27 дБ) точність вилучення повідомлення з синьої колірної складової при різних

значеннях пропускної спроможності становить від 0,86 до 0,93, а при вилученні з зеленої колірної матриці – 0,95-0,96.

На рис. 1 наведений приклад вбудови додаткової інформації (рис.1, г) в зелену колірну складову контейнеру (рис.1, а) з пропускною спроможністю 0,75 біт/піксель, а також результатів вилучення повідомлень (рис.1, д, е) з заповнених контейнерів (рис.1, б, в). Стеганоповідомлення, наведене на рис.1, в, зазнало атаки шумом «Сіль та перець» з дисперсією $d = 0.03$, що призвело до помітних спотворень зображення, однак секретна інформація вилучена з нього з високою точністю (рис.1, е), хоч і має деякі завади у вигляді чорних і білих точок.

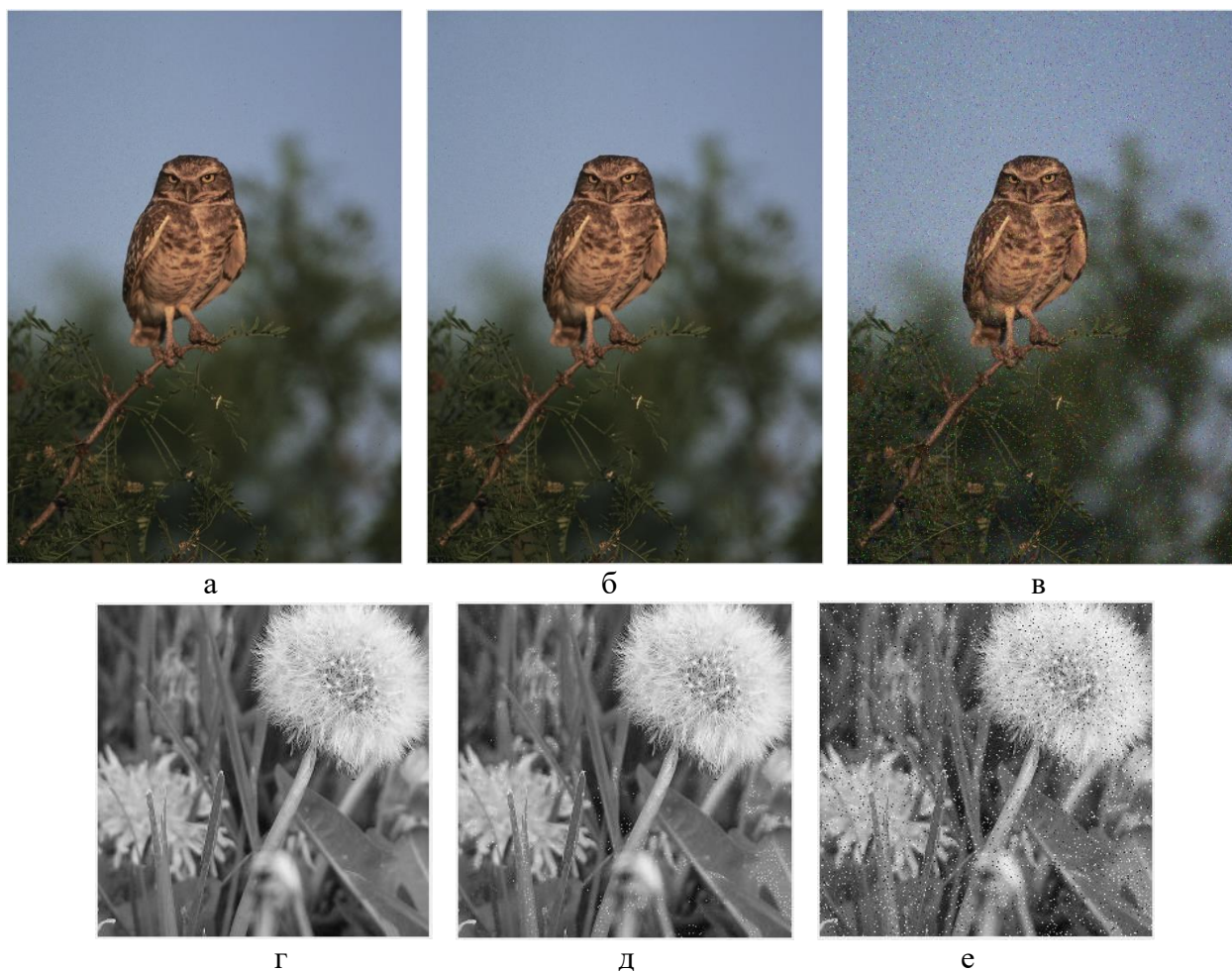


Рисунок 1 – Результати вилучення додаткової інформації: а – контейнер; б – стеганоповідомлення (PSNR=58,5642 дБ); в – стеганоповідомлення після атаки шумом «Сіль та перець» при $d = 0.03$ (PSNR=20,4152 дБ); г – оригінальна додаткова інформація; д – повідомлення, вилучене з заповненого контейнеру без атак (NCC=0,98757); е – повідомлення, вилучене з заповненого контейнеру після атаки шумом «Сіль та перець» (NCC=0,92871)

Висновки. В статті запропонований новий стеганографічний метод для цифрових зображень на основі швидкого перетворення Фур'є. Вбудова додаткової інформації відбувається в блоки 2×2 шляхом модифікації різниці між двома коефіцієнтами перетворення Фур'є. В кожний блок можна вбудувати до чотирьох біт повідомлення, що дозволяє забезпечити високу пропускну спроможність прихованого каналу зв'язку при збереженні високої якості стеганоповідомлення (середнє значення PSNR становить 58-60 дБ).

В ході проведених обчислювальних експериментів встановлено, що в більшості випадків забезпечується висока точність вилучення додаткової інформації (в 88% заповнених контейнерів з усіх експериментів показник NCC перевищує значення 0,9), однак при використанні синьої колірної складової спостерігаються досить високі помилки, пов'язані з характеристиками самого контейнеру, а саме наявністю великої кількості блоків зі значеннями яскравості, близькими до 0 або 255. Мінімізувати помилки вилучення повідомлення можна шляхом вибору тієї колірної складової, яка містить якомога менше таких блоків. Експерименти, спрямовані на аналіз стійкості до атак, зокрема зашумлення, показали високу стійкість до шуму «Сіль та перець», а також до Гаусового та мультиплікативних шумів при незначних спотвореннях стеганоповідомлень.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Arup Kumar Pal. A Steganography Scheme on JPEG Compressed Cover Image with High Embedding Capacity / Arup Kumar Pal, Kshiramani Naik, Rohit Agarwa // *The International Arab Journal of Information Technology*. – 2019. – Vol. 16. – No. 1. – pp.116-124.
2. Saidi, M. A new adaptive image steganography scheme based on DCT and chaotic map. / Saidi, M., Hermassi, H., Rhouma, R. // *Multimedia Tools and Applications*. – 2017. – No. 76. – Pp. 13493-13510.
3. Safwat Hamad. A Blind High-Capacity Wavelet-Based Steganography Technique for Hiding Images into other Images / Safwat Hamad, Amal Khalifa, Ahmed Elhadad // *Advances in Electrical and Computer Engineering*. – 2014. – Volume 14. – Number 2. – Pp.35-42.
4. Kumar, V. A modified DWT-based image steganography technique / Kumar, V., Kumar, D. // *Multimedia Tools and Applications*. – 2018. – No. 77. – Pp.13279–13308.
5. Akter A. Digital image watermarking based on dwt-dct: evaluate for a new embedding algorithm / A. Akter, N. Tajnina, M. International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV). – 2014. - № 10. – С. 1-6.
6. Benoraira A. Blind image watermarking technique based on differential embedding in DWT and DCT domains / A. Benoraira, K. Benmahammed, N. Boucenna // Benoraira et al. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. – 2017. - №55. – С. 1-11.
7. Khalil M.I. Using Quaternion Fourier Transform in Steganography Systems / M.I. Khalil // *International Journal of Communication Networks and Information Security*. – 2018. – Vol. 10. – No. 2. – Pp.425-431.
8. Nabin Ghoshal. Image Authentication Technique in Frequency Domain based on Discrete Fourier Transformation (IATFDDFT) / Nabin Ghoshal, J. K. Mandal // *Proceedings of ICCS, 2010, November 19-20*. – Pp.144-150.
9. Ashish Soni. Image Steganography using Discrete Fractional Fourier Transform / Ashish Soni, Jitendra Jain, Rakesh Roshan // *International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP2013), India*. – Pp.99-103.
10. Kozina M.O. Discrete Fourier Transform As A Basis For Steganographic Method / M.O. Kozina // *Праці Одеського політехнічного університету*. – 2014. – Вип. 2(44). – С.147-154.
11. Козина М.А. Стеганографический метод организации скрытого канала связи, осуществляющий проверку целостности передаваемой информации / М.А. Козина // *Сучасна спеціальна техніка*. – 2014. - № 4(39). – С.98-106.
12. Wu D.C. A Steganographic method for images by pixel-value differencing / D.C. Wu, W.H. Tsai // *Pattern Recognition Letters*. – 2003. - Vol. 24. - Pp. 1613-1626.
13. Мельник, М.А. Методика оценки устойчивости стеганоалгоритма к сжатию / М.А. Мельник // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. - 2013. - Вип. 44. - С. 121-128.

REFERENCES:

1. Arup Kumar Pal¹, Kshiramani Naik¹, and Rohit Agarwal (2019), “A Steganography Scheme on JPEG Compressed Cover Image with High Embedding Capacity”, *The International Arab Journal of Information Technology*, Vol. 16, No. 1, pp.116-124.
2. Saidi, M., Hermassi, H., Rhouma, R. (2017), “A new adaptive image steganography scheme based on DCT and chaotic map”, *Multimedia Tools and Applications*, No. 76, pp. 13493-13510.

3. Safwat Hamad, Amal Khalifa, Ahmed Elhadad, (2014), "A Blind High-Capacity Wavelet-Based Steganography Technique for Hiding Images into other Images", Advances in Electrical and Computer Engineering, Volume 14, Number 2, pp.35-42.
4. Kumar, V., Kumar, D. (2018) "A modified DWT-based image steganography technique", Multimedia Tools and Applications, No. 77, pp.13279–13308.
5. Akter A., Tajnina N. (2014), "Digital image watermarking based on dwt-dct: evaluate for a new embedding algorithm", International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV), №10, pp.1-6.
6. Benoraira A., Benmahammed K., Boucenna N. (2017), "Blind image watermarking technique based on differential embedding in DWT and DCT domains", Benoraira et al. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, №55. – pp. 1-11.
7. Khalil M.I. (2018) "Using Quaternion Fourier Transform in Steganography Systems", International Journal of Communication Networks and Information Security, Vol. 10, No. 2, pp.425-431.
8. Nabin Ghoshal (2010) "Image Authentication Technique in Frequency Domain based on Discrete Fourier Transformation (IATFDDFT)", Proceedings of ICCS, 2010, November 19-20, pp.144-150.
9. Ashish Soni (2013) "Image Steganography using Discrete Fractional Fourier Transform", International Conference on Intelligent Systems and Signal Processing (ISSP2013), India, pp.99-103.
10. Kozina M.O. (2014) Discrete Fourier Transform As A Basis For Steganographic Method, Pratsi Odes'koho politekhnichnoho universytetu [Proceedings of Odessa Polytechnic University], Iss. 2(44), pp.147-154.
11. Kozina M.A. (2014) "Steganographic method of organizing a hidden communication channel, checking the integrity of the transmitted information", Suchasna spetsial'na tekhnika [Modern special equipment], № 4 (39), pp.98-106.
12. Wu D.C., W.H. Tsai. (2003) "A Steganographic method for images by pixel-value differencing", Pattern Recognition Letters, Vol. 24, pp.1613-1626.
13. Melnyk M. (2014) "Method of estimation of steganographic algorithm stability to compression attacks", Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu Kyyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka [Collection of Scientific Papers of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv], № 44, pp. 121-128.

Ph.D. Akhmametiyeva A.V., Bezsonova M.D.

DEVELOPMENT OF A STEGANOGRAPHIC METHOD FOR DIGITAL IMAGES BASED ON FOURIER TRANSFORM

In the modern Internet space in conditions of continuous exchange of information the need to protect it from the possibility of unauthorized use by third parties is increasing. This can be ensured by using steganographic methods that allow organizing a covert communication channel.

In the article a new steganographic method for digital images based on the fast Fourier transform developed. As additional information you can use both text messages and images translated into a binary sequence. For embedding of additional information 2×2 blocks are used for which the fast Fourier transform is calculated. Message embedding is done by modifying the absolute difference between two coefficients of block's Fourier transform. Up to four bits of a binary sequence can be embedded in each block.

The results of computational experiments aimed at assessing the effectiveness of the proposed method have shown that high quality of stegos is provided (average PSNR values are 58-60 dB) compared to modern analogues while ensuring high capacity of the covert communication channel (0.75 and 1 bit/pixel). The average values of the extraction accuracy index of additional information NCC are from 0.87 to 0.97 depending on the selected color component and the number of embedded bits. The accuracy of message extraction depends on the characteristics of the container - detection errors occur when there are a large number of blocks with brightness values close to 0 or 255. However, this problem can be eliminated by preliminary analysis of the container.

The developed method showed high resistance to attack by the noise "Salt and pepper" (d=0.01) at appreciable distortions of the filled container, as well as the imposition of a Gaussian and a multiplicative noise at imperceptible distortions of stegos.

Keywords: steganography, fast Fourier transform, digital image.

АЛГОРИТМ ВИКОРИСТАННЯ FUZZY LOGIC В МОДЕЛЯХ УПРАВЛІННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У реальних умовах, коли виникає завдання формального опису процесу управління достатньо складним процесом, необхідно враховувати кілька зовнішніх факторів (параметрів) і їх значення, які потенційно прагнуть до нескінченності. При цьому реакція системи не обмежується тільки однією керуючою дією. Для автоматизації процесу складання всіх можливих комбінацій лінгвістичних описів змінних на етапі нечітких умовних тверджень і механізму прийняття рішень про використання керуючих впливів при розробці моделей управління і прийняття рішень пропонується використовувати нечіткі логічні моделі.

У роботі розглянуті шляхи побудови алгоритмів перетворення вхідних збурень складних систем у концептуальні співвідношення для автоматизації процесу управління та підтримки прийняття рішень. Співвідношення апарату нечіткої логіки використовується для формалізації, обробки та прийняття рішень щодо використання сигналів управління системою у відповідь на зовнішні збурення. Нечіткі системи управління об'єднують досвід людських експертів (природна мова) з вимірами і математичними моделями. Нечіткі системи перетворюють базу знань в математичне формулювання, яке виявилось доволі ефективною в багатьох додатках. При проектуванні нечіткої системи управління необхідно відповісти на багато питань, зокрема при створенні лінгвістичних моделей для опису функціонування складних систем, зокрема систем радіолокаційного картографування з розпізнаванням об'єктів на місцевості та прийнятті рішення для управління безпілотних систем. Таким чином на етапі складання безлічі нечітких інструкцій (висловлювань), становить інтерес формалізація, наступних процесів, таких як, визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних та прийняття рішення щодо застосування керуючих впливів, в залежності від зовнішніх факторів.

У процесі формалізації процесу визначення всіх можливих поєднань та термів лінгвістичних змінних необхідно скласти нечіткі інструкції (правила) управління системою чи об'єктом для нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень в процесі розробки моделей функціонування складних систем.

Ключові слова: лінгвістичні моделі, нечіткі множини, теорія управління, вхідні збурення системи, керуючі сигнали.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Нечіткі системи стали ефективним підходом до управління складними нелінійними системами [1]. В останні роки проблеми аналізу стійкості, синтезу контролерів і проектування фільтрів для нечітких систем широко використовуються в багатьох практичних додатках. Наприклад, [2] у даній роботі розглядається задача управління відстеженням нечітких дискретизованих даних інтервального типу нелінійних систем з невизначеними параметрами. Керована установка моделюється як нечітка структура Такагі-Сугено [3,4].

Інтервальні нечіткі системи стають все більш популярними в останні 20 років. Вони продемонстрували чудову продуктивність у багатьох областях застосування [5]. Однак робота нечіткої системи більш складна, ніж її аналоги на чіткій логіці. При проектуванні нечіткої системи необхідно відповісти на багато питань, зокрема у створенні лінгвістичних моделях для опису функціонування складних систем, зокрема систем радіолокаційного картографування з розпізнаванням об'єктів на місцевості та прийнятті рішення для управління безпілотних систем [5,6]. Нечіткі системи управління об'єднують інформацію людських експертів (природна мова) з вимірами і математичними моделями. Нечіткі системи перетворюють базу знань в математичну формулювання, яка виявилася дуже ефективною в

багатьох додатках. У [7] описано рішення по управлінню енергоспоживанням на основі адаптивної оптимальної нечіткої логіки для розробки відповідних нечітких правил на добу вперед для адаптивного диспетчеризації енергії в реальному часі при наявності експлуатаційних невизначеностей. Рішення визначає оптимальну систему нечіткого виводу (наприклад, форма функції приналежності і набір правил виводу) на основі передбаченої інформації за певний період за допомогою нового автономного алгоритму метаевристическої оптимізації. У [8] пропонується інтелектуальний підхід до прийняття рішень на основі нечіткої логіки для вибору навігаційної стратегії в схемі розділення внутрішнього руху. Далі аналізуються динамічні характеристики процесу навігації, включаючи вільне плавання, стеження за судном і його обгін. Пропонована модель може бути реалізована в системі підтримки прийняття рішень.

Проблеми прийняття рішень в складних умовах займають особливе місце в інформаційних технологіях. Математичні методи стали широко застосовуватися для опису і аналізу складних технічних, економічних, соціальних та інших систем. Теорія оптимізації створила сукупність методів, що допомагають при використанні машинної обробки ефективно приймати рішення при відомих і фіксованих параметрах. Всі ці методи добре працюють в тому випадку, коли параметри - випадкові величини з відомими законами розподілу.

Однак основні труднощі виникають тоді, коли параметри обстановки прийняття рішення виявляються невизначеними (і не випадковими) при цьому вони сильно впливають на результати прийняття рішення.

При управлінні складними системами різного призначення, фахівці часто стикаються з наявністю в описі системи нечітко заданих параметрів або неточною технологічною інформацією. Виникаючи при цьому порушення рівності, наприклад, балансових співвідношень і т.п. призводять до необхідності варіювати деякими параметрами для точного задоволення заданих рівнянь та отримання прийняттого результату.

У зв'язку з тим, що при побудові формальних моделей найчастіше користуються детермінованими методами, вноситься визначеність в ті ситуації, де її насправді не існує. Неточність завдання тих чи інших параметрів при розрахунках практично не береться до уваги або, з урахуванням певних припущень і припущень, неточні параметри замінюються експертними оцінками або середніми (середньозваженими) значеннями.

Такого роду ситуації можуть виникати як внаслідок недостатньої вивченості об'єктів, так і через участь в управлінні людини або групи осіб. Особливість подібних систем полягає в тому, що значна частина інформації, необхідної для їх математичного опису, існує у формі уявлень або побажань експертів. Але в мові традиційної математики немає об'єктів, за допомогою яких можна було б досить точно відобразити нечіткість уявлень експертів.

Постановка завдання. Таким чином, в роботі вирішується актуальне наукове завдання, щодо розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень.

Основна частина. Таким чином в загальному випадку значення лінгвістичної змінної є складовою терму $t = t_1 t_2 \dots t_n$, який являє собою поєднання елементарних термів $t_1 t_2 \dots t_n$. Ці елементарні терми можна розбити на кілька категорій:

- первинні терми, які є символами нечітких підмножин області міркування (наприклад, високий, низький);
- заперечення неможливо і союзи і, або;
- лінгвістичні невизначеності типу дуже, багато, слабо, більш-менш і т.д., які дають можливість модифікувати значення елементарних і складених термінів і служать для збільшення області значень лінгвістичної змінної;
- маркери, такі як дужки, вступне слово.

Основна проблема, яка виникає у зв'язку з використанням лінгвістичних змінних, полягає в наступному: нехай дано значення кожного елементарного терміна в складеному термі $t = t_1 t_2 \dots t_n$, потрібно обчислити значення t , тобто знайти нечітку множину в X , символом якого

При автоматизації процесу складання всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних на етапі складання нечітких умовних тверджень і механізму прийняття рішення про застосування керуючих впливів при розробці нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, пріоритет використання нечітко-логічних моделей в управлінні складними процесами, очевидний.

Нечітка логіка, дозволяє формалізувати прості логічні зв'язки нечітких змінних за допомогою нечітких висловлювань (інструкцій).

Зазвичай ці інструкції, визначаються заздалегідь досвідченою людиною - оператором, а змінні, що описують керований процес, представляються дискретним набором значень. У реальних умовах, коли стоїть завдання формального опису процесу управління досить складним процесом, необхідно враховувати відразу кілька зовнішніх чинників (параметрів) і їх значень, які потенційно прагнуть до нескінченності. При цьому реакція системи, не обмежується тільки одним керуючим впливом.

Таким чином на етапі складання множини нечітких інструкцій (висловлювань), становить інтерес формалізація, наступних процесів:

Визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних;

Прийняття рішення про застосування керуючих впливів, в залежності від зовнішніх факторів.

В процесі формалізації процесу визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних необхідно скласти нечіткі інструкції (правила) управління системою чи об'єктом для нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, для цього треба формалізувати процес визначення всіх можливих поєднань термів лінгвістичних змінних.

Розглянемо найпростіший випадок; коли є три лінгвістичних змінних і сім термів.

Нехай якісні оцінки значень (лінгвістичні значення) параметрів (факторів) A чи терми відповідних лінгвістичних змінних, що описують стан процесу, формалізовані відповідними нечіткими підмножинами множини параметрів U , тобто множиною лінгвістичних змінних $U = \{U_1, U_2, U_3\}$, де кожен елемент даної множини є безліччю термів відповідної лінгвістичної змінної $U_1 = \{A_1^1, A_2^1, A_3^1\}$, $U_2 = \{A_1^2, A_2^2, A_3^2\}$, $U_3 = \{A_1^3, A_2^3, A_3^3\}$. Верхній індекс, визначає приналежність терма до відповідної змінної.

Елементи множин U_1, U_2, U_3 , утворюють безліч термів $U_1 = \{A_1^1, A_2^1, A_3^1, A_1^2, A_2^2, A_3^2, A_1^3, A_2^3, A_3^3\}$.

Тоді можливі поєднання якісних оцінок параметрів (лінгвістичних значень), в рамках теорії нечітких множин, будуть представлені у вигляді наступних логічних виразів:

Якщо $U_1 = A_1^1$ та $U_2 = A_1^2$ та $U_3 = A_1^3$ тоді (керуючий вплив 1) АБО.

Якщо $U_1 = A_1^1$ та $U_2 = A_2^2$ та $U_3 = A_2^3$ тоді (керуючий вплив 2) АБО.

Якщо $U_1 = A_1^1$ та $U_2 = A_2^2$ та $U_3 = A_3^3$ тоді (керуючий вплив 3) АБО.

Якщо $U_1 = A_2^1$ та $U_2 = A_1^2$ та $U_3 = A_1^3$ тоді (керуючий вплив 4) АБО.

Таким чином в загальному випадку:

Якщо $U_1 = A_i^1$ та $U_2 = A_j^2$ та $U_3 = A_k^3$ тоді (керуючий вплив n) АБО

де $i = \overline{1,2,3}$ $j = \overline{1,2,3}$ $k = \overline{1,2,3}$.

Очевидно, що при великій кількості лінгвістичних змінних і їх термів, «ручний» опис всіх можливих поєднань є трудомістким і навіть іноді не здійсненним. Тому, необхідність формалізації даного процесу для його автоматизації, є очевидною.

Аналіз вище наведених виразів показав, що кожне таке умовне твердження задає відношення між лінгвістичними змінними U_1, U_2, U_3 , яке описується декартовим множенням їх термів (якісних значень лінгвістичних змінних) або нечіткими підмножинами множини параметрів U :

$$R_i = A_i^1 \times A_j^2 \times A_k^3. \quad (1)$$

Для зручності подання машинної реалізації виразу (1), доцільно використовувати такий вираз:

$$\sum_{i=1}^3 A_i^1 \cdot \sum_j^3 A_j^2 \cdot \sum_k^3 A_k^3 \quad (2)$$

Отримаємо всі можливі поєднання термів відповідних лінгвістичних змінних, тобто якісних значень факторів в формі нечітких висловлювань. Або в загальному випадку:

$$\sum_{i=1}^k A_i^1 \cdot \dots \cdot \sum_j^l A_j^n \quad (3)$$

є k, l - число термів відповідних лінгвістичних змінних.

Для автоматизації процесу розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, необхідно формалізувати механізм прийняття рішення про застосування керуючих впливів, в залежності від зовнішніх факторів.

Наведемо ідеальний випадок, при якому досягається рішення вихідної задачі. Припустимо, що ідеальним варіантом вирішення завдання буде деяка множина керуючих впливів $E_i \in E$, де $E_i = \{V_1^i \dots V_n^i\}$, де E -безліч впливів (варіантів рішення). Тоді множині E_i буде відповідати деяка множина факторів, де $U_i = \{A_i^1 \dots A_i^n\}$ - множина зовнішніх чинників. Кожному зовнішньому чиннику поставимо у відповідність керуючий вплив, наприклад, поправку на відповідний фактор. Тоді алгоритм управління будуватиметься з використанням наступного правила:

Якщо $U_1 \dots U_i$, тоді $E_1 \dots E_i$ або Якщо A_i^1 , та ... та A_i^n тоді V_m^1 , та ... та V_p^n .

Для ідеального випадку, будемо вважати, що значення термів множин факторів і дій, що управляють мають нульові значення. Тобто фактори і відповідні їм дії, мають нульові значення.

Тепер визначимо принцип управління системою, згідно з яким буде вибиратися відповідна ступінь зміни вихідних впливів.

Виділимо контрольні значення відхилення чинника від ідеального випадку і поставимо у відповідність можливу ступінь їх зміни в лінгвістичної формі, використовуючи нечіткі, погано певні поняття природної мови, наприклад, як наведено в табл.1.

Згідно таблиці введемо вхідні і вихідні лінгвістичні змінні, які будуть множинами якісних оцінок значень факторів і керуючих параметрів відповідно.

Таблиця 1

Відхилення фактору	Ступінь зміни
велике позитивне	швидко
середнє позитивне	середньо
мале позитивне	повільно
нульове	зупинка
мале негативне	повільно
середнє негативне	середньо
велике негативне	швидко

У нашому випадку це змінні РЕГУЛЮВАННЯ і ВІДХИЛЕННЯ, які будуть містити відповідно терми: швидко, середньо, повільно, зупинка та РВ - велике позитивне, РМ- середнє позитивне, РS -мале позитивне, NO- нульове, NS- мале негативне, NM- середнє негативне, NB - велике негативне.

Найменування і числові значення термів задаються експертом в залежності від конкретного випадку.

Наступним кроком необхідно вибрати відповідний керуючий вплив, який буде вироблятися у залежності від приналежності даних оперативного контролю (отриманих з датчиків, сенсорів і т.д.) до терм вхідних лінгвістичних змінних.

Тобто, визначивши терм вхідної змінної (якісну оцінку значення фактору), в якості керуючого впливу вибирається відповідний йому терм вихідної змінної (наприклад, як наведено в табл.1).

Наприклад, визначається ступінь приналежності числових значень фактору до терм змінної ВІДХИЛЕННЯ = {PB, PM, PS, NO, NS, NM, NB}. Нехай змінна ВІДХИЛЕННЯ може приймати будь-яке значення з діапазону від нуля до нескінченності. Згідно з положеннями теорії нечітких множин, в такому випадку кожному значенню фактора відхилення, із зазначеного діапазону, може бути поставлено у відповідність деяке число від нуля до одиниці, яке визначає ступінь приналежності даного числового значення фактору до того чи іншого терму лінгвістичної змінної ВІДХИЛЕННЯ. Ступінь приналежності визначається так званою функцією приналежності $M(A_k^n)$, де A_k^n - якісне значення n-то фактору.

Далі будуються відповідні функції приналежності і застосовується композиційне правило виводу Заде. Таким чином використовуючи описані вище формальні моделі визначення усіх можливих поєднань чинників і механізму прийняття рішень про застосування керуючих впливів, вирішується питання автоматизації проектування нечітко-логічних моделей управління різними процесами.

Слід зазначити, що формалізований механізм прийняття рішення про застосування відповідних управляючих впливів, дозволяє визначати дії, що управляють на підставі даних, безпосередньо, одержуваних в результаті експерименту. Це робить процес завдання термів і їх числових значень вхідних лінгвістичних змінних не обов'язковим. Дана обставина, може бути використано при розробці та дослідженні відповідної системи.

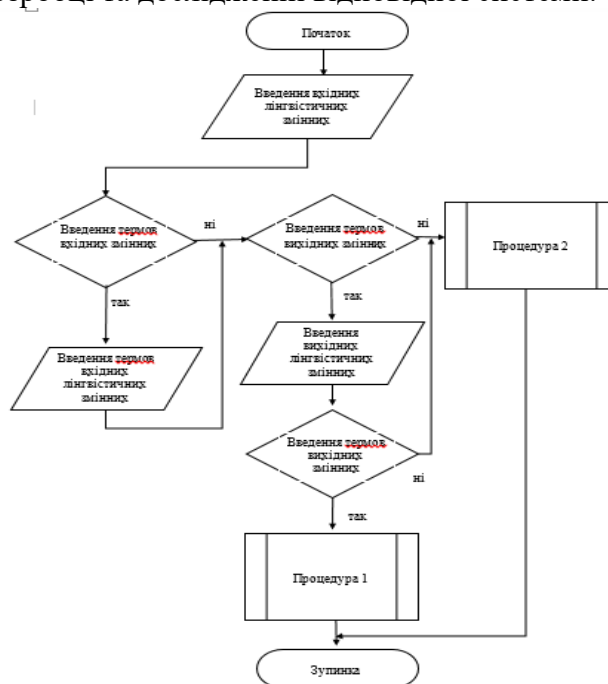


Рисунок 1 – Алгоритм розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень

Таким чином системи управління, розроблені на основі створених за цим принципом моделей, будуть функціонувати відповідно до наведеної схеми нечіткого регулятора, за наступним принципом: показання вимірювальних приладів фаззифікуються (переводяться в нечіткий формат), обробляються відповідно до наведеної моделі прийняття рішень, дефаззифікуються і в вигляді звичних сигналів подаються на виконавчі пристрої. Алгоритм розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень наведено на рис.1.

Висновки. На основі запропонованого принципу нечітко-логічного прийняття рішень і управління різними процесами, системами, об'єктами і побудованої автоматизованої процедури розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень, що були поставлені і вирішені завдання формального опису:

1. Процесу визначення всіх можливих поєднань факторів (термів лінгвістичних змінних);
2. Процесу прийняття рішення.

Формалізація цих процесів необхідна для автоматизації процесу розробки нечітко-логічних моделей управління та прийняття рішень.

Отримані нечітко-логічної моделі управління та прийняття рішень можуть бути широко застосовані промисловості для регулювання і управління різними технологічними процесами при безпосередньому цифровому управлінні з застосуванням машинної обробки або при видачі рекомендацій оператору в режимі діалогу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Контроллинг / А.М. Карминский, С.Г. Фалько, А.А. Жевага, Н.Ю. Иванова; под ред. А.М. Карминского, С.Г. Фалько. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2013.
2. Загонова Н.С., Орлов А.И. Эконометрическая поддержка контроллинга инноваций. Нечеткий выбор // Российское предпринимательство. – 2004. – Том 5. – № 4. – С. 54-57.
3. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: в 3 ч.: Ч.2. Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
4. Орлов А.И., Луценко Е.В. Системная нечеткая интервальная математика – перспективное направление теоретической и вычислительной математики / А.И. Орлов, Е.В. Луценко // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – Краснодар: КубГАУ, 2013 - №07(091).
5. Л. А. Заде. Нечеткие множества // Нечеткие системы и мягкие вычисления, 10:1 (2015), 7–22; *Information and Control*, 8:3 (1965). – С. 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).
6. Блюмин С.Л., Шуйкова И.А. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.
7. Wei Dong, Qiang Yang, Xinli Fang, Wei Ruan. Adaptive optimal fuzzy logic based energy management in multi-energy microgrid considering operational uncertainties. *Applied Soft Computing*. Available online 5 November 2020, 106882. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106882>
8. BingWu, TingtingCheng, Tsz LeungYip, YangWang. Fuzzy logic based dynamic decision-making system for intelligent navigation strategy within inland traffic separation schemes. *Ocean Engineering*. Volume 197, 1 February 2020, 106909. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106909>
9. Валландер Н. Нечеткие множества. Нечеткая логика. – 2004.
10. Алиев Р.А., Абдикеев Н.М., Шахназаров М.М. Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
11. Алиев Р.А., Мамедова Г.А. Идентификация и оптимальное управление нечеткими динамическими системами // Изв. АН: серия техническая кибернетика. - № 6. - 1993.
12. Kahraman C., Ruan, D., Tolga, E. (2002). Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows. *Information Sciences*. Volume 142, Issues 1–4, May 2002, Pages 57-76. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(02\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(02)00157-3).
13. R.Santhosh, M.Mohanapriya. Generalized fuzzy logic based performance prediction in data mining. *Materials Today: Proceedings* Available online 13 October 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.626>.

REFERENCES:

1. A.M. Karminskii, S.G. Fal'ko, A.A. Zhevaga, N.Iu. Ivanova; pod red. A.M. Karminskogo, S.G. Fal'ko. (2013). *Kontrolling [Controlling]*. М.: ID «FORUM»: INFRA-M.
2. Zagonova N.S., Orlov A.I. (2004). *Ekonometricheskaia podderzhka kontrollinga innovatsii. Nchetkii vybor. [Econometric Support for Innovation Controlling]*. Rossiiskoe predprinimatel'stvo. № 4., pp. 54-57.
3. Orlov A.I. (2011). *Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie: v 3 ch.: Ch.2. Ekspertnye otsenki. [Organizational and economic modeling: in 3 hours: Part 2. Expert assessments.]*. М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 486 p.

4. Orlov A.I., Lutsenko E.V. (2013). Sistemnaia nechetkaia interval'naia matematika – perspektivnoe napravlenie teoreticheskii i vychislitel'noi matematiki. [System fuzzy interval mathematics is a promising direction in theoretical and computational mathematics]. Politematicheskii setevoi elektronnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyi zhurnal KubGAU). Krasnodar: KubGUA, №07(091).

5. L. A. Zade. (1965). “Nechetkie mnozhestva”, Nechetkie sistemy i miagkie vychisleniia, 10:1 (2015), 7–22; Information and Control, 8:3 pp. 338–353.

6. Bliumin S. L., Shuikova I. A. (2001). Modeli i metody priniatii reshenii v usloviiah neopredelennosti. [Models and methods of decision making under conditions of uncertainty]. Lipetsk: LEGI, 138 p.

7. Wei Dong, Qiang Yang, Xinli Fang, Wei Ruan. Adaptive optimal fuzzy logic based energy management in multi-energy microgrid considering operational uncertainties. Applied Soft Computing. Available online 5 November 2020, 106882. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106882>

8. BingWu, TingtingCheng, Tsz LeungYip, YangWang. Fuzzy logic based dynamic decision-making system for intelligent navigation strategy within inland traffic separation schemes. Ocean Engineering. Volume 197, 1 February 2020, 106909. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106909>

9. Vallander N. (2004). Nechetkie mnozhestva. Nechetkaia logika. [Fuzzy sets. Fuzzy logic].

10. Aliev R.A., Abdikeev N.M., Shahnazarov M.M. Proizvodstvennye sistemy s iskusstvennym intellektom. [Artificial Intelligence Manufacturing Systems]. M.: Radio i sviaz', 1990, 264 p.

11. Aliev R.A. Mamedova G.A. (1993). Identifikatsiia i optimal'noe upravlenie nechetkimi dinamicheskimi sistemami [Identification and optimal control of fuzzy dynamic systems]. Izv. AN: seriia tehniceskai kibernetika. № 6.

12. Kahraman C., Ruan, D., Tolga, E. (2002) “Capital budgeting techniques using discounted fuzzy versus probabilistic cash flows”. Information Sciences. Volume 142, Issues 1–4, May 2002, Pages 57-76. [https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(02\)00157-3](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(02)00157-3).

13. R. Santhosh, M. Mohanapriya. Generalized fuzzy logic based performance prediction in data mining. Materials Today: Proceedings Available online 13 October 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.626>.

**D.Sc. Druzhynin V., D.Sc. Stepanov M., Ph.D. Zhyrov G., Riaba L.O.
ALGORITHM FOR USING FUZZY LOGIC IN MANAGEMENT AND DECISION-
MAKING MODELS**

In real conditions, when the task of formally describing the control process of a rather complex process arises, it is necessary to take into account several external factors (parameters) and their values, which potentially tend to Infinity. At the same time, the system's response is not limited to just one control action. To automate the process of composing all possible combinations of linguistic descriptions of variables at the stage of fuzzy conditional statements and the decision-making mechanism on the use of control actions in the development of control and decision-making models, it is proposed to use fuzzy logical models.

Ways to construct algorithms for converting input perturbations of complex systems into conceptual relations for automating the control process and supporting decision-making are considered. The fuzzy logic apparatus relation is used to formalize, process, and make decisions about the use of system control signals in response to external disturbances. Fuzzy control systems combine information from human experts (natural language) with measurements and mathematical models. Fuzzy Systems will turn the knowledge base into a mathematical formulation that has proven very effective in many applications. When designing a fuzzy system, many questions need to be answered, in particular in creating linguistic models to describe the functioning of complex systems, in particular radar mapping systems with recognition of objects on the ground and making decisions for controlling unmanned systems. Thus, at the stage of composing a set of fuzzy instructions (statements), it is of interest to formalize the following processes, such as determining all possible combinations of terms of linguistic variables and making a decision on the application of control actions, depending on external factors.

In the process of formalizing the process of determining all possible combinations and terms of linguistic variables, it is necessary to create fuzzy instructions (rules) for managing a system or object for fuzzy-logical control models and decision-making in the process of developing models for the functioning of complex systems.

Keywords: linguistic models, fuzzy sets, control theory, input perturbations of the system, control signals.

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Характерною рисою сучасних форм застосування Збройних Сил (ЗС) є високий динамізм бойових дій, а основною тенденцією розвитку систем управління військами (СУВ) – інтеграція різномірних систем зв'язку, навігації, розвідки, одержання й обробки інформації, засобів ураження, інтелектуальних систем, автоматизація всіх формальних та швидкоплинних процесів.

Геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), технології GPS та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) сьогодні де факто стали необхідною технологією для одержання і обробки просторових даних як у цивільній, так і у військових сферах.

Використання ГІС військового призначення (ВП) ЗС України дасть можливість проводити якісний аналіз просторової і атрибутивної інформації, приймати ефективні управлінські рішення, візуалізувати зону ведення бойових дій як окремих частин і підрозділів, так і всього театру військових дій, оперативно відображати будь-які зміни бойової обстановки автоматизувати актуалізацію карт, визначати координати певних об'єктів, навігації тощо. Дозволить зменшити імовірність помилок і недоопрацювань, підвищить швидкість створення карт, прискорить обробку інформації та суттєво підвищить якість прийняття рішень командирами різних рівнів і ланок, які залучені в процес прийняття певного рішення, забезпечить однаково вихідну картину бойових дій; підтримання знань військово-об'єктової обстановки на тактичному, оперативно-тактичному та оперативному рівнях; забезпечить оперативне доведення інформації до зацікавлених санкціонованих користувачів.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), Збройні сили (ЗС), системи управління військами.

Вступ. У сучасному суспільстві інформація одночасно виступає як домінуючою цінністю, так і інформаційною зброєю, а індустрія її отримання, обробки та трансляції – провідною галуззю діяльності, куди з кожним роком інвестуються все більш значні капітали і ресурси. Інформація стала тим стратегічним ресурсом, неповне використання якого спричинює як суттєві втрати в економіці, так і в обороноздатності країни.

Перехід інформації до розряду найважливіших ресурсів суспільства і держави, формування глобального інформаційного простору актуалізували проблему боротьби за володіння цим ресурсом, і, як наслідок, появу принципово нового засобу нападу і захисту – інформаційної зброї для здійснення інформаційних війн. Якщо попередні часи при веденні бойових дій інформаційні технології здебільшого виконували забезпечувальну роль для фізичних засобів ураження, то на сучасному етапі все більше потребують інформаційних технологій [1]. Сучасні військові дії трансформувались у витончені інформаційні і інформаційно-психологічні операції, через які руйнуються суспільні організми (державні, політичні, соціальні інститути і організації), деформується цивілізаційно-культурний код нації і суспільна мораль, руйнується почуття патріотизму, розхитується людська психіка, паралізується здатність народу до спротиву агресії ворога. Тому для гарантованої перемоги над супротивником вкрай потрібна інформаційна перевага [2], подібно тому, як на початку ХХ століття вимагалось панування в повітрі, масоване застосування бронетанкової і моторизованої техніки, одержання переваги чисельності військ на напрямку удару тощо.

Розмаїття інформаційної зброї, форм і способів інформаційного впливу стали вимагати вирішення проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави. Як наслідок, у сфері

інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) військове керівництво передових в економічному сенсі країн світу було змушено переосмислити і провести комплексну ревізію поглядів на теорію і практику військового будівництва, сутності війн, їх цілей, методів та управління військами і зброєю [3–9].

Характерною рисою сучасних форм застосування Збройних Сил (ЗС) є високий динамізм бойових дій, а основною тенденцією розвитку систем управління військами (СУВ) – інтеграція різнорідних систем зв'язку, навігації, розвідки, одержання й обробки інформації, засобів ураження, інтелектуальних систем, автоматизація всіх формальних та швидкоплинних процесів. На перший план вийшли дистанційні і безконтактні методи збройної боротьби. Успішність управління військами під час бою стала неможливою без проникнення у сутність складної, швидко змінної бойової обстановки, без розкриття замислів супротивника, протиставлення йому своїх творчих, неочікуваних для ворога способів і прийомів ведення бойових дій, маневрів тощо.

Визначальним процесом управління військами, в процесі якого здійснюється пошук найкращої альтернативи, спрямованої на вирішення бойового завдання є розробка якісних планів операції (бою), прийняття управлінських рішень командирами різних рівнів і ланок та якісне управління діями підпорядкованих підрозділів (військ). Управлінські дії повинні бути швидкими, точними та ефективними (раціональними) незважаючи на те, що процес їх прийняття відбувається в умовах жорсткого дефіциту часу.

Оскільки розробка та прийняття ефективних управлінських рішень у процесі управління військами та проведення бойових дій є складним процесом, здійснення якого засновано на актуальній і точній даних про стан місцевості, розташування об'єктів високоточної і звичайної зброї, дислокації військових частин, підрозділів та навіть окремих бійців (як своїх так і супротивника), швидкоплинних дій, що відбуваються на театрі бойових дій або полі бою, маневруванні частин і підрозділів тощо, то цілком зрозуміло, що провідні держави світу почали приділяти постійну увагу підвищенню інформаційно-технологічного забезпечення власних ЗС. Цього можна було досягти шляхом створення різних інформаційних систем військового призначення (ІС ВП). Перемога в сучасному бою багато в чому визначається наявністю у командира точної і актуальної просторової інформації (від цифрового опису місць дислокації своїх військ і військ супротивника, життєво важливих об'єктів інженерної і соціальної інфраструктури, потенційно-небезпечних об'єктів тощо, до кліматичних і погодних умов районів проведення бойових операцій). Велика кількість інформації та трудомісткість розв'язку задач управління в умовах крайнього дефіциту часу, що відводиться на планування операцій, різко загострила глобальну проблему повноти і своєчасності обробки інформації.

З метою вирішення цієї проблеми ЗС провідних держав світу, перед усім США, починаючи з 60-х рр. ХХ ст. почали застосовувати автоматизовані системи управління військового призначення (АСУ ВП) – сукупність організаційно-штатних, функціональних і технічних засобів елементів і систем, призначених для забезпечення ефективного виконання поставлених перед ЗС задач. За змістом реалізація планів операцій, розроблених на організаційному етапі є інформаційним процесом з перетворення бойових завдань військам в накази (команди) щодо координації сумісних дій з урахуванням оперативної ситуації, факторів та обставин, що склалися. Автоматизація процесів і задач управління безпосередньо пов'язана зі швидкістю збору і обробки інформації, її графічного оформлення та передачі даних обстановки. Спочатку в 1960-1970 рр. акцент робився на створенні автоматизованих систем і комплексів, у 1991-2000 рр. – на створенні АСУ видів, родів та спеціальних військ то в останні десятиліття, починаючи з 2001 року, розпочались розробки міжвидових АСУ для загальновійськових з'єднань, об'єднань та ЗС, як окремих держав так і їх коаліцій. Відбувається перехід ЗС розвинутих країн до автоматизованого управління військами (силами) у квазіреальному часі та єдиному інформаційному середовищі прийняття управлінських рішень на застосування військ (сил). Це стало одним із вирішальних чинників досягнення успіху в бою (операції).

На переконання вищого керівництва Міністерства Оборони США, у збройних конфліктах і локальних війнах ХХІ століття перемогу може отримати тільки той, хто буде спроможний швидше зібрати різнопланові просторові дані про постійно змінюваний хід бою, проаналізувати ці дані, зробити правильні висновки, прийняти ефективні управлінські рішення, швидко довести його до підлеглих та виконати бойову задачу. При цьому, обсяг необхідної кількості даних з одного боку, має чи не найважливіше значення, оскільки їх нестача може спричинити прийняття необґрунтованих або неправильних управлінських рішень і як наслідок, спричинити зрив виконання бойового завдання або операції. З іншого боку, зайві, надмірні або спотворені дані найчастіше виступають «шумом» і ускладнюють процеси обробки інформаційних потоків, підготовки, прийняття та реалізації важливих управлінських рішень. Це висуває вимогу щодо необхідності ретельної селекції даних, що надходять до АСУ ВП. Зростання обсягів даних спричинює зменшення часу на їх опрацювання та прийняття управлінських рішень, а збільшення географічної розосередженості військ і військових підрозділів, їх мобільності спричинює розширення кола завдань бойового забезпечення.

Протиріччя, що виникли між зростаючими потоками інформації і наявними можливостями їх обробки та використання, обумовили необхідність розробки нових концепцій, засобів та технологій ведення війн. Однією з найперспективніших стала концепція ведення мережецентричних війн (МЦВ, Net-Centric Warfare), яка сьогодні успішно використовуються передовими в економічному і технологічному відношенні країнами та їх коаліціями – США, Австралією, НАТО тощо. Концепція МЦВ передбачає дію в чотирьох сферах людського життя: фізичній, інформаційній, когнітивній та соціальній при яких досягається синергетичний ефект результатів. Інтеграція різноманітних розвідувальних засобів в одно інформаційно-комунікаційне поле зменшує імовірність одержання неповних і недостовірних даних, а поєднання засобів розвідки з ударними комплексами дозволяє істотно скоротити час від моменту виявлення цілей до її знищення.

Ключовим елементом концепції МЦВ є збір, агрегування, збереження, обробка, візуалізація, аналіз та надання користувачам системи різного рівня управління необхідних просторових даних про розташування підрозділів своїх військ і військ супротивника, стан бойової готовності, матеріально-технічне забезпечення, потребу дооснащення тощо, підтримка прийняття управлінських рішень. Концепція передбачає зміну способів управління військами.

Оскільки геоінформаційні системи (ГІС), геоінформаційні технології (ГІТ), технології GPS та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) сьогодні де факто стали необхідною технологією для одержання і обробки просторових даних як у цивільній, так і у військових сферах, то цілком зрозуміло, що успішне виконання завдань, що стоять перед ЗС, стає неможливим без цих технологій, які за своїми функціональним призначенням можуть надавати точну і актуальну інформацію про театр військових дій (ТВД), зміни на ньому в режимі реального часу, аналізувати та моделювати різні сценарії їх ведення, готувати управлінські рішення тощо. Сучасні ГІС – це не тільки системи автоматизованого опрацювання геопросторових даних, векторизації та візуалізації об'єктів і подій у режимі реального часу, але й потужний комплекс геопросторового аналізу, стратегічної підтримки прийняття управлінських рішень. Технології ГІС та ДЗЗ суттєво дозволяють підвищити ефективність функціонування АСУ ВП, системи управління військами і зброєю (СУВіЗ), достовірно, повно і неупереджено оцінити стан підпорядкованих військ та супротивника, здійснити аналіз різнорідних даних, моделювати сценарії бойових дій, прогнозування їх проведення, робити розрахунки переміщення, маневрування тощо.

Розробка та прийняття управлінських рішень при проведенні військових дій є доволі складним процесом, здійснення якого ґрунтується, перш за все, на достовірній та всеосяжній інформації. Оскільки сучасний стан бойового середовища зазвичай характеризується нестабільністю, невизначеністю, складною динамікою, що зумовлює імовірнісний характер подій, то недостатність або недостовірність інформації про нього є типовою для більшості

випадків прийняття управлінських рішень командирами різних рівнів. Автоматизація процесів управління військами і зв'язком вимагають розробки і застосування спеціальних технологій обробки просторових даних, представлених в електронному вигляді.

Одним з найбільш ефективних методів системи підтримки прийняття управлінських рішень, аналізу різних сценаріїв ведення бойових дій, здійснення інформаційно-аналітичної діяльності виступають ГІС військового призначення (ГІС ВП), які дозволяють забезпечити репрезентативність, змістовність, достатність, доступність, актуальність, своєчасність, точність та наочність подання просторової інформації. ГІС володіють потужним арсеналом, який можна застосувати майже до кожного аспекта військових операцій. Інструментальні можливості ГІС включають найпростіші картометричні операції, в тому числі, обчислення відстаней між об'єктами, площ об'єктів, абсолютних висот; виконання операції оверлея з виявленням взаємодій між геооб'єктами і процесами; просторовий аналіз; просторове моделювання. Геоінформаційні технології (ГІТ) забезпечують візуалізацію вихідних, похідних або підсумкових даних і результатів обробки у вигляді тематичних карт. Саме тому розробка та вдосконалення методів і способів функціонування ГІС ВП, засобів візуалізації для синтезу управлінських рішень є пріоритетним напрямком для удосконалення як АСУ ВП так і сучасних ЗС.

Новітні інформаційні технології, такі як – інтернет речей (Internet of Things), великі дані (Big Data), добування даних (Data Mining) та ряд інших поступово змінюють підходи до отримання та обробки просторових даних. Тому актуальною задачею ГІС ВП стає питання обробки даних та створення принципово нового програмного забезпечення (ПЗ) для підвищення автоматизації, перед усім у сфері створення карт та аналізу інформації [10-11].

Аналіз змісту ухвалених та розроблених протягом останніх років нормативно-правових актів [12-17] та інших свідчить, що для України питання розробки та впровадження ГІС є актуальною задачею.

На превеликий жаль, незважаючи на певні зусилля, робота зі створення АСУ ВП України що побудована на основі єдиної ідеології та єдиних оперативно-стратегічних і системотехнічних принципах та на автоматизованих підсистемах управління різного функціонального призначення і різного рівня управління всіх ланок управління військами на сьогодні не створена.

На сучасному етапі ГІС ВП провідних країн світу є невід'ємною частиною АСУ ВП і широко використовуються при плануванні та управлінні бойовими діями частин і підрозділів ЗС, моделюванні сценаріїв їх розвитку, прийнятті управлінських рішень, прогнозуванні тощо. Стосовно ЗС України, то аналіз сучасного застосування ГІС та ГІТ свідчить, про те, що вони на жаль, є фрагментарними, різними за призначенням, несумісними поміж собою та функціонально обмеженими. Крім того, стан інформаційного забезпечення ЗС України даними про місцевість і об'єкти інфраструктури на ній важко назвати задовільним, оскільки характеризується недостатнім використанням величезних можливостей інформаційних технологій в процесах створення й обробки просторових даних. А динаміка збільшення об'ємів потрібних даних та зменшення часу на прийняття управлінських рішень обумовлює актуальність застосування ГІС ВП.

Кризова ситуація в Україні викриває цілу низку недоліків в організації управління і зв'язку, взаємодії та, власне, бойового застосування підрозділів та частин ЗС України, що є причиною їхньої низької ефективності при веденні бою [18]. Тому однією з актуальних задач, що стоїть сьогодні перед ЗС України є узагальнення, систематизація та синтез існуючих поглядів зі створення та застосування ГІС ВП.

Мета дослідження – аналіз вимог і підходів що висуваються до ГІС ВП у ЗС провідних країн світу та розробка рекомендацій щодо створення та впровадження ГІС ВП у Збройних Силах України. Об'єктом дослідження є процеси автоматизованої обробки просторової інформації про бойову обстановку геоінформаційними засобами обробки, аналізу, подання та відображення геоінформації. Предметом дослідження є вимоги, що висуваються до сучасних ГІС ВП.

Виклад основного матеріалу. Аналіз збройних конфліктів, що відбулись у світі останніми десятиліттями свідчить, що по-перше, інформаційні технології здійснюють все більший вплив на форми і способи ведення бойових дій, управління військами і зброєю. По-друге, відбувається постійне зростання кількості інформації, перед усім просторової, та тривалість її обробки з метою підготовки ефективних рішень відповідними посадовими особами. Спроби окремої локальної автоматизації не забезпечують необхідного ефекту. По-третє, в управлінні ЗС та засобами вогневого ураження передових країн світу використовується мережецентричний принцип, який реалізується шляхом обробки інформації в єдиному інформаційному просторі (рис. 1).

Під єдиним інформаційним простором (ЄІП) розуміють сукупність баз і банків даних, технологій їх ведення та використання, інформаційно-телекомунікаційних систем і мереж, що функціонують на основі єдиних принципів і за загальними правилами, забезпечуючи інформаційну взаємодію видів і підрозділів ЗС, установ, організацій, задоволення їх інформаційних потреб. ЄІП складається з інформаційних ресурсів, що містять дані, відомості та знання, зафіксовані на відповідних носіях інформації, організаційних структур, що забезпечують функціонування та розвиток ЄІП, зокрема, збір, обробку, зберігання, розповсюдження, пошук і передачу інформації та засобів інформаційної взаємодії, що забезпечують їм доступ до інформаційних ресурсів на основі відповідних інформаційних технологій, що включають програмно-технічні засоби і організаційно-нормативні документи. По-четверте, підвищення ефективності управління військами відбувається на основі створення і впровадження АСУ ВП, які виступають одним з пріоритетних напрямків розвитку ЗС провідних країн світу. По п'яте, комплексність обробки інформації в ЄІП АСУ ВП забезпечується використанням єдиної уніфікованої методологічної бази.

Управління військами (силами) – це процес цілеспрямованого впливу командувачів, командирів, штабів на війська, що здійснюється для підтримання готовності військ до виконання завдань за призначенням, їх підготовки та успішного виконання завдань в ході ведення бойових дій (бойового застосування) [19].

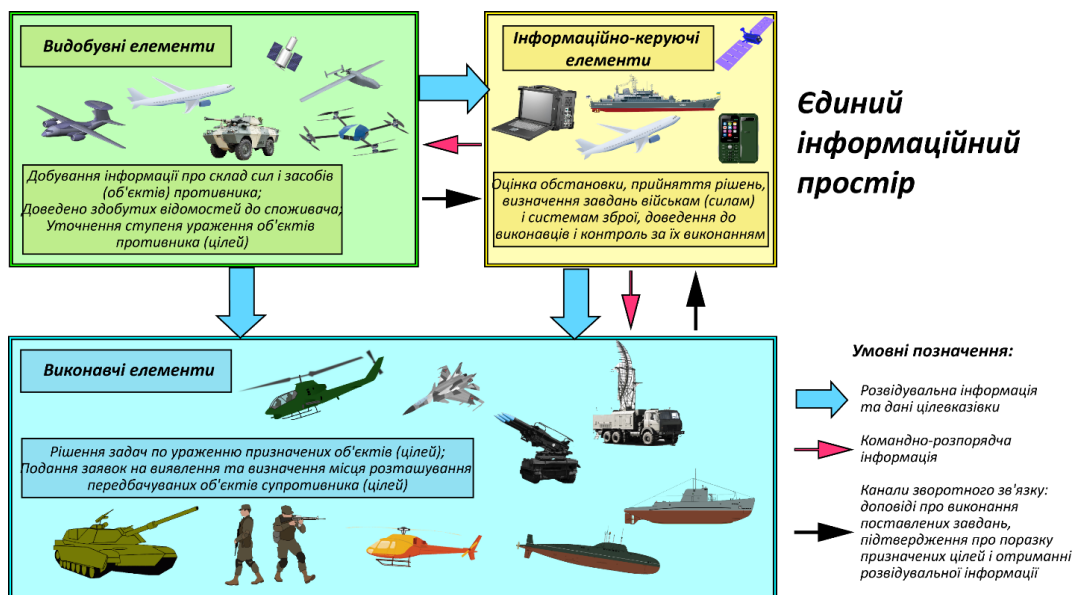


Рисунок 1 – Схема реалізації єдиного інформаційного простору

Сутність автоматизації управління військами полягає в оснащенні військ цифровими засобами зв'язку, в скороченні часу обробки інформації та автоматизація тих робіт, які виконуються офіцерами штабів вручну за рахунок впровадження геоінформаційної та спеціальної інформаційної складової в процес управління військами.

Застосування АСУ зброєю і військами по-перше, значно покращує процес управління, оскільки передача даних відбувається в реальному масштабі часу, а подруге, оскільки вся робота ведеться єдиним фронтом (командир може контролювати ситуацію, яка підлягає опрацюванню підпорядкованих штабах, безпосередньо в штабі бригади, і штабі оперативного командування). Покращується процес управління, оскільки передача даних відбувається в реальному часі. Вся робота (в батальйоні, артилерійському дивізіоні, штабі бригади та штабі оперативного командування) може вестись єдиним фронтом і дозволяє оперативно вносити зміни в управління підрозділами. Доведення всіх бойових документів до особового складу відбувається в режимі реального часу, відповіді надходять максимально швидко. Всі зміни в обстановці відстежуються в режимі он-лайн і миттєво відображаються на всіх бойових документах. Це дозволяє ефективно управляти військами та своєчасно реагувати на всі зміни бойової обстановки.

Застосування АСУ військами і зброєю разом з ГІС ВП дозволяє здійснювати постановки бойових задач підлеглим у візуалізованому вигляді та у відповідних масштабах за алгоритмом: командир підрозділу по мережі отримує комплект електронних розпорядчих документів і файл з даними про супротивника, бойовою задачею підрозділу, положенням сусідів тощо. Отримавши ці дані, він організовує свою роботу за класичною схемою: пояснює задачу, оцінює обстановку, приймає рішення, доводить його командирам підпорядкованих підрозділів, але інформаційний обмін здійснюється в електронному вигляді по діючих каналах зв'язку. Після затвердження рішення він ставить задачу первинним підрозділам. У цей же час в штабі бригади на електронну карту рішення командира наносяться елементи рішень підлеглих і завершується цикл планування бою [20].

Організація бойових дій – це процес роботи командира в процесі якого він приймає рішення, доводить до підлеглих командирів бойові завдання, організовує взаємодію, вживає заходів щодо всебічного забезпечення бойових дій і підготовки підрозділів до виконання бойових завдань. Виконання поставленої бойової задачі або різка зміна обстановки на полі бою потребують прийняття певних управлінських рішень, повне виконання яких отримало назву циклу бойового управління (рис. 2).

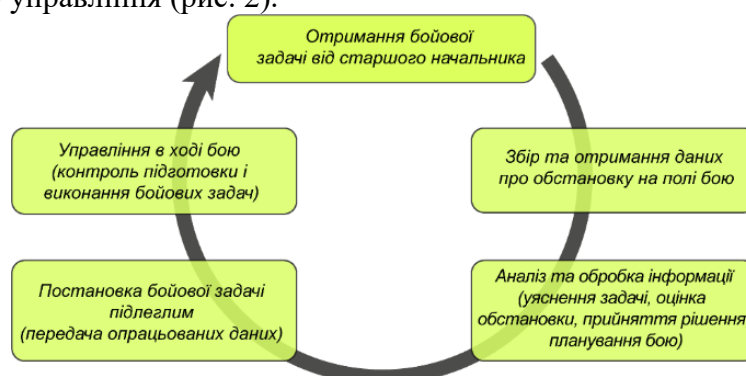


Рисунок 2 – Цикл бойового управління

Представлені етапи прийняття управлінських рішень в циклі бойового управління є організаційними і пов'язані з обробкою інформації. Виключення становить тільки етап безпосередньої підготовки військ до виконання бойових задач, що насичений практичними заходами. Це робить практично неможливою мінімізацію часу на його виконання. Реальні переваги над супротивником можна одержати тільки за рахунок скорочення часу на обробку інформації безпосередньо в АСУ ВП.

Процес доведення замислу командира є рядом послідовних операцій, який передбачає одночасну розробку ряду картографічних матеріалів обстановки. Без використання АСУ ВП це зробити реально неможливо. Наприклад, для розміщення на місцевості угруповань артилерії, високоточної зброї, бронетанкової техніки, армійської авіації тощо, необхідно точно знати задачі та розміщення загальновійськових підрозділів. Без знання цього неможливо визначити позиції засобів протиповітряної оборони (ППО). Не знаючи позицій засобів ППО,

артилерії, високоточної зброї, бронетанкової техніки, місць дислокації армійської авіації, неможливо визначити маршрути підвозу ракет, боєприпасів, паливно мастильних матеріалів тощо. Отже, поки командир не визначиться із замислом, а заступники і начальники родів військ та служб послідовно не оформлять їх на карті командира, замисел не можна вважати оформленим у необхідному для подальшої роботи обсязі. Тобто виникають щонайменше дві проблеми. Перша проблема стосується відображення загальновійськової частини замислу на карті і доведення його до посадових осіб системи управління військами і зброєю. Друга проблема пов'язана із взаємним інформуванням заступників і начальників родів військ та служб про зміст графічної частини затверджених командиром пропозицій.

Командири і штаби всіх рівнів управління, крім безпосереднього прийому-передачі даних стосовно поля бою (театру військових дій), повинні їх узагальнити, інтерпретувати, доповісти вищому штабу, відпрацьовувати і оформляти рішення та довести бойові задачі до підпорядкованих військ з наступним контролем їх виконання. При цьому передача інформації засобами зв'язку із врахуванням її шифрування і дешифрування повинна складати мінімальну за часом частину циклу бойового управління.

На сьогодні найбільш трудомістким і витратним за часом є процес візуалізації бойової обстановки. Причина полягає в тому, що дані про обстановку без інтерпретації та представленні в зручному і наочному для сприйняття людині вигляді, перед усім у графічному (картографічному), є малоінформативними. Особливо це важливо для тактичного рівня, де щонайменше 90% усієї інформації, що надходить, відображається тактичними знаками.

Сутність роботи штабів щодо візуалізації даних стосовно поля бою (ТВД) полягає в перетворенні одержаних текстових і голосових даних у графічне (картографічне) відображення. При цьому отримані дані повинні наноситись з високою точністю і в повному обсязі, не "забиваючи" топографічну основу карти. Карта є основним робочим документом в штабі будь-якого рівня. Крім того, при роботі з просторовими даними необхідно враховувати те, що як правило, у будь-якому штабі для проведення планування і постановки задач повинно бути щонайменше два-три масштаби топографічних карт. Це обумовлено необхідністю одночасної роботи посадових осіб зі штабами різних рівнів управління. Наприклад, у процесі планування бою, деталізація рішення командира бригади здійснюється, як правило, на два рівні нижче. Крім елементів рішень підлеглих, на карту рішення також наносять дані про рішення сусідів і взаємодіючих підрозділів.

Проведений авторами аналіз спеціальної літератури свідчить, що удосконалення АСУ ВП США, країнами-членами НАТО та розвиненими країнами світу на сучасному етапі здійснюється шляхом:

- насичення військ засобами високопродуктивної обчислювальної техніки, автоматизації та широкосмугового зв'язку;
- забезпечення максимальної ситуаційної поінформованості взаємодіючих військ (сил);
- підвищення функціональних можливостей і ступеня «інтелектуалізації» систем збору, обробки даних;
- удосконалення інтерфейсу «людина – комп'ютер», управління обчислювальними засобами за допомогою природних і більш зручних для людини способів спілкування;
- підвищення можливостей військових підрозділів щодо ведення мобільних і автономних дій у різній обстановці, на будь-якій місцевості, в тому числі і на необладнаній в оперативному відношенні;
- підвищення якості управління військами і зброєю за рахунок забезпечення взаємодії і інтеграції систем (комплексів, засобів) розвідки і цілевказівки, навігаційного, топогеодезичного, гідрометеорологічного та іншого забезпечення,
- удосконалення ударних комплексів, засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) і зв'язку.
- оснащенням новим ефективним і завадостійким загальносистемним і спеціальним програмним забезпеченням.

Ефективне застосування АСУ ВП передбачає використання загально-системного та спеціального програмного забезпечення.

Загальносистемне програмне забезпечення являє собою обчислювальне середовище і реалізує інформаційно-обчислювальний процес в обчислювальних елементах засобів автоматизації як окремих органів і пунктів управління, так і системи управління загалом. Основними функціями загальносистемного програмного забезпечення виступають:

- управління засобами комунікації, як на рівні локальних обчислювальних мереж, так і на рівні різнорідних мереж обміну даними, а також засобами колективного користування;
- підтримка основних мережевих служб системного і користувацького рівнів, необхідних протоколів локальних обчислювальних мереж і розподілених мереж;
- управління системною частиною геоінформаційних програмних засобів, які забезпечують потреби посадових осіб і програмних компонентів спеціального програмного забезпечення АСУ ВП у відображенні і проведенні розрахунків на картографічному фоні;
- підтримка системи єдиного часу, роботи текстових і графічних редакторів, копіювання і відновлення баз даних, одержання навігаційної інформації;
- адміністрування баз даних: їх створення, наповнення, переміщення, архівація і відновлення;
- формування й обробка документів, команд і сигналів;
- створення, ведення і тиражування локальних класифікаторів, довідників та уніфікованих форм документів;
- синхронізація баз даних між об'єктами різних рівнів;
- управління засобами адміністрування інформаційного забезпечення АСУ ВП;
- контроль і управління функціонуванням технічних засобів і каналів мережі обміну даними;
- захист інформації тощо.

Будучи ядром програмного забезпечення комплексів засобів АСУ, загальне програмне забезпечення дозволяє автоматизувати основні для всіх посадових осіб управлінські задачі.

Спеціальне програмне забезпечення призначене для автоматизації процесів управління і розрахунково-аналітичної діяльності посадових осіб пунктів управління, а також виконання необхідних оперативно-тактичних розрахунків, моделювання бойових дій при виконанні покладених на них управлінських функцій.

Перехід спеціалізованого програмного забезпечення до хмарних сервісів, що відбувається сьогодні, забезпечує спільне застосування ресурсів користувачами, мережевий доступ до програмного забезпечення, гнучкість його використання; масштабованість; швидке отримання послуг «на вимогу» самими користувачами (самообслуговування), зменшує потребу в програмному забезпеченні і його підтримці, в потужних комп'ютерах та їх періодичного оновлення, надає можливість працювати в будь-якому місці і в будь-який час, виконувати необхідну обробку в автоматизованому режимі. Отримують все більший розвиток алгоритми аналізу інформації (нейрологіка) і технології ситуаційної обізнаності.

Самостійною, але невід'ємною складовою сучасних АСУ ВП і зброєю виступають геоінформаційні системи військового призначення (ГІС ВП) та геоінформаційні технології (ГІТ) які слугують для моделювання сценаріїв розвитку подій на полі бою, їх прогнозування та підготовки пропозицій щодо прийняття управлінських рішень для забезпечення результативності та ефективності проведених дій, підвищення реалізації потенційних бойових можливостей військових формувань і озброєння, тощо. Технології ДЗЗ дозволяють розширити можливості одержання даних про місцевість і оперативну обстановку в ході бойових дій за рахунок використання цифрових знімків не тільки в оптичному (видимому) діапазоні, але й в інших спектральних діапазонах у поєднанні з радіолокаційними даними; автоматизованого дешифрування об'єктів на космічних і повітряних знімках; подання місцевості в різний час доби і час року; доповнення крупномасштабних планів міст цифровою моделлю міської території, впритул до планів будівель і споруд.

ГІС – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних. Сучасні ГІС

обробляють як просторові (метричні, координатні, картографічні) так і атрибутивні (семантичні, алфавітно-цифрові) дані. Крім того, існуючі ГІС є багатофункціональними і функціонують на платформі інформаційних систем (ІС).

ГІТ – це сукупність методів і програмно-технічних засобів, поєднаних у технологічний ланцюжок, який забезпечує збір, обробку, збереження, поширення та відображення просторової інформації з метою зменшення трудомісткості процесів використання інформаційного ресурсу, а також підвищення їх надійності й оперативності [21].

ГІС ВП – функціонально-орієнтована ГІС для вирішення завдань військового призначення (застосування в АСУ ВП, системі підтримки і прийняття управлінських рішень командирами різних рівнів управління в мирний і воєнний час, планування бойових дій і видів бойового забезпечення, розв'язок задач управління військами і зброєю з урахуванням географічної розосередженості військ на місцевості, обмеженість за часом реалізації, створення цифрових (електронних) карт і виконання військово-прикладних (розрахункових) завдань, пов'язаних з оцінкою оперативно-тактичних властивостей місцевості й плануванням застосування сил (засобів). При цьому розв'язок розмаїття задач управління військами і озброєнням потребує різні види просторових даних про місцевість, застосування електронних карт різних масштабів тощо (рис. 3).

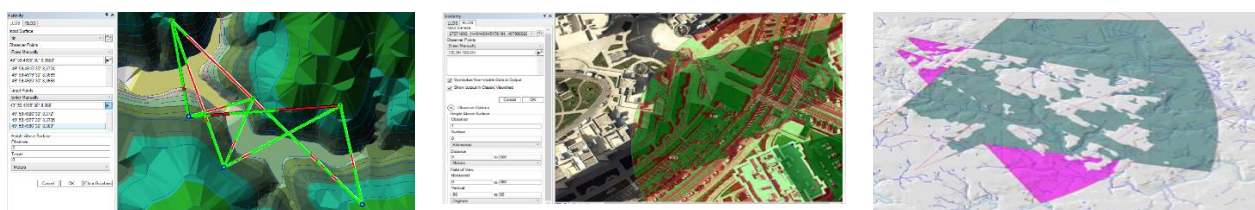


Рисунок 3 – Приклад застосування ГІТ для визначення зон видимості

Функціональні можливості такої ГІС повинні включати створення тактичних карт, планування конвоїв, аналіз цілей, контроль оперативної обстановки та ряд інших задач [22]. У зв'язку з цим, потребує особливої уваги систематизація геоінформаційних ресурсів на основі єдиних принципів і правил формування, формалізованого збереження, уніфікованого розповсюдження і візуального подання, в тому числі у вигляді тривимірних і чотиривимірних (динамічних) моделей.

Основу даних, що використовуються в ГІС ВП і АСУ ВП складають цифрові дані про місцевість (цифрові інформаційні моделі – ЦІМ, цифрові моделі місцевості – ЦММ, цифрові моделі рельєфу (ЦМР) тощо). Серед цієї сукупності цифрових даних виділяють геодезичні, картографічні, фотограмметричні, тактичні, метеорологічні, спеціалізовані дані фоно-цільової обстановки для високоточної зброї, дані про свої війська, тилове забезпечення та ряд інших даних необхідних для планування військових дій і застосування різних видів озброєння тощо.

ЦІМ знаходять все більше і більше застосування при підготовці і в ході бойових дій для розв'язання задач забезпечення відомостями про розташування цілей по цифровій топографічній карті масштабу 1:50000, забезпечення крупномасштабними спеціальними картографічними документами, оперативно створеними за наявними ЦІМ, вирішення спеціальних геоінформаційних задач по електронних топографічних картах масштабів 1:50000–1:200000 в інтересах штабів і військ.

Електронні топографічні карти дозволяють оперативно одержувати координати об'єктів і цілей, здійснювати перевірку точності координат цілей, отриманих по розвіданих, визначити координати цілей по даних радіоперехоплення (у 5-6 разів швидше порівняно з традиційними способами визначення координат по топографічних картах).

ЦІМ, ЦММ та ЦМР використовуються в АСУ ВП як топографічна основа для розробки бойових картографічних документів і подаються наборами файлів, що відображають окремі аркуші паперових (аналогових) карт відповідних масштабів з наступним «зшиванням» в єдиний масив. Аналогічно звичайним паперовим картам, вони не відрізняються від них за

номенклатурою, масштабом і ступенем деталізації, але мають єдину систему координат. Наприклад, якщо об'єкти тактичної обстановки відображені на базовій електронній карті масштабу 1:100 000 то їх можна нанести і на електронну карту іншого масштабу. Але при відкритті файлу обстановки на електронній карті масштабу більш крупного масштабу, наприклад 1:50 000 усі тактичні знаки залишаться на своїх місцях, збільшившись в розмірах у два рази, закриваючи при цьому топографічну основу карти. З цього випливає, що при відображенні файлу обстановки на карті більш крупного масштабу необхідно всі тактичні знаки зменшувати до рівня, коли розмір знака не наблизиться на карті до розміру стандартного трафарету офіцерської лінійки. Зменшення знаків (картографічна генералізація) повинна здійснюватися для відображення всієї обстановки на полі бою або ТВД. Сучасні ГІС ВП надають можливість це робити з урахуванням базового масштабу карти [23–25]. Тобто, наявність ГІС ВП для розробки бойових документів дає можливість використовувати єдину топографічну основу з наскрізним зображенням об'єктів місцевості у відповідності з обраним масштабом замість трьох різних топографічних районів паперової топографічної карти різного масштабу (різної деталізації). Крім того, ГІС ВП повинні дозволяти передачу захищеними каналами зв'язку оверлейних шарів з поточною обстановкою, списки координат, що описують місце розташування об'єктів, елементи, які мають складну просторову структуру і просторові відношення (осі руху у вигляді просторового графа, межі з топологією, маршрути, мінні поля тощо).

Крім безпосереднього використання технологій ГІС і ГІТ для ГІС ВП потрібна актуальна і вичерпна дані у цифровому вигляді про територію бойових дій (електронні топографічні карти, плани населених пунктів, навігаційні карти та картосхеми, оглядово-географічні карти, електронні фотоплани, моделі рельєфу місцевості, матриці планових зображень та властивостей місцевості, матриці висот, об'єктно-орієнтовані моделі тощо), причому в спеціалізованих електронних форматах з особливими умовами генералізації, з можливістю визначення координат об'єктів у різних вітчизняних і зарубіжних системах геодезичних координат, кліматичних і погодних умов тощо. Дані відомості слугують основою для створення нових цифрових, електронних карт та цифрових моделей місцевості різного призначення. Звичайна паперова карта не забезпечує відображення динамічних змін ситуації бою. А електронні карти позбавлені цього недоліку і виступають просторовою структурою, на яку накладається оперативно-тактична обстановка, забезпечуючи при цьому одну з головних вимог до карт військового призначення – підтримку ситуаційного відображення. Проте, цифрова (електронна) карта буде виконувати свої різноманітні функції тільки тоді, коли буде оснащена відповідними інструментами. Будь-яка карта включає просторові (географічні) дані, структура яких забезпечується картографічною проекцією, масштабом, правильними назвами об'єктів тощо. Електронна карта без засобів перегляду, аналізу, друку, розстановки умовних знаків, малоприматна для використання. ГІС ВП повинна дозволяти її перетворення в повноцінний продукт, зручний для використання, повинна надавати можливості для перерахунку цифрової карти в іншу проекцію і систему координат, наприклад, у систему координат території супротивника.

ГІС ВП повинна інтегрувати в собі різноманітні ГІТ для створення та підтримки в актуальному стані картографічної інформації, а також її використання в електронному вигляді для вирішення на її основі завдань, пов'язаних з повсякденною діяльністю, плануванням та застосуванням як військових підрозділів, так і ЗС загалом.

Під інтеграцією розуміють доступність одержання ГІС ВП всіх необхідних даних з наявних в ІС та джерелах просторових даних.

ГІС ВП повинна здійснювати подання великих об'ємів різноманітної координатно-часової інформації в зручному для використання вигляді для органів управління військами і зброєю у процесі вивчення, аналізу й оцінки обстановки, планування операцій, підготовки цілевказівок, польотних завдань тощо. Різні користувачі ГІС ВП повинні мати можливість відносити будь-які об'єкти на електронній карті до різних класів одночасно і будувати багаторівневі шари об'єктів (класифікаційні системи з різними основами) для кожного

застосування або конкретного дослідження. Поряд з поданням об'єктів оперативної обстановки, як розподілених у просторі, в ГІС ВП повинні “уживатися” взаємно-доповнюючі подання, що забезпечують схемотехнічне (у вигляді принципів схем, наприклад, мережі зв'язку), а також об'єктно-орієнтовані імітаційні моделі об'єктів, що існують у зоні дії військ. При цьому уся безліч систем повинна пов'язуватись між собою; наприклад, вибір радіостанції при необхідності повинен візуалізувати її на карті або в схемі зв'язку (якщо остання представлена у своєму просторі ознак).

Застосування АСУ ВП разом з ГІС дозволяє розподілити повноваження посадових осіб ЗС зі збору і послідовності нанесення обстановки на електронну карту командира. Робота в просторово-розподіленій ГІС ВП передбачає доступ до даних як командирів різного рівня управління, створення ними файлів обстановки управлінських рішень в межах мережі, так і підпорядкованих підрозділів в межах їх повноважень.

Локальна інформаційна мережа передбачає реалізацію принципу багатокористувацького доступу до файлів (інформаційних шарів) обстановки, коли кожна посадова особа бачить всі шари, але наносити (редагувати) обстановку може лише в межах повноважень (визначених для роботи шаром) без можливості зміни обстановки в інших шарах. Тільки командир має право вносити зміни в будь-який шар [20]. Будь-який командир працюючи в локальній інформаційній мережі може вимагати від підпорядкованих йому підрозділів і навіть окремих бойових одиниць надання йому файлів обстановки своїх рішень. Він може реально відстежувати роботу підпорядкованих йому командирів, підрозділів, окремих бойових одиниць при нанесенні обстановки, оцінювані ситуації на полі бою, відстежувати роботу сусідів, союзників та підрозділів коаліції і за необхідності вносити корективи, а підпорядковані йому підрозділи і окремі бійці бачити обстановку на ТВД в межах своїх повноважень, при відпрацюванні своїх рішень враховувати не тільки отриману від безпосереднього командира задачу, але й управлінські рішення сусідніх військ, підрозділів, окремих бойових одиниць та навіть дій супротивника. Це дозволяє навіть на етапі розробки замислу командира закладати основи взаємодії.

Після з'ясування задачі, оцінки обстановки і проведених штабом попередніх розрахунків командир одноосібно повинен визначити замисел і нанести його на карту. Виходячи із нормативів на опрацювання і нанесення замислу на карту, як правило, витрачається не більше півтори години. При цьому, чим раніше командир доведе замисел до своїх заступників, начальників родів військ і служб, підрозділів, тим швидше та якісніше будуть відпрацьовані їх пропозиції щодо застосування підпорядкованих їм частин, підрозділів, окремих бойових одиниць.

ГІС ВП повинна надавати можливість тривимірної візуалізації подання місцевості або її обліт з нанесеною бойовою обстановкою, що істотно підвищує інформативність цього продукту, на відміну від простої паперової карти з нарисованими на ній об'єктами. Це забезпечить можливість розв'язку в автоматизованому режимі задач управління зброєю з урахуванням рельєфу місцевості, місць розташування стартових позицій вогневих засобів і цілей тощо.

Крім того ГІС ВП повинна [26-28]:

- підвищувати ефективність роботи посадових осіб за рахунок своєчасного доведення до них необхідної інформації про місцевість і процеси, що відбуваються на ній за допомогою електронних і користувацьких карт (робочих карт посадових осіб);
- надавати можливість просторового маніпулювання картографічними і атрибутивними даними і виявлення нових зв'язків, одержання нових знань, що використовуються в процесі прийняття рішень;
- здійснювати моніторинг результатів зони відповідальності військ і підрозділів;
- складати оптимальні наземні, морські та повітряні маршрути передислокації військ і бойової техніки, визначати оптимальний розклад руху і маршрути військових підрозділів та бойової техніки, враховуючи конкретну бойову обстановку, скритність, час доби, стан місцевості, прохідність і вантажопідйомність бойової техніки, розраховувати швидкість та

відстань передислокації, можливості техніки тощо та диспетчерський супровід мобільних об'єктів

- планувати польоти авіації, БПЛА з метою ведення розвідки, нанесення ударів, перевезення вантажів і особового складу, супровід цінних і небезпечних вантажів, моделювати повітряні коридори, позначати заборонені для польоту зони, прискорювати процес створення радіонавігаційної карти, забезпечувати наземну і повітряну навігації (в тому числі й з відображенням результатів на електронній карті);

- здійснювати пошук найбільш імовірних маршрутів переміщення супротивника з метою розміщення засобів протидії;

- формувати 3D моделі місцевості та їх використання в тренажерах (наприклад, льотних);

- візуалізувати місця розташування військ на електронній карті;

- прогнозувати наслідки надзвичайних ситуацій, масованих ударів, планувати евакуацію, захист військ і населення, проведення відновлювальних робіт;

- забезпечувати роботу диспетчерських пунктів і аварійних служб, наносити на карту місця події, здійснювати швидкий пошук аварійних, патрульних або мобільних оперативних груп, які перебувають поблизу від міста події;

- здійснювати збір, накопичення, візуалізацію просторових та атрибутивних даних про місцевість, її тактичні властивості (відомості про супротивника і характер його дій, відомості про розташування своїх військ, сусідніх підрозділів, військ коаліції тощо, радіаційну, хімічну і екологічну обстановку та безліч інших відомостей, що виникають у ході бойових дій) та їх прив'язку, ув'язку геооб'єктів з тематичними базами даних з можливістю пошуку одних за допомогою інших та маніпулювання ними;

- створювати актуальні цифрові, електронні топографічні та спеціальні карти в різних форматах (векторних – у форматах SXF, DXF, VPF, SDTS, DX-90, MIF/MIC, F20S, растрові карти і фотозображення у форматах PCX, TIFF, JPEG, відображення астрономо-геодезичних даних у форматах MySQL, Oracle Database, dBase, Paradox, Oracle, SGL Server, Netware SGL тощо;

- контролювати цілісність геоданих, виконувати розмежування доступу і забезпечення безпеки всіх даних, підтримку базового інформаційного забезпечення (правил кодування, цифрового опису і візуалізації об'єктів електронних карт);

- створювати і виводити на друк копії тематичних карт, карт розвідданих, зведень та звітних документів;

- виконувати логічне зшивання об'єктів, розташованих на різних аркушах карт;

- створювати ЦІМ, виконувати їх перетворення в необхідні проекції, системи координат та їх подання і збереження у вигляді логічних єдиних масивів даних;

- розмежувати інформацію та здійснювати її захист від несанкціонованого доступу;

- виконувати моделювання розрахункових і інформаційно воєнно-прикладних задач.

- відображувати результати інформаційно-розрахункових задач у різних сполученнях в обраній системі координат, у тому числі створення, видалення і редагування об'єктів користувача, можливість масштабування і скролінгу (переміщення) зображень, можливість вибору окремих шарів, груп об'єктів;

- виконувати пошук об'єктів усередині заданої області (форма і розмір області задається різними способами) по координатах, кодах і характеристиках з наступним їх поданням і відображенням на екрані шляхом підвищеної яскравості відображення;

- знімати обмеження розмірів об'єктів і районів ведення бойових дій, вхідних файлів ЦІМ і тематичних даних;

- забезпечувати можливість використання необхідної інформації в режимі реального часу при підготовці і в ході операцій;

- опрацьовувати та аналізувати просторові дані для органів управління військами і зброєю всіх рівнів, розв'язувати інформаційно-розрахункові задачі та здійснювати підготовку

управлінських рішень щодо ведення бойових дій з наступним наочним відображенням результатів на електронній карті;

- розробляти геоінформаційні додатки для вирішення широкого кола завдань (від аналізу і оцінки місцевості до моделювання операцій, проведення навчань і командно-штабних тренувань дій військ на різних рівнях: від підрозділу до Збройних Сил загалом);

- підвищувати ефективність роботи посадових осіб за рахунок своєчасного доведення до них необхідної інформації про місцевість і процеси, що відбуваються на ній за допомогою електронних і користувацьких карт;

- забезпечувати можливість просторового маніпулювання картографічними даними і відпрацювання нових зв'язків, що використовуються в процесі прийняття рішень;

- надавати ефективні засоби обробки й аналізу просторово-розподілених даних (оперативно-тактичних; розвідувальних; фоно-цільових; метео- і геофізичних; результатів моніторингу зони відповідальності тощо).

- здійснювати топогеодезичну прив'язку елементів бойових порядків ракетних та артилерійських частин, радіотехнічних засобів розвідки і наведення авіації і ракетних комплексів протиповітряної оборони, визначення координат об'єктів супротивника в реальному масштабі часу;

- проектувати облаштування військ і будівництва військово-інженерних споруд;

- виконувати оперативну розробку і ведення всіх видів бойових графічних документів.

Висновки. Концепція МЦВ разом ГІС ВП де-факто стали невід'ємною частиною сучасних АСУВ і зброєю, підтримки прийняття ефективних рішень командирами різних ланок і рівнів, плануванні бойових дій військ та видів бойового забезпечення. ГІС ВП дозволить підвищити ефективність управління військами і зброєю за рахунок суттєвого зменшення часу, необхідного для оцінки обстановки, розробки планів дій військ і прийняття рішень та комплексної обробки і наочного відображення на єдиній основі всіх видів використовуваних даних (картографічних, оперативно-тактичних, розвідувальних, фоноцільових, метеогеофізичних тощо).

Аналіз задач, вирішуваних ЗС України при підготовці і в ході проведення різних тренувань, навчань, проведенні АТО, а також засобів і методів їх розв'язку свідчить про серйозне відставання в питаннях використання геоінформаційних систем (ГІС) та геоінформаційних технологій (ГІТ) від армій НАТО і ряду інших розвинених країн. Головними перешкодами на шляху подолання відставання є використання різномірних програмних продуктів, форматів подання даних, технологій, заснованих на різній ідеології формування, обробки і збереження просторових даних.

Цілком очевидно, що обґрунтування вимог до ГІС ВП повинен стати першим етапом зі створення ЄІП держави. Труднощі виникають при необхідності вибору однієї з безлічі пропонованих ГІС. Вони викликані відсутністю об'єктивної методики оцінки ГІС з точки зору її придатності для розв'язку задач. Щоб визначити доцільність використання конкретної ГІС необхідно знати, наскільки вона задовольняє вимогам, обумовлених специфікою задач, розв'язуваних в процесі обробки геоданих.

Використання ГІС ВП ЗС України дасть можливість проводити якісний аналіз просторової і атрибутивної інформації, приймати ефективні управлінські рішення, візуалізувати зону ведення бойових дій як окремих частин і підрозділів, так і всього театру військових дій, оперативно відображати будь-які зміни бойової обстановки автоматизувати актуалізацію карт, визначати координати певних об'єктів, навігації тощо.

Застосування ГІС ВП дозволить зменшити імовірність помилок і недоопрацювань, підвищить швидкість створення карт, прискорить обробку інформації та суттєво підвищить якість прийняття рішень командирами різних рівнів і ланок, які залучені в процес прийняття певного рішення, забезпечить однакову вихідну картину бойових дій; підтримання знань військово-об'єктової обстановки на тактичному, оперативно-тактичному та оперативному рівнях; забезпечить оперативне доведення інформації до зацікавлених санкціонованих користувачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Слипченко В.И. Войны нового поколения: дистанционные, бесконтактные. – М.: Олма-пресс образование, 2004, Требин М.П. Войны XXI века. – М.: Издательство АСТ, 2005, Арзуманян Р.В. Определение войны в 21 веке. Обзор XXI ежегодной конференции по стратегии Института стратегических исследований Армейского военного колледжа, 6-8 апреля 2010 г. – Ереван, 2011.
2. Попова А.Н. Информационное оружие как средство достижения превосходства в XXI веке // Научное сообщество студентов XXI столетия. ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ: сб. ст. по мат. LI междунар. студ. науч.-практ. конф. № 4(51). URL: [https://sibac.info/archive/social/4\(51\).pdf](https://sibac.info/archive/social/4(51).pdf) (дата обращения: 12.04.2020)
3. Використання інформаційних технологій та застосування космічних систем в інтересах військ (сил): підручник / [О. Ю. Пермяков, В. Г. Солонніков, Ю. Б. Прибілев та ін. – К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2014. – 208 с.;
4. Иванов О.П. Военная сила в глобальной стратегии США: монография. – М.: Восток – Запад 2008. – 198 с.,
5. Требин М.П. Войны XXI века. – М.: Издательство АСТ, 2005. – 608 с.
6. Ван Кревельд М. Трансформация войны. – М.: ИРИСЭН, 2005. – 27 с.
7. «Сетецентрическая война. Дайджест по материалам открытых изданий и СМИ». – М. ВАГШ ВС РФ, 2010.,
8. Савин Л.В. Сетецентричная и сетевая война. Введение в концепцию. – М.: Евразийское движение, 2011. – 130 с.,
9. Паршин С.А., Горбачёв Ю.Е, Кожанов Ю.А. Современные тенденции развития теории и практики управления в Вооруженных силах США. – М.: Ленанд, 2009. – 272 с.
10. Курышев Е. География данных 4.0. Журнал IT-News. 2018. № 9. Електронне видання URL: <https://www.it-weekly.ru/it-news/analytics/140681.html>. (дата звернення: 27.03.2019).
11. Даник Ю.Г. Особливості інформаційного забезпечення в сфері національної безпеки і оборони в сучасних умовах та на перспективу. Застосування космічних та геоінформаційних систем в інтересах національної безпеки та оборони: збірник матеріалів III міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 5 квітня 2018 р.). Київ, 2018. – С. 19-23.
12. Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації». (17.01.2018).
13. Розпорядження № 67-р, [Електронний ресурс]. Доступно: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/67-#Text>. Дата звернення: 08.07. 2020].
14. Розпорядження № 649-р., «Про схвалення Концепції розвитку електронного урядування в Україні». [Електронний ресурс]. Доступно: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/649-2017-#Text>. Дата звернення: 08.07.2020].
15. Указ Президента України «Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» від 12 січня 2015 р. №5 [Електронний ресурс]. Доступно: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>. Дата звернення: 08.07.2020.
16. Проект Концепції створення Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля» (на стадії громадських обговорень) [Міністерство екології та природних ресурсів України.
17. Проект «Концепція створення Загальнодержавної автоматизованої системи «Відкрите довкілля». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://menr.gov.ua/projects/125>. Дата звернення: 08.07.2020.
18. Організація автоматизованих систем управління військами (силами) Збройних Сил України: навчальний посібник. – К.: НУОУ, 2010. – 192 с.
19. Положення про Генеральний штаб Збройних Сил України, затвержене Указом Президента України від 21 вересня 2006 року № 769/2006, Основы теории управления войсками / П.К. Алтухов, И.А. Афонский, И.В. Рыболовский, А.Е. Татарченко; под ред. П.К. Алтухова. – М: Воениздат, 1984. – 221 с.
20. Федченко О., Литвиненко Н. Підвищення ефективності управління військами за рахунок автоматизації геоінформаційної складової. //Зб. наук. праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. № 63 – 2019, С. 47-53.
21. Зацерковний В. І. Геоінформатика: навч. посіб. / В. І. Зацерковний, Л. В. Тустановська. – Київ: КНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. – 467 с.
22. Гриняев С. Н. Война в четвертой сфере [Электронный ресурс] URL: <http://ww-4.narod.ru/warfare/grinyaev/page015.htm> (Дата обращения: 31.05.2020)

23. Фролов В.С. Структурно-логічна схема Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України“. Наука і оборона. 2012. № 1. С. 15–23.
24. Петлюк І.В., Власенко С.Г. Використання геоінформаційних систем військового призначення в миротворчих цілях. Зб. матер. наук. – пр. конференції (Львів, 29 січня 2015 р.). Львів: АСВ, 2015. С. 253-255.,
25. Чорнокнижний О.А. Досвід використання ГІС у Сухопутних військах Збройних Сил США [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.gis.sls.name/wp-content/uploads/2015/01>.
26. Присяжнюк С. П. Геоинформационные системы военного назначения: Учебник / С. П. Присяжнюк, В. Н. Филатов С. П. Федоненков. – СПб.: БГТУ, 2009. – 210 с.
27. Gistechnik: все о ГИС и их применении [Электронный ресурс]: офиц. веб-сайт. – Режим доступа: <https://gistechnik.ru> (дата обращения: 08.06.2020).
28. Беленков В. В. Основные направления применения геоинформационных технологий в военном деле [Электронный ресурс] / В. В. Беленков, М. М. Корж // Информационные технологии и компьютерная инженерия. – 2006. – № 3 (7). – Режим доступа: <https://gisinfo.ru/item/41.htm> (дата обращения: 15.07.2020).

REFERENCES:

- Slipchenko V.I. (2004). *Vojny novogo pokolenija: distancionnye, beskontaktnye*. – М.: Olma-press obrazovanie, Trebin M.P. (2005). *Vojny XXI veka*. – М.: Izdatel'stvo AST, Arzumanjan R.V. (2010). *Opređenje vojny v 21 veke. Obzor XXI ezhegodnoj konferencii po strategii Instituta strategicheskikh issledovanij Armejskogo voennogo kolledzha, 6-8 aprelja*. – Erevan.
- Popova A.N. (2020). *Informacionnoe oruzhie kak sredstvo dostizhenija prevoshodstva v XXI veke. Nauchnoe soobshhestvo studentov XXI stoletija. OBSHHESTVENNYE NAUKI: sb. st. po mat. LII mezhdunar. stud. nauch.-prakt. konf. № 4(51)*. URL: [https://sibac.info/archive/social/4\(51\).pdf](https://sibac.info/archive/social/4(51).pdf) (data obrashhenija: 12.04.2020)
- Permjakov O. Ju., Solonnikov V. G., Pribyljev Ju. B. end in (2014). *Vykorystannja informacijnyh tehnologij ta zastosuvannja kosmichnyh system v interesah vijs'k (syl): pidruchnyk / [*. – К.: NUOU im. Ivana Chernjahivs'kogo,. – 208 p.
- Ivanov, O. P. (2008) *Voennaya sila v global'noj strategii SShA: monografiya*. Moskva: Vostok.198 p.
- Trebin, M. P. (2005) *Vojny` XXI veka*. Moskva: Izdatel`stvo AST. 608 p.
- Van Krevel`d, M. (2005) *Transformacija vojny`*. Moskva: IRISEN.27 p.
- Setecentricheskaja vojna. Dajdzhest po materialam otkrytyh izdanij i SMI. M. VAGSh VS RF, 2010.
- Savin, L.V. (2011) *Setecentrichnaya i setevaya vojna. Vvedenie v koncepciju*. Moskva: Evrazijskoe dvizhenie.130 p.
- Parshin, S. A., Gorbachyov, Y. E., and Kozhanov, Y. A. (2009) *Sovremenny`e tendencii razvitiya teorii i praktiki upravleniya v Vooruzhenny`x silax SShA*. Moskva: Lenand.
- Kuryshv E. (2018). *Geografija dannyh 4.0. Zhurnal IT-News. № 9. Elektronne vidannja* URL: <https://www.it-weekly.ru/it-news/analytics/140681.html>. (data zvernennja: 27.03.2019)
- Danyk Ju.G. (2018) *Osoblyvosti informacijnogo zabezpechennja v sferi nacional'noi' bezpeky i oborony v suchasnyh umovah ta na perspektyvu. Zastosuvannja kosmichnyh ta geoinformacijnyh system v interesah nacional'noi' bezpeky ta oborony: zbirnyk materialiv III mizhnarodnoi' naukovopraktychnoi' konferencii' (Kyiv, 5 kvitnja 2018 r.)*. Kyiv, 2018. Pp. 19-23.
- Pro shvalennja Konceptii' rozvytku cyfrovoi' ekonomiky ta suspil'stva Ukrai'ny na 2018-2020 roky ta zatverdzhennja planu zahodiv shhodo i'i' realizacii'». (17.01.2018).
- Rozporjadzhennja № 67-r, [Elektronnyj resurs]. Dostupno: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/67-#Text>. Data zvernennja: 08.07. 2020].
- Rozporjadzhennja № 649-r., «Pro shvalennja Konceptii' rozvytku elektronnoho urjaduvannja v Ukrai'ni». [Elektronnyj resurs]. Dostupno: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/649-2017-#Text>. Data zvernennja: 08.07.2020].
- Ukaz Prezidenta Ukrai'ny «Pro strategiju stalogo rozvytku «Ukrai'na – 2020» vid 12 sichnja 2015 r. №5 [Elektronnyj resurs]. Dostupno: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/5/2015>. Data zvernennja: 08.07.2020.
- Proekt Konceptii' stvorennja Zagal'noderzhavnoi' avtomatyzovanoi' systemy «Vidkryte dovkillja» (na stadii' gromads'kyh obgovoren') [Ministerstvo ekologii' ta pryrodnyh resursiv Ukrai'ny.
- Proekt «Konceptija stvorennja Zagal'noderzhavnoi' avtomatyzovanoi' systemy «Vidkryte dovkillja». [Elektronnyj resurs]. Dostupno: <https://menr.gov.ua/projects/125>. Data zvernennja: 08.07.2020.

18. Organizacija avtomatyzovanyh system upravlinnja vijs'kamy (sylamy) Zbrojnyh Syl Ukrai'ny: navchal'nyj posibnyk. K.: NUOU, 2010. 192 p.
19. Polozhennja pro General'nyj shtab Zbrojnyh Syl Ukrai'ny, zatverdzhene Ukazom Prezydenta Ukrai'ny vid 21 veresnja 2006 roku № 769/2006, Osnovy teoryy upravlenija vojskamy / P.K. Altuhov, Y.A. Afonskyj, Y.V. Rybolovskyj, A.E. Tatarchenko; pod red. P.K. Altuhova. M: Voenyzzdat, 1984. 221 p.
20. Litvinenko, N., and Fedchenko, O. (2019) 'Pidvishhennya efektyvnosti upravlinnja vijs'kami za raxunok avtomatyzacii geoinformacijnoi skladovoï'. Zbirnik naukovix prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacjonal'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka (68), 47-53.
21. Zacerkovnij, V.I., and Tustanov'ska, L.V. (2018) Geoinformatika. Kiiv: KNU im. Tarasa Shevchenka. 467 p.
22. Grynjaev S.N. (2020) Vojna v chetvertoj sfere URL: <http://ww-4.narod.ru/warfare/grinyaev/page015.htm>
23. rolov V.S. (2012) Strukturno-logichna shema Jedynoi' avtomatyzovanoi' systemy upravlinnja Zbrojnyh Syl Ukrai'ny. *Nauka i oborona*. No. 1. Pp. 15–23.
24. Petljuk I.V., Vlasenko S.G. (2015) Vykorystannja geoinformacijnyh system vijs'kovogo pryznachennja v myrotvorchyh ciljah. Zb. mater. nauk. – pr. konferencii' (L'viv, 29 sichnja 2015 r.). L'viv: ASV, 2015. Pp. 253-255.
25. Chornoknyzhnyj O.A. (2015) Dosvid vykorystannja GIS u Suhoputnyh vijs'kah Zbrojnyh Syl SShA [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gis.sls.name/wp-content/uploads/2015/01>.
26. Priszajzhnjuk S.P., Filatov V.N. and Fedonenkov S.P. (2009) Geoinformacionnye sistemy voennogo naznachenija. SPb.: BGTU. 210 p.
27. Gistechnik: vse o GIS i ih primenenii [Elektronnyj resurs]: ofic. veb-sajt. URL: <https://gistechnik.ru> (data obrashhenija: 08.06.2020).
28. Belenkov V.V. and Korzh M.M. (2006). Osnovnye napravlenija primenenija geoinformacionnyh tehnologij v voennom dele [Elektronnyj resurs. *Informacionnye tehnologii i komp'juternaja inzhenerija*. – No 3 (7). URL: <https://gisinfo.ru/item/41.htm>.

**D.Sc. Zatserkovny V.I., Ph.D. Pampukha I.V., Ph.D. Popkov B.O.,
Ph.D. Savkov P.A., Pogretska OV.**

FORMATION OF REQUIREMENTS FOR GEOINFORMATION SYSTEMS OF MILITARY PURPOSE

A characteristic feature of modern forms of use of the Armed Forces (AF) is the high dynamism of combat operations, and the main trend in the development of AF command and control systems (CCS) is the integration of various systems of communication, navigation, reconnaissance, information acquisition and processing, weapons, intelligent systems, automation of all formal and fast-moving processes.

Geo-information systems (GIS), geo-information technologies (GIT), GPS and Earth remote sensing (ERS) technologies have become de facto a necessary technology for obtaining and processing spatial data in both civil and military spheres.

The use of GIS for military purposes (MP) of the Armed Forces of Ukraine will make it possible to conduct a qualitative analysis of spatial and attributive information, take effective management decisions, visualize the combat zone of both individual units and subunits, and the entire theater of operations, promptly display any changes in the combat situation, automate the process of updating maps, determining the coordinates of the desired objects, navigation, etc. It allows you to reduce the likelihood of errors and flaws, increase the speed of creating maps, speed up the processing of information and significantly improve the quality of decision-making by commanders of different levels and echelons who are involved in the process of making certain decisions, and ensure the same initial picture of fighting activities; support of knowledge of the military-object situation at the tactical, operational-tactical and operational levels; to ensure prompt delivery of information to interested authorized users.

Keywords: geo-information systems (GIS), geo-information technologies (GIT), the Armed Forces (AF), command and control systems.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ У ВИДИМОМУ СВІТЛІ

У роботі розроблено пропозиції до побудови стенда з використанням GNU Radio для дослідження технології передачі даних з використанням технології видимого світла. Зв'язок у видимому світлі (VLC) може використовуватися для побудови мереж бездротового доступу з високою пропускну здатністю та швидкістю передачі даних. Основною перевагою зв'язку в видимому світлі є відсутність перешкод для радіочастотних сигналів. Це дає можливість використовувати зв'язок у видимому світлі в лікарнях, на космічних станціях, а так дає можливість зв'язку під водою. Безпека, прості процедури реалізації та характеристики діапазону, що не потребує ліцензії, також збільшують використання зв'язку в видимому світлі для різних додатків. Метою даної роботи є надання інструкцій з проектування та реалізації випробувального стенду для зв'язку у видимому світлі з використанням програмно-конфігурованого радіо.

У статті описано архітектуру VLC, представлено можливість використання Програмно-конфігурованого радіо в якості відправної точки для розробки комерційних додатків VLC. Технологія SDR забезпечує основу, яка може сприяти впровадженню програм на ринок, пробудити інтерес промислових гравців і скоротити час виведення на ринок продуктів, що відповідають стандартам, в майбутньому. Ключовими проблемами реалізації системи VLC є забезпечення можливості передачі даних для світлодіодного світильника з мінімальним зміною його характеристик освітлення і вартості виробництва. Таким чином, дану реалізацію можливо доопрацювати, скоротивши розрив між галуззю і дослідницьким співтовариством.

Було спроектовано прототип передачі даних у видимому світлі який використовує програмно-конфігуроване радіо для взаємодії між аналоговими пристроями і комп'ютером, на якому виконується обробка сигналу. Використання цієї концепції забезпечує системі достатню гнучкість і модульність для включення нових функцій в прототип, не вимагаючи тривалого часу на розробку. Проведене тестування даної платформи, в ході якого вдалося передати текстовий файл. Надано висновок, що дана реалізація стенду передачі у видимому світлі може служити в якості відправної точки для розробки комерційних додатків VLC з низькою і середньою швидкістю передачі даних.

Ключові слова: зв'язок з використанням видимого світла, VLC, IEEE 802.15.7, програмно конфігуроване радіо, SDR, GNU Radio, USRP.

Вступ. Подальший розвиток радіосистем бездротового зв'язку пов'язане з рядом проблем. Це нестача радіочастотного спектру, низька енергоефективність (безліч базових станцій споживають величезну кількість енергії для ретрансляції сигналів і охолодження обслуговуючого обладнання), обмеження на використання радіозв'язку (в літаках, лікарнях та ін.), Недостатня безпека (радіохвилі можуть проникати крізь стіни і надавати шкідливий вплив на біологічні та технічні об'єкти).

Одним з можливих напрямків вирішення цих проблем є застосування технології зв'язку по видимому світлу (VLC).

Visible light communication VLC - технологія, яка дозволяє джерелу світла, в додатку до освітлення, передавати інформацію, використовуючи той же самий світловий сигнал. Причому можуть використовуватися як світлові хвилі області інфрачервоних діапазону випромінювання, так і хвилі спектру видимого світла.

Зв'язок у видимому світлі (VLC) - це розвиваюча область досліджень в області оптичних комунікацій у вільному просторі. Розвиток потужних білих світлодіодів протягом останніх десятиліть призвели до розробки недорогих освітлювальних пристроїв з кращими

характеристиками як з точки зору енергоефективності, так і з точки зору очікуваного терміну служби. Очікується, що світлодіоди замінять лампи розжарювання і люмінесцентні лампи в системах освітлення наступного покоління. Тим не менше, ці пристрої можуть використовуватися не тільки для освітлення. Використання світлодіодів для передачі даних в якості джерела освітлення привернуло увагу дослідницького співтовариства, а також глобальні зусилля по стандартизації.

Використання технології VLC дає безліч привабливих переваг з точки зору доступної смуги пропускання, відсутності перешкод радіодіапазону (що особливо важливо через брак деяких смуг частот, потенційного просторового повторного використання, внутрішнього захисту від підслуховування і всього іншого. Цього можна домогтися за допомогою енергоефективних пристроїв і без високих витрат на розгортання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтерес, проявлений дослідним спільнотою до області VLC в останні роки, призвів до розробки демонстраційних стендів, здатних довести можливість використання цієї нової технології для бездротових додатків. Ґрунтуючись на методі модуляції, що використовується для передачі інформації, ці демонстратори можна розділити на дві групи: одна використовує модуляцію двоїчного рівня, а друга - схему багаторівневої модуляції.

Модуляція двоїчного рівня відноситься до методів модуляції, в яких інформація відправляється в кожному періоді символу за допомогою зміни двох рівнів інтенсивності. Ці методи являють собою популярні схеми, які використовуються в основному для проводового зв'язку, їх головна перевага полягає в тому, що вони зазвичай прості й недорогі в реалізації. В [1] повідомлялося про реалізацію, засновану на безповоротному переходу до нуля (NRZ) on-off-keying (ООК), що пропонує швидкість передачі даних 40 Мбіт / с. Основне обмеження в разі схем модуляції двоїчного рівня пов'язано з невеликою пропускну здатністю, запропоновано пристроями з білими світлодіодами. Щоб подолати цю проблему, рішення, засноване на пост-корекції, було запропоновано в [2], де повідомляється про швидкість передачі даних 100 Мбіт / с для NRZ-ООК. Попередні демонстрації проводилися з використанням оптоелектронних приймачів на основі фотодіода PIN. Кращі результати можуть бути отримані при використанні лавинних фотодіодів (APD) в конструкції оптоелектронного приймача. В [3] повідомляється про швидкість передачі даних 230 Мбіт / с. Ця продуктивність досягається за рахунок використання модуляції ООК і приймача VLC на основі APD.

Багаторівнева модуляція відноситься до методів модуляції, в яких інформація відправляється шляхом зміни значень інтенсивності в безперервному діапазоні або з використанням набору зумовлених значень [4]. Оскільки вони забезпечують краще використання доступної смуги пропускання, системи, засновані на цих схемах модуляції, можуть досягати більш високих швидкостей передачі даних. Фактично, швидкості передачі даних в Гбіт / с повідомляються в літературі з використанням дискретної багато тональної модуляції (DMT). Наприклад, в [5] представлені системи VLC на основі білих світлодіодів, які забезпечують швидкість передачі даних 1,1 Гбіт/с. Використовуючи багатобарвні світлодіодні пристрої, такі як світлодіоди RGB, можна отримати більш високу швидкість передачі даних, оскільки можна використовувати кілька каналів зв'язку. В [6] повідомляється про швидкість передачі даних 3,4 Гбіт/с з використанням RGB-світлодіодів і схеми модуляції DMT.

Аналізуючи публікації, пов'язані з VLC, стає ясно, що високі швидкості передачі даних досяжні, і це робить цю технологію потенційною альтернативою технології, заснованої на радіозв'язку. При більш уважному розгляді експериментальної установки, представленої в цих статтях, можна побачити, що результати отримані в особливих умовах і що в більшості випадків радіус дії бездротового зв'язку становить близько десяти сантиметрів. Тим не менш, вони представляють собою великі досягнення і важливий доказ того, що VLC може слугувати додатковою технологією для бездротового зв'язку.

Виклад основного матеріалу

VLC система зв'язку. Основні блоки системи VLC представлені на рис. 1.

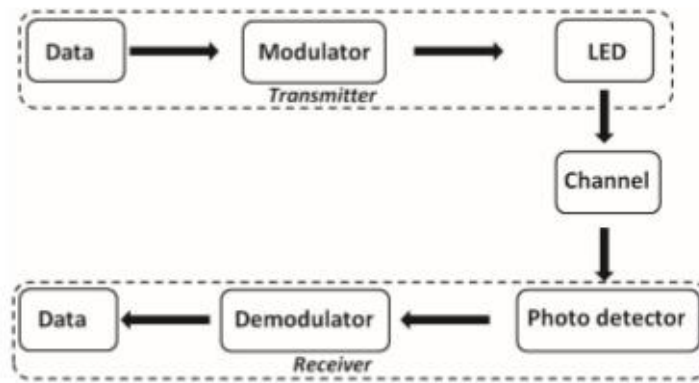


Рисунок 1 – Основні блоки передачі в системах VLC

Технологія VLC є частиною набору оптичних бездротових комунікацій (OWC). Отже, фізичні оптичні принципи можуть бути застосовані до систем VLC. Фактично, носієм в VLC є видимі промені, які використовуються для освітлення. VLC зазвичай характеризується передачею невід'ємних і некогерентних сигналів. Він дотримується принцип зв'язку, в якому розглядаються три основні частини: передавач, канал і приймач. На рис. 1 показані основні блоки системи передачі VLC. Він складається з передавача, каналу і приймача, а для системи, спотвореної адитивним білим гауссовим шумом (AWGN), передача завжди визначається

$$r_i = Hs_i + \omega_i,$$

де r_i і s_i є прийнятим і переданим наборами символів відповідно, H є відповіддю каналу і ω_i шум каналу. Відповідна модель для систем зв'язку VLC зображена на рис. 2. Вона показує два електричних домену та один оптичний домен. Модульований сигнал, який додається до напруги постійного струму, використовується для живлення світлодіоду, що становить передавач. Світлодіод в своїй роботі випромінює світло і одночасно передає інформацію по каналу. Приймач виконаний з фотоприймача (PD) і демодулятора. PD виявляє світло і виробляє електричний сигнал, що складається з повідомлення плюс шум. Частина шуму тут створюється каналом, хоча в моделі ми представляємо загальний шум в електричній області. Це пов'язано з тим, що PD перетворює і повідомлення, і оптичний шум в електричний струм.

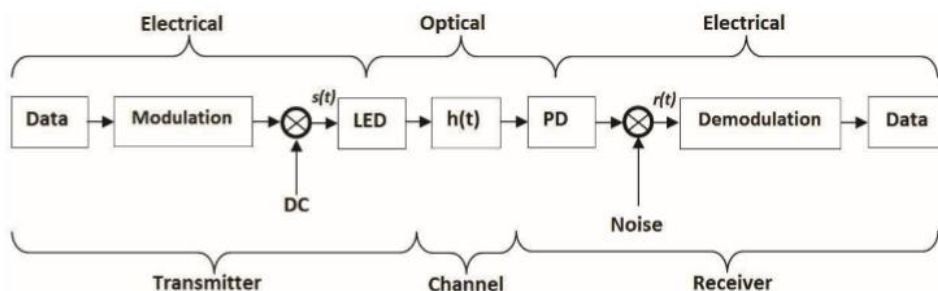


Рисунок 2 – Модель системи зв'язку VLC

VLC передавач. У системах VLC передавач групує в одному модулі джерело даних, модуль модуляції і світлодіод. Останні два елементи є дуже важливими елементами в передавачі VLC. У системах VLC використовуються два типи світлодіодів: одноколірні і багатоколірні. Барвисті світлодіоди об'єднують в одному пакеті кілька одноколірних світлодіодів. Найбільш використовуваний багатобарвний світлодіод - це червоно-зелено-синій (RGB). У системах з декількома несучими кожен з кольорових світлодіодів, включених в комплект, являє собою антену, що відповідає одному каналу. В системі стільки каналів, скільки світлодіодів в упаковці. Отже, дана кількість кольорових світлодіодів буде забезпечувати однакову кількість окремих каналів. Отже, передавач RGB-LED розглядається

як спеціальний багатоканальний передавач, який можна використовувати для розгортання методів модуляції на декількох несучих. Наприклад, (3×3) MIMO метод можна застосовувати по каналу VLC [7], [8]. На рис. 3 зображені два поширених типу передавача VLC: на рис. 3-а - один передавач VLC і на рис. 3-б - 3-канальний передавач VLC.

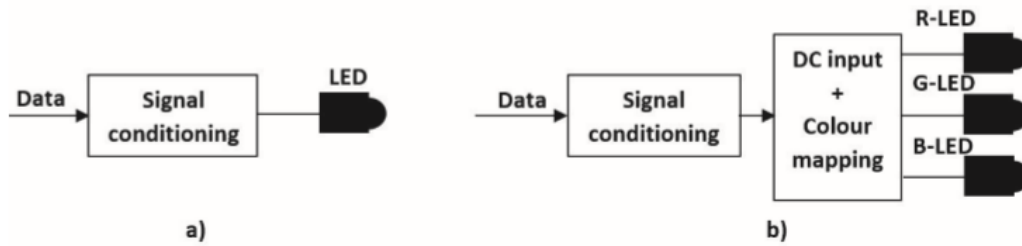


Рисунок 3 – Передавачі VLC: а) одиночний світлодіодний передавач, б) трьох канальний передавач VLC

Канал VLC. У комунікації канал представляє собою простір між передавачем і приймачем. При цьому просторі на сигнал впливає багато факторів, такі як загасання, перешкоди і шум. В технології VLC канал - це простір між світлодіодом і фотодетектором. Два основних типи каналів які розглядаються в системах зв'язку VLC: один канал VLC, що включає один світлодіод і один фотодетектор, і багатоканальні системи VLC, в яких передавач складається з різнокольорових світлодіодів. У другому випадку фотодетектор складається з більш ніж одного детектора, кожен з яких чутливий до кольору від передавача.

Приймач VLC. Основним елементом у приймальнику VLC є фотодетектор, який використовується для збору світлового випромінювання [10]. У приймачах VLC використовуються два основні типи фотоприймачів: фотодіод і фото транзистори. Цифрова камера, що складається з масиву фото транзисторів, є хорошим пристроєм для прийому сигналу VLC в інтелектуальних пристроях, таких як смартфони і ноутбуки [11]. Як описано в [9], повна система приймача складається з таких компонентів, як концентратор, оптичний фільтр, підсилювач та еквалайзер, необхідних для захоплення максимального світла, необхідного для перетворення прийнятого сигналу в повідомлення. Промені проходять через концентратор і оптичний фільтр, перш ніж вони досягнуть належного ядра детектора. Архітектура приймача VLC представлена на рис. 4.

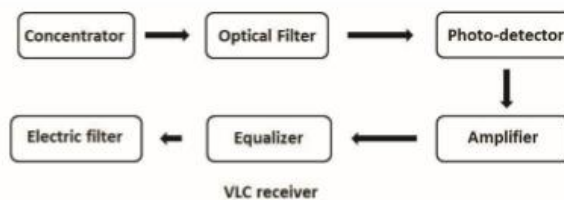


Рисунок 4 – Архітектура приймача VLC

Системний дизайн програмного забезпечення системи VLC. Найпростіший спосіб реалізації передачі даних по видимому світлу - це використовувати програмно конфігуровано радіо (SDR). Основною перевагою SDR є легкий апгрейд обладнання. Достатньо всього лише оновити програмне забезпечення, при цьому апаратні засоби залишаються без змін. Також SDR може бути легко адаптована під будь-які функції різних додатків.

Архітектура пропонованого прототипу показана на рис. 5. Факт використання підходу SDR ділить прототип на 2 підсистеми: апаратну і програмну підсистему. Підсистема апаратного забезпечення складається з оптоелектронних пристроїв, аналогових пристроїв,

необхідних для управління і обробки сигналу, що виходить або направляється на оптоелектронні пристрої та модулі перетворення даних.

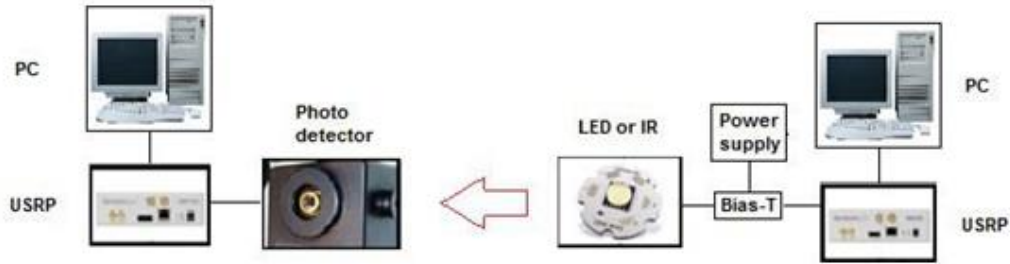


Рисунок 5 – Архітектура стенду VLC

Основна відмінність цієї концепції в тому, що радіомодуль замінений оптико-електронним модулем.

Апаратна частина. Як правило, в програмно-конфігурованих системах інтерфейс між підсистемами апаратного і програмного забезпечення здійснюється за допомогою спеціалізованих пристроїв, які забезпечують такі функції, як перетворення даних і буферизація даних. В [12] можна знайти список доступних комерційних платформ. У цьому списку автори виділяють сімейство пристроїв Universal Software Radio Peripheral (USRP) від Ettus Research. Ці платформи побудовані на основі програмованої вентиляційної матриці (ПЛІС), яка включає в себе потужні аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі і можливість додавання додаткових схем кондиціонування за допомогою плат розширення

Програмна частина. Модуляція і демодуляція бітів, що надходять на/від платформ перетворення даних (USRP), виконуються в GPP за допомогою бібліотеки з відкритим вихідним кодом для обробки сигналів. Прикладом бібліотеки з відкритим вихідним кодом для обробки сигналів є GNU Radio. GnuRadio є вільним і відкритим джерелом програмного забезпечення, що розширює інструментарій та забезпечує можливості програмного радіомовлення. Він використовується в основному в якості програми управління SDR пристроями, готує дані для обробки сигналу. Операція обробки сигналу закінчується пізніше спеціалізованим модулем. GNU Radio пропонує легко перенастроювати радіосистему, що дозволяє користувачам створювати різні пристрої без необхідності покупки декількох дорогих радіостанцій. Його можна використовувати для створення додатків, отримання даних з цифрових потоків або передавати дані в цифрові потоки. Потім ці потоки передаються з використанням апаратних засобів.

Gnu Radio має фільтри, каналні кодери, елементи синхронізації, еквалайзери, демодулятори, кодери, декодери і багато інших елементів (блоків). Також Gnu Radio включає в себе спосіб підключення цих блоків і управління передачею даних від одного блоку до іншого

Взаємодії програмної і апаратної частини. Підключення з програмного забезпечення GNU Radio, представлено на рис. 2 Підключення до пристроїв USRP забезпечується за допомогою апаратних драйверів UHD. Драйвери встановлюються на платформи Linux, Mac OSX і Windows, які забезпечують універсальне підключення пристроїв. Підключення програмного забезпечення до пристроїв SDR зображено на рис. 6.

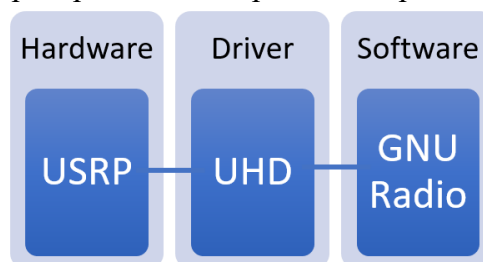


Рисунок 6 – Підключення програмного забезпечення до пристроїв USRP

Опис роботи системи. Сигнальний ланцюжок VLC зображена на рис. 7

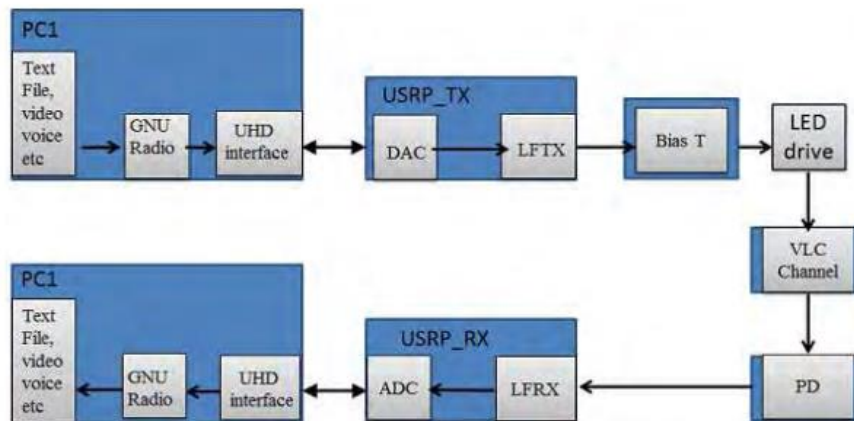


Рисунок 7 – Сигнальний ланцюжок VLC

Текстовий файл, відео і голос передаються в програмне забезпечення GNU Radio, яке використовується для обробки протоколи обробки рівня MAC. Наприклад, текстові дані пакетуються, а потім дискредитуються в цифровому вигляді з використанням блоків обробки сигналів GNURadio. Різні параметри такі як частота дискретизації, швидкість передачі даних, схема модуляції і т.д., можна налаштувати, змінивши блоки обробки сигналів усередині GNURadio. Потім цифрові зразки пересилаються в USRP з використанням інтерфейсу апаратного драйвера USRP (UHD) через USB-порт. Потім сигнал передається на дочірню плату LFTX для модуляції смуги пропускання. Вихідний сигнал драйвера передається по оптичному каналу. Потім інтенсивність прийнятого світла виявляється приймачем і перетворюється в електричний струм на основі прямого виявлення з використанням комерційного фотодетектора. Дочірня плата LFRX в приймачі використовується для демодуляції прийнятого сигналу несучої, в той час як USRP приймач виконує перетворення з аналогового в цифровий. Цифрова вибірка з USRP пересилається на приймаючий ПК через USB-порт з використанням інтерфейсу (UHD). На приймаючій стороні програмне забезпечення GNURadio використовується для обробки отриманих сигналів через блоки обробки сигналів. Потім вихідні дані відправляються в текстовий файл, медіаплеєр та інші елементи.

Тестування. Вибір модуляції. Обраною модуляцією стала частотна модуляція Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK), головним чином по шести причин, зазначеним нижче:

1. Простота впровадження в програмне забезпечення.
2. Спектральна ефективність.
3. Нелінійність сигналу.
4. Можливість самосинхронізації.
5. Широко використовується в бездротового зв'язку, як в стандарті GSM.
6. Несприйнятливість до амплітудної дисперсії і шуму.

Першою причиною вибору GMSK модуляції був час і вартість впровадження, модуляція закодована в програмах GNU Radio і Python, що дозволяє легко впровадити її в систему [8]. Другою причиною була спектральна ефективність модуляції, яка дозволяла додавати більше даних в канал зв'язку з обмеженою пропускну здатністю світлодіодів. Третя причина полягала в тому, що вимога лінійності сигналу не було жорстким, що означає, що нелінійність світлодіода не зашкодила зв'язку. Четвертим перевагою GMSK була можливість самосинхронізації, яка дозволяла варіювати час обміну даними. П'яте перевага полягала в тому, що GMSK широко використовується в різних стандартах RF.

Програмування передавача та приймача в програмному середовищі GNU Radio. Для програмування передавача необхідно зібрати наступну схему (рис. 8) в програмному забезпеченні GNU Radio

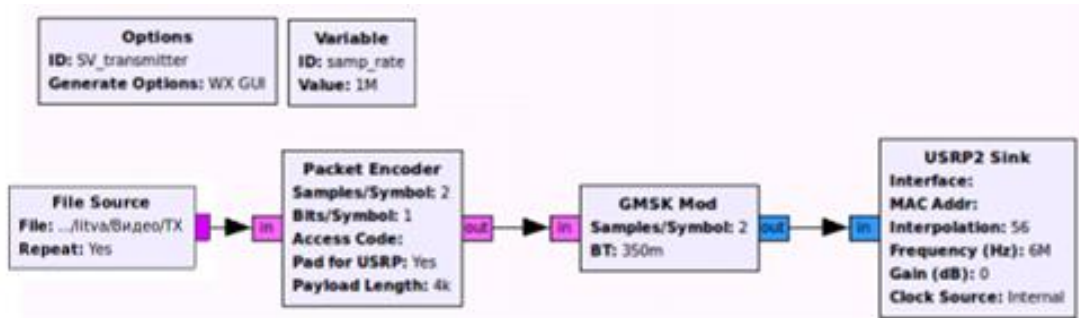


Рисунок 8 – Блок схема передавача в програмному середовищі GNU Radio

Як можна бачити з рис. 4, ми читаємо дані з файлу TX.txt, вміст файлу зображений на рис.9, який записаний на жорсткому диску комп'ютера, шлях до файлу вказується в блоці File Source, потім сигнал потрапляє на вхід пакетного енкодера (Packet Encoder) пакетів, який перетворює потік в 2х-бітний код. Цей потік надходить на Частотний модулятор Гаусса з мінімальним зрушенням (GMSK mode), після чого потрапляє на блок управління трансивером, USRP (USRP2 Sink).

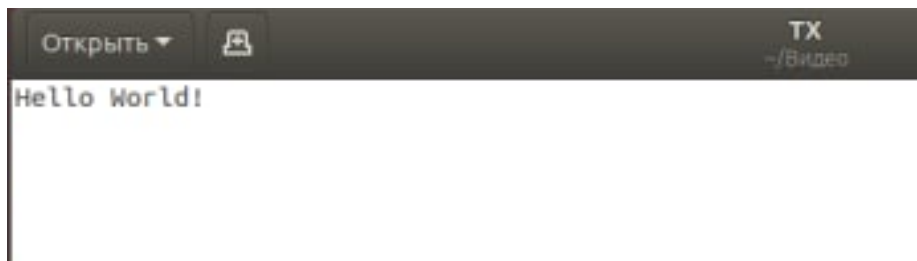


Рисунок 9 – Вміст файлу TX.txt

Для програмування приймача необхідно зібрати наступну схему (рис.10) в програмному забезпеченні GNU Radio

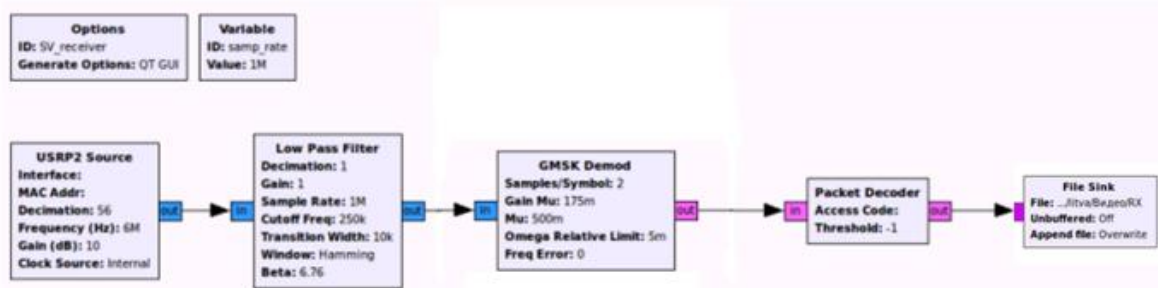


Рисунок 10 – Блок схема приймача в програмній середі GNU Radio

Схема приймача складається з наступних блоків: блок вхідних даних які приймає трансивер (USRP2 source) після нього сигнал потрапляє на фільтр нижніх частот (Low Pass Filter) де виділяється частота 10кГц, далі на Частотний демодулятор Гаусса з мінімальним зрушенням (GMSK Demod) і після на декодер пакетів (Packet Decoder) і останній блок на який потрапляє сигнал - це блок File Sink який використовується для запису прийнятого повідомлення в файл на жорсткий диск комп'ютера.

Запустивши блок схему отримали наступні результати. На виході блоку file source, графік спектра сигналу, Відображення форми сигналу у часовій області, виглядали наступним чином, рис. 11, 12.

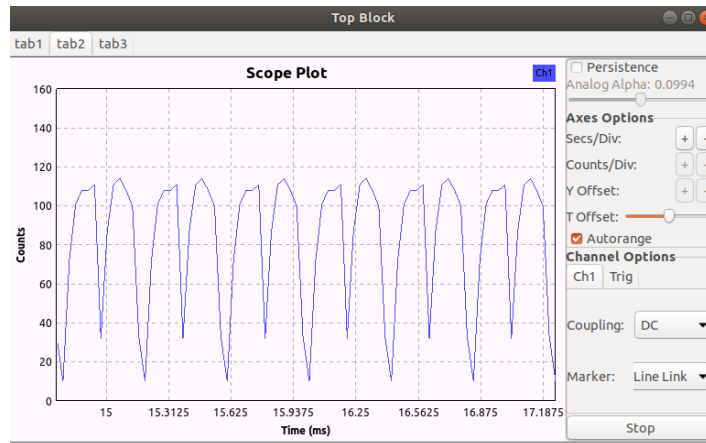


Рисунок 11 – Відображення форми сигналу у часовій області

Відображення сигналу у часовій області і спектр сигналу після проходження частотного модулятора Гауса з мінімальним зрушенням представлені на рис. 12,13.

Графік спектру сигналу, і відображення форми сигналу у часовій області на виході модулятора GMSK представлено на рис. 12.

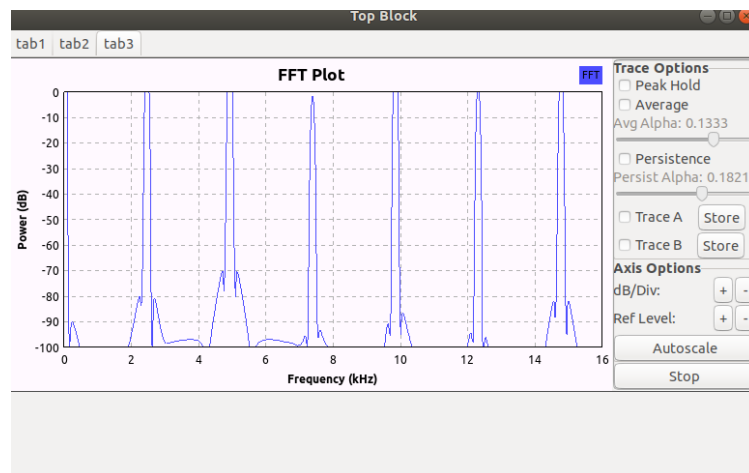


Рисунок 12а – Спектр сигналу

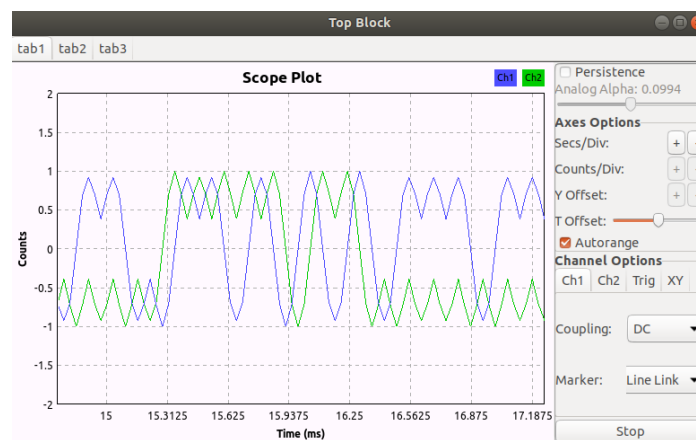


Рисунок 12б – Відображення форми сигналу у часовій області після модуляції

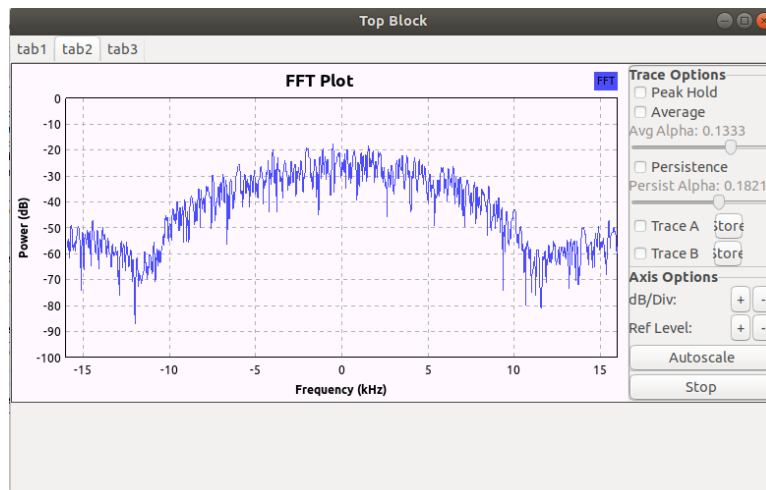


Рисунок 13 – Спектр сигналу після модуляції

Прийнятий сигнал зображений на рис.14, 15.



Рисунок 14 – Форма сигналу у часовій області після проходження каналу зв'язку

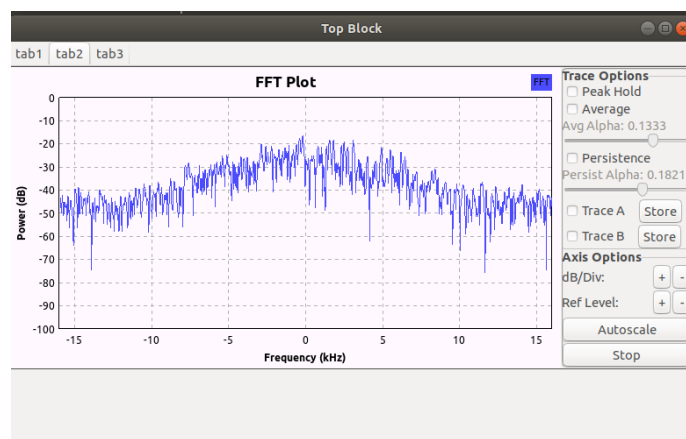


Рисунок 15 – Спектр сигналу після проходження каналу зв'язку

Після демодуляції і декодування вихідний сигнал показаний на рис. 16,17.

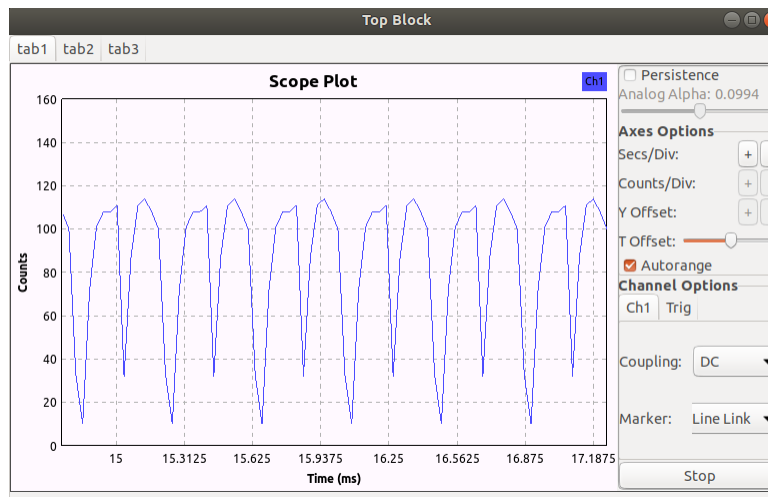


Рисунок 16а – Форма модульованого і декодуваного сигналу у часовій області

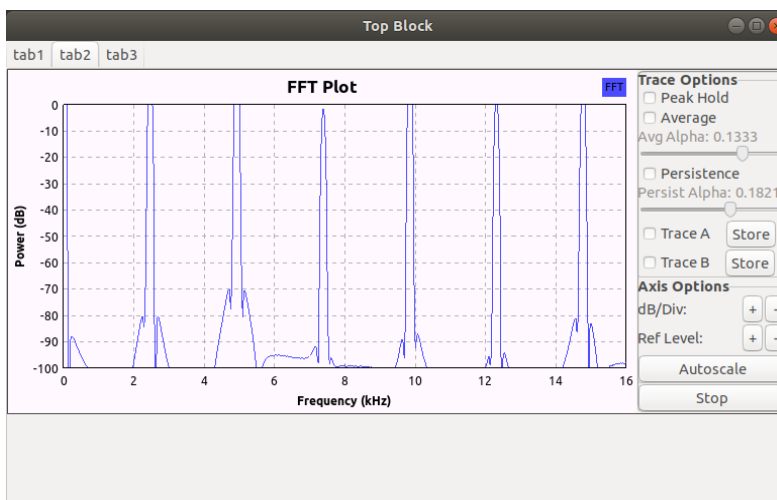


Рисунок 16б – Спектр сигналу після декодування і демодуляції

На рис. 17 представлено прийняте повідомлення, як бачимо воно збігається з відправленим.

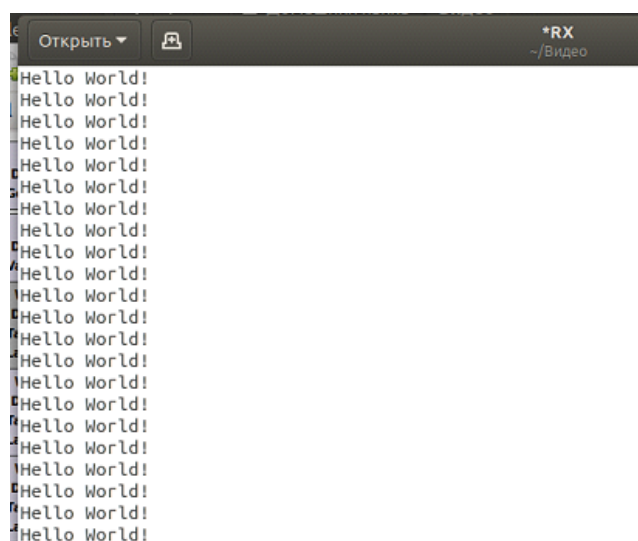


Рисунок 17 – Прийняте повідомлення

Висновки. Технології зв'язку в видимому світлі мають великі можливості в майбутньому. Ця технологія дозволить вирішити проблему інтеграції технології зв'язку в

видимому світлі з існуючою інфраструктурою без внесення в неї серйозних змін. У галузі зв'язку це швидко зростаючий сегмент, і його можна легко впровадити з мінімальними витратами. У цій роботі представлена можливість використання програмно-конфігурованого радіо у якості відправної точок для розробки комерційних додатків VLC з низькою та середньою швидкістю передачі даних. Представлений прототип стенду VLC, представляє собою об'єднання програмних та апаратних елементів. Данна реалізація пропонує гнучку платформу, на якій можливе провести дослідження впровадження нових функцій не вимагаючи тривалого часу на розробку.

Передачі по відео світу показує, що сценарій з використанням пристроїв SDR актуалізований не лише з точки зору затрат, а також простоти, гнучкості та продуктивності.

REFERENCES:

1. O.I Romanov, D.M. Fediushyna, T.T. Dong Model and method of Li-Fi network calculation with multipath Light Signals/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10-14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI:10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047550, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
2. O.I. Romanov, M.M. Nesterenko, L.A. Veres. Integration Of Modern Protocols Ip-Telephony In IMS Architecture/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10-14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109 / UkrMiCo43733.2018.9047587, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
3. Oleksandr Romanov, Tho Dong and Mikola Nesterenko The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology/ 8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAИТ), 2020. <http://dx.doi.org/10.25673/32747>.
4. Romanov O., Nesterenko M., Veres L., Kamarali R., Saychenko I. (2021) Methods for Calculating the Performance Indicators of IP Multimedia Subsystem (IMS). In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. http://doi-org-443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-58359-0_13
5. F. M. Wu, C. T. Lin, et al. "1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication Employing Carrier-Less Amplitude and Phase Modulation", IEEE Photonics Technology Letters, 2012
6. G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella, "3.4-Gb/s visible optical wireless transmission based on RGB LED," Optics Express, 2012
7. Y. Hong, J. Chen, Z. Wang, and C. Yu Photonics Journal, IEEE, vol. 5, pp. 7800211–7800211, 2013.
8. M. Biagi, A. Vegni, and T. D. C. Little, "Lat indoor mimo-vlc localize, access and transmit," in Optical Wireless Communications (IWOW), 2012 International Workshop on, pp. 1–3, Oct 2012.
9. M. Saadi, L. Wattisuttikulij, Y. Zhao, and P. Sangwongngam International Journal of Electronics & Informatics, vol. 2, 2013.
10. S. il Choi, "Analysis of vlc channel based on the shapes of white-light led lighting," in Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on, pp. 1–5, July 2012.
11. F. Porikli, "Inter-camera color calibration by correlation model function," in Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on, vol. 2, pp. II–133, IEEE, 2003.
12. Klemettila P., Oulun yliopistossa tutkitaan tiedonsiirtoa valolla, Kaleva, p. 3, 18 10 2014.

Litvinov E.A, Saichenko I.O.

USING SOFTWARE DEFINED RADIO TO STUDY SIGNAL TRANSMISSION IN VISIBLE LIGHT

In the work, proposals have been developed for building a stand using GNU Radio for researching data transmission technology using visible light technology. Visible light communication (VLC) can be used to build high-bandwidth, high-speed wireless access networks. The main advantage of visible light communication is that RF signals are not obstructed. This makes it possible to use visible light communication in hospitals, on space stations, and so it makes it possible to communicate underwater. Security, simple implementation procedures and range characteristics, license-free, also increase the use of visible light communication for a variety of applications.

The aim of this work is to provide guidance on the design and implementation of a visible light communication test bench using software-defined radio.

The article describes the architecture of VLC, presents the possibilities of using Software Defined Radio as a starting point for developing commercial VLC applications

SDR technology provides a framework that can help drive programs to market, generate interest from industry players, and shorten the time to market for future compliant products. The key issues in the implementation of the VLC system is to ensure the ability to transmit data for an LED luminaire with minimal changes in its lighting characteristics and production costs. Thus, this implementation can be improved by narrowing the gap between the industry and the research community.

A prototype for visible light transmission was designed using software-defined radios to communicate between analog devices and the computer on which the signal is processed. Using this concept provides the system with sufficient flexibility and modularity to incorporate new features into a prototype without requiring a long development time.

Conducted testing of this platform, during which it was possible to transfer a text file.

It is concluded that this implementation of the visible light transmission stand can serve as a starting point for the development of low to medium bit rate commercial VLC applications.

Keywords: visible light communication, VLC, IEEE 802.15.7, software-defined radio, SDR, GNU Radio, USRP.

**ПРОФАЙЛІНГ – ЯК СУЧАСНИЙ ЗАСІБ ВСТАНОВЛЕННЯ
ОСОБИ ЗЛОЧИНЦЯ**

Статтю присвячено аналізу методики профайлінгу особи невідомого злочинця. Досліджено можливості профайлінгу особи злочинця (в тому числі, в всесвітній мережі) та практику його застосування в діяльності правоохоронних органів під час розслідування злочинів. Профайлінг (англ. Profile- профіль) - профіль, обрис, контур, малювати вигляд збоку - інтегральна методика попередження злочинів через виділення характерних рис осіб, які вчинили злочин або готуються його зробити, на основі психологічних, кримінологічних, криміналістичних та соціологічних знань; сукупність методів і методик оцінки та прогнозування поведінки людини на підставі аналізу найбільш інформативних ознак, криміналістичного портрета особи, характеристик зовнішності, невербальної і вербальної поведінки, місцезнаходження тощо. Фахівці, які збирають, обробляють дані, аналізують і отримують образ, називаються профайлерами. Сьогодні, в правоохоронних органах, не тільки широко не застосовується методика профайлінгу. Вони взагалі не вживають цей термін.

Зазначено, що ефективність роботи профайлера залежить, передусім, від його комунікативних здібностей, уміння за вербальними та невербальними засобами зчитувати інформацію, яку надає співрозмовник. До вербальних засобів належать мова та мовлення, а до невербальних – зовнішній вигляд співрозмовника, міміка, тембр, тон, інтонація голосу, жести, пози. Обидві групи засобів використовують під час спілкування, і ричому невербальні менше залежать від свідомого контролю людини. Таким чином, профайлінг застосовують не лише з метою пошуку невідомих злочинців, а й для попередження протиправних дій. Використання профайлінгу як складової діяльності правоохоронних органів має позитивні й негативні аспекти. В Україні в діяльність правоохоронних органів профайлінг лише починають упроваджувати, тому актуальним є подальше розроблення цієї проблематики з урахуванням зарубіжного досвіду.

Висвітлено зміст застосування профайлінгу, види та головні напрямки профайлінгу. Наведено конкретний приклад моделі криміналістичного портрета особи. Стаття містить низку рекомендацій для досягнення практичних результатів.

Ключові слова: всесвітня інтернет мережа, засоби розслідування, криміналістичний портрет злочинця (портрет особи злочинця, профіль особи злочинця), криміналістичні методи, особа злочинця, профайлінг, розслідування злочину.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Витоки профайлінгу. Спочатку його почали використовувати безпосередньо при складанні портрету особи злочинця за слідами на місці злочину. Спеціаліст збирав деякі показники, які давали свідки злочину. Він збирав дані характеристики за допомогою програми, аналізував і відтворював отриманий образ – модель особи злочинця. Такі експерти називаються профайлерами у суспільному житті (зокрема, у аеропортах), профайлінг став використовуватися у Ізраїлі на Ель Аль (національній авіакомпанії) за своїми авторськими методиками. Слід зазначити, що у правоохоронних органах, не тільки ще широко не застосовують цю методику. Вони, взагалі, не вживають цей термін. Який походить від американського profile.

Під час реформування правоохоронної системи набуває актуальності необхідність упровадження здобутків психологічної науки в діяльність Національної поліції. Правоохоронні органи зарубіжних країн у своїй діяльності активно використовують психологічні методи, залучають психологів до розслідування та попередження злочинів, водночас, в Україні застосування психологічних методів в оперативно-службовій діяльності розпочато нещодавно. Одним із таких психологічних здобутків є профайлінг (англ. Profile– профіль) – профіль, обрис, контур, малювати в профіль [1] - інтегральна методика запобігання

злочинам через виокремлення характерних рис осіб, які вчинили злочин або готуються його вчинити, на основі психологічних, кримінологічних, криміналістичних і соціологічних знань; сукупність методів і методик оцінювання та прогнозування поведінки особи на підставі аналізу найінформативніших ознак, криміналістичного портрета особи, характеристик зовнішності, невербальної та вербальної поведінки, місцеперебування тощо [2]. Доробок вчених різних напрямів став науковим підґрунтям технології профайлінгу, серед них: Н. М. Анісімова, Ю. М. Волонський-Басманов, І. М. Даньшин, П. Екман, Н. Д. Еріашвілі, В. А. Лабунська, О. Р. Лурія, І. М. Мерзлікін, Б. Де Пауло, В. Райх, Р. Розенталь, О. Фрай, В. Фрізен, В. Л. Цветкова, М. Цукерман, К. Шерер та ін. [3; 4]. Окремі аспекти досліджували Ю. М. Антонян, О. І. Анфіногенов, О. М. Бандурка, В. І. Барко, А. С. Баронін, В. Д. Берназ, Ф. В. Глазирін, О. І. Діденко, М. І. Єнікеєв, А. Зелінський, А. В. Іщенко, В. П. Казміренко, Л. І. Казміренко, В. О. Коновалова, М. В. Костицький, В. С. Кузьмічов, Є. Д. Лук'янчиков, С. Д. Максименко, В. С. Медведєв, В. О. Образцов, Б. Я. Петелін, О. Р. Ратінов, В. В. Рибалка, В. М. Синьов, В. О. Татенко, Ю. В. Чуфаровський, В. Ю. Шепітько, С. І. Яковенко та багато інших психологів, кримінологів, соціологів і криміналістів [5; 6; 7; 8; 9]. Правоохоронні органи зарубіжних країн використовують технологію профайлінгу у двох аспектах: під час пошуку та затримання злочинців, які вчиняють будь-які злочини насильницького характеру, а також для попередження вчинення злочинів. У контексті попередження протиправних дій профайлінг застосовують для гарантування безпеки під час авіаперельотів (митного контролю, перевірки документів тощо).

Основні результати досліджень. Ефективність роботи профайлера залежить, передусім, від його комунікативних здібностей, уміння за вербальними та невербальними засобами зчитувати інформацію, яку надає співрозмовник. До вербальних засобів належать мова та мовлення, а до невербальних – зовнішній вигляд співрозмовника, міміка, тембр, тон, інтонація голосу, жести, пози. Обидві групи засобів використовують під час спілкування, причому невербальні менше залежать від свідомого контролю людини. Таким чином, профайлінг застосовують не лише з метою пошуку невідомих злочинців, а й для попередження протиправних дій. Використання профайлінгу як складової діяльності правоохоронних органів має позитивні й негативні аспекти. В Україні в діяльність правоохоронних органів профайлінг лише починають упроваджувати, тому актуальним є подальше розроблення цієї проблематики з урахуванням зарубіжного досвіду. Що дозволяє розглядати створення криміналістичного портрету особи (чи портрету особи злочинця, чи профілю особи злочинця, як похідних понять від родового) за допомогою криміналістичної інформації на підставі вивчення сфер застосування профайлінгу та діяльності правоохоронних органів, як ефективний засіб.

Головна складова профайлінгу - вивчення зразків поведінки людини. Психологічний аналіз поведінки застосовується для кращого розуміння злочинців: хто вони, про що думають, чому вони роблять те, що роблять. Візуальне спостереження та співбесіда - один із провідних методів профайлінгу, спрямований на виявлення неконгруентності (неузгодженості) вербальної та кінестетичної, соматичної інформації. Такий метод ґрунтується на положенні, що будь-які переживання людини (психоемоційні реакції) так чи інакше проявляються в її зовнішньому вигляді, міміці, жестах, реакціях зіниць, залоз внутрішньої (гіпофіз та ін.) та зовнішньої секреції (потовиділення та ін.), позах, інтонаціях голосу тощо. Хвилювання, дискомфорт, пов'язаний із намаганням приховати наміри, обдурити оточуючих, маніпулювати ними, видають саме ті елементи поведінки людини, її пози та міміки, які виходять за межі свідомого контролю. Максимум інформації під час спілкування передає обличчя людини. На основі аналізу рухів м'язів обличчя компанія Paul Ekman Group навіть розробила Систему кодування рухів обличчя (The Facial Action Coding System (FACS)) [10] - детальне технічне керівництво, яке використовують для створення комп'ютерних програм розпізнавання образів. Втім, щоб замаскувати свої думки, тренований злочинець намагається змінити вираз обличчя, що може обдурити спостерігача. Тому крім методів візуальної психодіагностики профайлеру варто застосовувати кримінологічні знання та наявну криміналістичну

інформацію. Застосування методів профайлінга разом із психотерапевтичними та характерологічними знаннями на практиці дають високі результати [11]. Отримані дані використовуються для запобігання злочинам.

За сферою застосування профайлінга можна виокремити головні його напрями: запобігання правопорушенням, тобто кримінологічний профайлінг та соціальний профайлінг, спрямований на забезпечення взаємодії людей у професійному й особистому житті. Криміналістичний профайлінг використовується в роботі правоохоронних органів під час створення портрета особи, яка розшукується через вчинення злочину чи загрозу його вчинення. Крім того, деякі вчені профайлінг розглядають у широкому сенсі - як технологію запобігання протиправним діям через виявлення потенційно небезпечних осіб і ситуацій із використанням методів прикладної психології, та у вузькому сенсі - як систему встановлення причетності суб'єкта до запланованої протиправної дії [12, с. 114-116]. Профайлінг застосовують як для виявлення особи, яка має намір вчинити злочин, так і для розшуку осіб, які вже вчинили протиправне діяння.

Профайлінг вирізняють залежно від сфери чи об'єкта, який намагаються убезпечити від злочинних посягань. Наприклад, сімейний профайлінг дозволяє оцінити відкритість і чесність майбутнього партнера, а також налагоджує взаєморозуміння в сімейних стосунках, сприяє виявленню проблем в поведінці дітей-підлітків, які спричинені, зокрема, вживанням одурманюючих речовин.

Поширення сфери застосування профайлінгу формує попит на відповідних фахівців, психологів, кримінологів і криміналістів, які мають комплексні специфічні навички й уміння. Найбільш популярний психологічний профайлінг - напрям психології, який вивчає методи виявлення замовчуваної, прихованої людиною інформації, її намірів (часто злочинних), нещирості, брехні, методи запобігання скандалам, конфліктам, втраті важливої інформації, пліткам, авантюрам та іншим негативним проявам людського чинника [13].

Проте, не слід звужувати профайлінг лише до психологічної складової. Ефективний профайлінг у сфері протидії злочинності передбачає використання комплексних знань щодо характеристик конкретного суб'єкта: інформації про найбільш розповсюджені злочини на охоронюваному об'єкті; знання «типових» рис особи, що може вчинити протиправне діяння: мотивів злочину, соціально-демографічних характеристик злочинця, тобто його можливого віку, професійних навичок, місця роботи, статі, соціальних зв'язків. Беруться до уваги також уподобання, цінності та моральні характеристики особи. У роботі правоохоронців застосовуються і криміналістичні дані про зовнішній вигляд, зріст, вагу правопорушника, спосіб вчинення злочину, зовнішні ознаки наявності прихованої зброї.

Питання за деталями, по вже встановленим фактам; за допомогою зчитування окремих ознак, вербальну та невербальну поведінку.

Якщо, в поведінці особи є щось протиправне, вона щось приховує – профайлер виявляє таку поведінку в цій «досліджуваній» особі. Проте, існують особисті особливості поведінки (чи реакції) особи на ту чи іншу подію – «базова поведінка людини». На це треба зважати при загальній оцінці особи. Тактика спілкування з особами для встановлення перешкод у спілкуванні з іншими.

Сьогодні, вже існують мобільні додатки з медичними показниками, датчиком (1-н на противагу 12-тьом у детекторі брехні та 16-ть питань. За методикою, задаються «прямі питання». А профайлер, виступає – живим «детектором брехні».

Метод профайлінгу, зараз можна віднести до інноваційних підходів вирішення задач встановлення особи невідомого злочинця. І це дає профайлеру, наприклад, такі можливості: паралельно до стандартної процедури прослуховування та перегляду відео спостереження за об'єктом, можна підключити систему профайлінгу для підвищення ефективності оперативних дій.

Профайлінг вже працює, його можна порівняти з рутинними несвідомими стереотипними схемами (чи автоматизмом професійного правоохоронця) на підставі яких співробітник приймає певні рішення несвідомо (особами не відстежується). Те, чому не

надають значення, в результаті, такі дії (відношення) до формально закріпленої, не має ніякого відношення (в жодному законі нерегламентовано конкретні дії, які «несвідомо» вчиняють правоохоронці.

Більше ніяких досліджень в цій сфері поки не було.

Проте, в умовах маленьких часових відрізків на досягнення поставленої мети – встановлення особи злочинця – така профайлінгова техніка стає чи не основним інструментом, що полегшує виконання завдань. І, коли, вже ця технологія продовжує застосовуватися досить довгий час пів року і більше), вона вже перестає усвідомлюватися.

Дефіцит часу і велика кількість задач, все що буде реалізовано – буде реалізовано – буде реалізовано через профайлінгові техніки.

Криміналістичний профайлінг – це виявлення (складання) портрету невідомого злочинця за слідовою картиною злочину. По тому, які сліди залишає особа буде можливим розуміти яка вона, як вести себе з ним під час затримання, як з ним працювати при отриманні визнання (це, дещо, погляд у минуле). Робота з соціальними мережами, зі спеціальними базами даних (наприклад, відкритим), які автоматизовано для зручності за певним алгоритмом – можливо відслідкувати його динаміку.

Виділяємо параметри залежно від задач.

Види профайлінгу: криміналістичний, у сфері інформаційної безпеки, антитерористичний, авіаційний, науково-дослідний, типологічний, психологічний. Ще, транспортний, готельний, бізнес профайлінг, кадровий, банківський тощо.

На практиці, використовується профайлінг, який базується на статично обґрунтованих об'єктивних фактах та інформації, доводить законність та доцільність.

Технології профайлінгу в кримінальному провадженні в Україні майже не застосовуються через відсутність розвинутої інструментально методичної бази та правової неврегульованості. Натомість, в світі активно розробляються все нові методики портретування особи в практичній діяльності правоохоронних органів. Як результат, ми бачимо такі самостійні моделі (профілі): географічна модель Д. Росимо (Канада), модель Д. Кантера (Великобританія), модель ФБР (США) [14; 15].

Міжнародний досвід доводить ефективність застосування профайлінгу з метою запобігання і припинення злочинів. Профайлінг у кримінальних провадженнях має ґрунтуватися не тільки на методах візуальної психодіагностики, але й використовувати всі наявні кримінологічні та криміналістичні знання про особу злочинця. Фактично, профайлінг є практичною реалізацією теоретичних досліджень особи злочинця, результатом накопичення й узагальнення знань про соціальні, демографічні та психологічні криміногенні особливості осіб, які вчиняють злочини.

Приклад, моделі криміналістичного портрета особи, яка вчиняє насильство в сім'ї. Це, як правило, чоловік. Найчастіше, це особа, у віці 30-40 років (вік, коли в тому чи іншому ступені вступають у сімейні відносини). Особи, з недостатнім рівнем виховання та, часто, з недостатнім рівнем освіти (і на момент вчинення, особа ні де не вчиться). Хоча, це не гарантує крайнє негативне ставлення до насильницьких дій стосовно членів своєї сім'ї чи інших родичів (в тому числі до двоюрідних). Що стосується їхнього мешкання, то чим надалі від великих міст (та стресів, відповідно), то тим вище рівень можливості, що рівень насильства буде невеликим. Як додаткові фактори ризику, можна назвати: тяжкі кліматичні умови та умови праці осіб, наявність близько розташованих шкідливих промислових об'єктів, епідемії, стани збройних конфліктів, війни тощо. Може сприяти, приналежність до певних антисоціальних груп; відсутність такої, або неповна трудова зайнятість. Схильність до агресії (спадкова та/чи характеру). Серед осіб, які вчиняють сімейне насильство, є відсоток осіб, що вже вчиняли злочини і, як правило насильницького чи статевонасильницького спрямування та притягалися до адміністративної чи кримінальної відповідальності. Особливості професії, форми відносин чи наявність певного подібного досвіду (звички). Як реакція на різко антисоціальну поведінку (вчинок) іншого члена сім'ї. Також психічні відхилення або недорозвинення, самого винного (у межах осудності); особи які зловживають спиртними напоями чи наркотичними засобами

тощо.

Висновки. Таким чином підготовка оперативних працівників правоохоронних органів повинна включати отримання первинних навичок профайлінгу, що дозволяють створити такий орієнтовний портрет особи, яка розшукується. Профайлінгу слід приділити час у процесі вивчення юридичної психології, кримінології та криміналістики.

Крім того, корисним є досвід із залучення фахівців наукових установ і вищих навчальних закладів, які мають наукові ступені з пов'язаної тематики. Такий підхід дозволить отримувати реальні практичні результати.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мюллер В. Англо-русский словарь. 70000 слов и выражений. изд. 14-е, стереотип. Москва: «Советская энциклопедия», 1969. 912 с.
2. Профайлинг. *Материал из Википедии – свободной энциклопедии.* URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 27.11.2020)
3. Анисимова Н. Н. Особенности визуальной психодиагностики личности террориста. Обнаружение криминального искажения информации: учебно-методическое пособие. 2-е изд. перераб. / науч. ред. Ю. Н. Демидова. Домодедово: Всероссийский институт повышения квалификации МВД России, 2007. 78 с.
4. Вольнский-Басманов Ю. М. и др. Профайлинг. Технологии предотвращения противоправных действий. Москва: ЮНИТИ-ДАНА: закон и право, 2012. 223 с.
5. Дормидонтов А. В., Семенова И. А. Профайлинг: учебное пособие. Ульяновск: УВАУ ГА(И), 2011. 111 с.
6. Кулик А., Гусева Е., Мостовюк М. Записки профайлера. Издательские решения, 2015. 150 с.
7. Спирица Е. Этнический профайлинг. Москва: МАИЛ (Международная Академия Исследования Лжи). 2015. 169 с.
8. Филатов А. Профайлинг. Как разбираться в людях и прогнозировать их поведение. Издательские решения, 2017. 521 с.
9. Черкасова Е. С. Криминальный профайлинг как ориентирующий метод поиска преступника при совершении преступления в ситуации неочевидности. Профайлинг и медиация. Калуга: НОЦ, 2016. 290 с, с. 8, 12-16.
10. The Paul Ekman Group is now offering FACS / Facial Action Coding System. URL : <http://www.paulekman.com/product-category/facs/> (дата звернення: 27.11.2020)
11. Мерзликин И. Н. Значение профайлинга в современном мире. Технология выявления неконгруентности. Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. №218. С. 114-116.
12. Профайлинг Технологии предотвращения противоправных действий / под ред. Ю. Вольнского-Басманова, Н. Эриашвили. 2-е изд. Москва: Юнити-Дана, 2013. 198 с.
13. Douglas et al. Criminal profiling from crime scene analysis / John E. Douglas M.S., Robert K. Ressler M.S., Ann W. Burgess R.N., D.N.Sc., Carol R. Hartman R.N., D.N.Sc. First published: September 1986;
14. Behavioral Sciences & the Law. Volume 4, Issue 4 Autumn (Fall) 1986. Pages 401-421. URL : <http://ravenndragon.net/montgomery/crimprofiling.pdf> (дата звернення: 27.11.2020)
15. Canter D., Heritage R. A Multiivariate Model of Sexuall Offence Behavior. *The Journal of Forensic Psychiatry.* 1989. Vol. 1. с. 61.

REFERENCES:

1. Myuller, V. (1969), "Anglo-russkiy slovar. 70000 slov i vyirazheniy" [English-Russian dictionary. 70,000 words and expressions], ed.14th, stereotype, "Soviet Encyclopedia", Moscow, 912 p.
2. (Date accessed: 27.11.2020) "Profayling. Material iz Vikipedii – svobodnoy entsiklopedii" [Profiling. From Wikipedia, the free encyclopedia] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. Anisimova, N.N. (2007), "Osobennosti vizualnoy psihodiagnostiki lichnosti terrorista. Obnaruzhenie kriminalnogo iskazheniya informatsii" [Features of visual psychodiagnostics of the terrorist's personality. Detection of criminal distortion of information], teaching aid. 2nd ed. revised / scientific. ed. Yu. N. Demidova. All-Russian Institute for Advanced Studies of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Domodedovo, 78 p.
4. Volyinskiy-Basmanov, Yu.M. (2012), "Profayling. Tehnologii predotvrascheniya protivopravnyih deystviy" [Profiling. Technologies for preventing illegal actions]. UNITY-DANA: law and justice, Moscow, 223 p.

5. Dormidontov, A.V., Semenova, I.A. (2011), "Profayling. Uchebnoe posobie" [Profiling. Tutorial], UVAU GA(I), Ulyanovsk, 111 p.
6. Kulik, A., Guseva, E., Mostovyuk, M. (2015), "Zapiski profaylera" [Profiler's notes], Publishing solutions, 150 p.
7. Spiritsa, E. (2015), "Etnicheskiy profayling" [Ethnic profiling], MAIL (International Academy of Lie Research), Moscow, 169 p.
8. Filatov, A. (2017), "Profayling. Kak razbiratsya v lyudyah i prognozirovat ih povedenie" [How to understand people and predict their behavior Izdatelskie resheniya], Publishing solutions, 521 p.
9. Cherkasova, E.S. (2016), "Kriminalnyiy profayling kak orientiruyuschiy metod poiska prestupnika pri sovershenii prestupleniya v situatsii neochevidnosti. Profayling i mediatsiya" [Criminal profiling as an orienting method for finding a criminal when committing a crime in a situation of non-obviousness. Profiling and mediation], NOTs, Kaluga 290 p.
10. (Date accessed: 27.11.2020), "The Paul Ekman Group is now offering FACS / Facial Action Coding System", URL : <http://www.paulekman.com/product-category/facs/>
11. Merzlikin, I.N. (2015), "Znachenie profaylinga v sovremennom mire. Tehnologiya vviyavleniya nekongruentnosti" [The importance of profiling in the modern world. Inconsistency detection technology], Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation No. 218, p.114-116.
12. (2013), "Profayling Tehnologii predotvrashcheniya protivopravnyih deystviy" [Profiling Technologies for the prevention of illegal actions], ed. Yu. Volynsky-Basmanova, N. Eriashvili. 2nd edition, Yuniti-Dana, Moscow, 198 p.
13. Douglas et al. (1986), "Criminal profiling from crime scene analysis" / John E. Douglas M.S., Robert K. Ressler M.S., Ann W. Burgess R.N., D.N.Sc., Carol R. Hartman R.N., D.N.Sc. First published: September 1986.
14. Behavioral Sciences & the Law. Volume 4, Issue 4 Autumn (Fall) 1986. Pages 401-421 URL : <http://ravenndragon.net/montgomery/crimprofiling.pdf> (дата звернення: 27.11.2020)
15. Canter D., Heritage R. A Multiivariate Model of Sexuall Offence Behavior. *The Journal of Forensic Psychiatry*. 1989. Vol. 1. c. 61.

Ph.D. Kaluga K.V.

PROFILING - AS A MODERN INSTALLATION MEANS PERSONS OF THE CRIMINAL

The article is devoted to the analysis of the method of profiling the identity of an unknown criminal. The possibilities of profiling the identity of the offender (including the world wide web) and the practice of its application in the activities of law enforcement agencies in the investigation of crimes are investigated. Profiling (English Profile-profile) - profile, outline, outline, draw in profile - an integrated crime prevention technique by highlighting the characteristics of persons who have committed a crime or are preparing to commit it on the basis of psychological, criminological, criminalistic and sociological knowledge; a set of methods and techniques for assessing and predicting human behavior based on the analysis of the most informative signs, forensic portrait of a person, characteristics of appearance, non-verbal and verbal behavior, location and the like. Specialists who collect, process data, analyze and obtain an image are called profilers. Today, in law enforcement agencies, not only the profiling technique is not widely used. They do not use this term at all. It is noted that the effectiveness of the profiler depends primarily on its communicative abilities, the ability to verbal and non-verbal means to read the information that the interlocutor provides. Verbal means include language and speech, and non-verbal means the appearance of the interlocutor, facial expressions, timbre, tone, voice intonation, gestures, poses. Both groups of means are used in communication, and non-verbal ones are less dependent on the conscious control of a person. Thus, profiling is used not only to search for unknown criminals, but also to prevent illegal actions. The use of profiling as a component of law enforcement has positive and negative aspects. In Ukraine, profiling is only just beginning to be introduced into the activities of law enforcement agencies, so the further development of this problem taking into account foreign experience is relevant. The content of the use of profiling, the types and main areas of profiling are highlighted. A specific example of a model of a forensic portrait of a person is given. The article contains a number of recommendations for achieving practical results.

Keywords: World Wide Web, investigative tools, forensic portrait of the offender (portrait of the identity of the offender, profile of the identity of the offender), forensic methods, identity of the offender, profiling, investigation of the crime.

ОРГАНІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ ОФІЦЕРСЬКИХ КАДРІВ У ЗБРОЙНИХ СИЛАХ КАНАДИ

Аналіз зарубіжного досвіду організації та реформування збройних сил в інших країнах, де системи військової освіти є невід'ємною частиною, виявляє конкретний національний аспект такої діяльності в кожній країні. Тим часом, існує кілька загальних методологічних підходів, що використовуються у військово-педагогічній практиці в різних країнах світу, і які можна практично розглянути та застосувати.

У статті розглядається досвід підготовки офіцерів для збройних сил Канади. У статті подано інформацію про існуючу мережу військових навчальних закладів для підготовки офіцерів тактичного, оперативного та стратегічного рівнів військового командування. Визначено терміни підготовки офіцерів на тактичному, оперативному та стратегічному рівнях. Проведено аналіз змісту підготовки офіцерів для різних збройних сил та різних рівнів військового управління.

Ми використовували систему загальнонаукових методів теоретичного та емпіричного дослідження, зокрема, теоретико-методологічний аналіз проблеми та відповідні наукові ресурси, систематизацію та узагальнення наукової інформації, що стосується сутності та змісту поставлених цілей, моніторинг існуючої системи підготовки військових спеціалістів у збройних силах Канади, наукове узагальнення, загальнонаукові методи логічного та порівняльного аналізу, системний підхід, експертна перевірка, аналіз та інтерпретація отриманих теоретичних та емпіричних даних.

Аналіз концепції, структури, цілей, змісту та технологій підготовки офіцерів у збройних силах Канади показує, що система військової освіти відображає сучасний етап розвитку збройних сил, а також національну культурну специфіку країни. Навчання та підготовка офіцерів здійснюється на основі національних культурних та військових традицій з урахуванням менталітету жителів Канади. Основним напрямом підготовки офіцерів є їх фундаментальна військова та професійна підготовка як у військовій так і в цивільній галузях.

Зміст підготовки офіцерів базується на двох рівнях військової освіти. Кожен рівень військової освіти закінчується певним рівнем кваліфікації. Можна виділити загальні тенденції розвитку канадської військової школи: поліпшення якості відбору претендентів, індивідуалізація підготовки курсантів та слухачів, стабілізація їх кількості на сучасному рівні; подальша інформатизація навчального процесу, впровадження мультимедійних засобів навчання.

Ключові слова: система військової освіти в Канаді, підготовка офіцерів, зміст навчання.

Постановка проблеми. Розробка і впровадження сучасних інноваційних педагогічних технологій у військовій освіті за стандартами країн членів НАТО дає можливість здійснити системний, комплексний підхід до оптимізації організації освітнього процесу у вищих військових навчальних закладах та військових навчальних підрозділах закладів вищої освіти (ВВНЗ та ВНП ЗВО) Збройних Сил (ЗС) України. Концептуальні засади розвитку вітчизняної системи військової освіти (СВО) мають, перш за все, оптимально враховувати функції, завдання, модель та організаційну структуру ЗС України, базуватися на сучасній законодавчій базі, а освітній процес – на єдності навчання та виховання, з іншого боку, враховувати досвід розвитку системи підготовки фахівців у країнах-членах НАТО. Творче використання міжнародного досвіду підготовки військових фахівців за кордоном набуває особливої актуальності в умовах подальшого реформування ЗС України.

У статті наведено аналіз досвіду підготовки офіцерів у ЗС Канади, що виконаний під час проведення досліджень у рамках науково-дослідних робіт «Теоретико-методологічне обґрунтування професіографічного профілю професійної підготовки офіцера ЗСУ – командира військового підрозділу тактичного рівня за стандартами країн НАТО та країн партнерів» (шифр – «Професіограма») та «Обґрунтування кваліфікаційних вимог до

підготовки військових фахівців у галузі знань “Воєнні науки, національна безпека, безпека державного кордону” відповідно до стандартів країн-членів НАТО» (шифр – «Галузь»).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Висвітленню досвіду підготовки військових фахівців (ВФ) для збройних сил інших країн присвячено низку досліджень і публікацій вітчизняних та зарубіжних авторів. Це пов'язано з тим, що підготовка військових фахівців у цих країнах відображає найхарактерніші риси сучасного підходу до створення освітніх структур та їх функціонування. Так, у роботах [1, 2] розглянуто особливості підготовки ВФ у військових навчальних закладах США. Наведено варіанти організації підготовки офіцерів у ВВНЗ. Проведено аналіз комплексу факторів організації та забезпечення навчально-виховного процесу у ВВНЗ. Означені варіанти організації підготовки офіцерів на первинні посади та основні «траєкторії» їх навчання.

У роботах [3-7] проаналізовано досвід підготовки військових фахівців для збройних сил провідних європейських країн-членів НАТО (Великої Британії, Франції, Німеччини). Проведено аналіз змісту підготовки офіцерських кадрів для різних видів збройних сил. Наведено відомості щодо існуючої мережі військових навчальних закладів для підготовки офіцерів тактичної та оперативної-тактичної ланок військового управління. Доведено, що попри стандартизацію різних сфер воєнної діяльності країн НАТО, провідні країни альянсу зберегли основні унікальні національні особливості власних систем військової освіти.

У дослідженнях [8-11] розглянуто процес трансформації СВО від «радянської» системи до сучасних моделей підготовки ВФ, прийнятих у країнах-членах НАТО (принципи, цілі, завдання підготовки, етапи, зміст, форми, терміни та технології навчання тощо) у військових навчальних закладах країн «нових» членів НАТО (Болгарії, Польщі, країн Балтії).

Слід зазначити, що незважаючи на різноманітність публікацій щодо СВО в інших країнах, у першу чергу, провідних країн-членів НАТО, дослідженню сучасного стану СВО у ЗС Канади приділено надзвичайно невелику увагу. Разом з тим, з урахуванням того, що ЗС Канади останнім часом надають широку допомогу щодо подальшого реформування СВО в Україні, цікавим є питання організації підготовки офіцерських кадрів саме у цієї країні.

Мета статті. Проведення аналізу сучасного стану системи підготовки офіцерських кадрів для ЗС Канади для врахування цього досвіду під час проведення подальшої реформи національної СВО.

Виклад основного матеріалу. Підготовка офіцерів тактичної ланки військового управління для ЗС Канади проводиться у двох військових коледжах, а саме: у Королівському військовому коледжі Сен-Жан (КВК Сен-Жан), що розташований у м. Сен-Жан-сюр-Рішельє, провінція Квебек, та Королівському військовому коледжі (КВК), що розташований у м. Кінгстоні, провінція Онтаріо. Зазначені військові коледжі мають статус канадського військового університету та здійснюють підготовку майбутніх офіцерів для усіх видів збройних сил Канади (армії, військово-повітряних сил, військово-морських сил) [12]. Навчальні програми коледжів узгоджені між собою, що забезпечує певну ротацію кадетів під час навчання (після завершення навчання на першому або другому курсах). Практично КВК Сен-Жан є відокремленим структурним підрозділом КВК і забезпечує разом з базовою військовою підготовкою необхідну додаткову мовну підготовку кадетів.

У Канаді функціонують дві державні мови: англійська та французька. Тому, офіцери повинні вільно володіти обома мовами. КВК Сен-Жан, у разі необхідності, проводить підготовку кадетів для ефективного спілкування англійською та французькою мовами за допомогою позакласної освіти та мовної інтеграції у повсякденному житті протягом підготовчого курсу та першого курсу навчання (рис.1). Розташований у франкомовному середовищі КВК Сен-Жан є прекрасним місцем для англійськомовних кадетів, які бажають удосконалити свої знання французької мови для того, щоб відповідати вимогам двомовності ЗС Канади.

Кадети, які вступили до військових коледжів, починають навчання з проходження 1-ї частини базового курсу військової підготовки, що проводиться у Канадській школі лідерства та вербування (м. Сен-Жан-сюр-Рішельє, провінція Квебек) [13].

Навчальний план передбачає два модулі. Перший модуль триває п'ять тижнів, а другий - сім тижнів. Навчальна програма базового курсу включає питання здобуття тими, хто навчається, початкової військової підготовки щодо основ загальних військових знань, принципів керівництва військовими підрозділами, військових статутів та традицій, що існують у збройних силах Канади, правил поведження зі зброєю та надання першої медичної допомоги, а також удосконалення їх фізичної підготовки і витривалості. У цей період кадети мають можливість здобути певні практичні військові навички під час проведення навчальних польових занять та тренувань, що включають питання захисту військ від РХБЗ, основ ведення бою, орієнтування на місцевості, а також управління військовим підрозділом. Підготовка кадетів на цьому етапі завершується заліком, що включає подолання відповідної смуги перешкод.

Базовий курс військової підготовки (2-а частина) продовжується протягом першого року навчання безпосередньо у військових коледжах (КВК або КВК Сен-Жан).

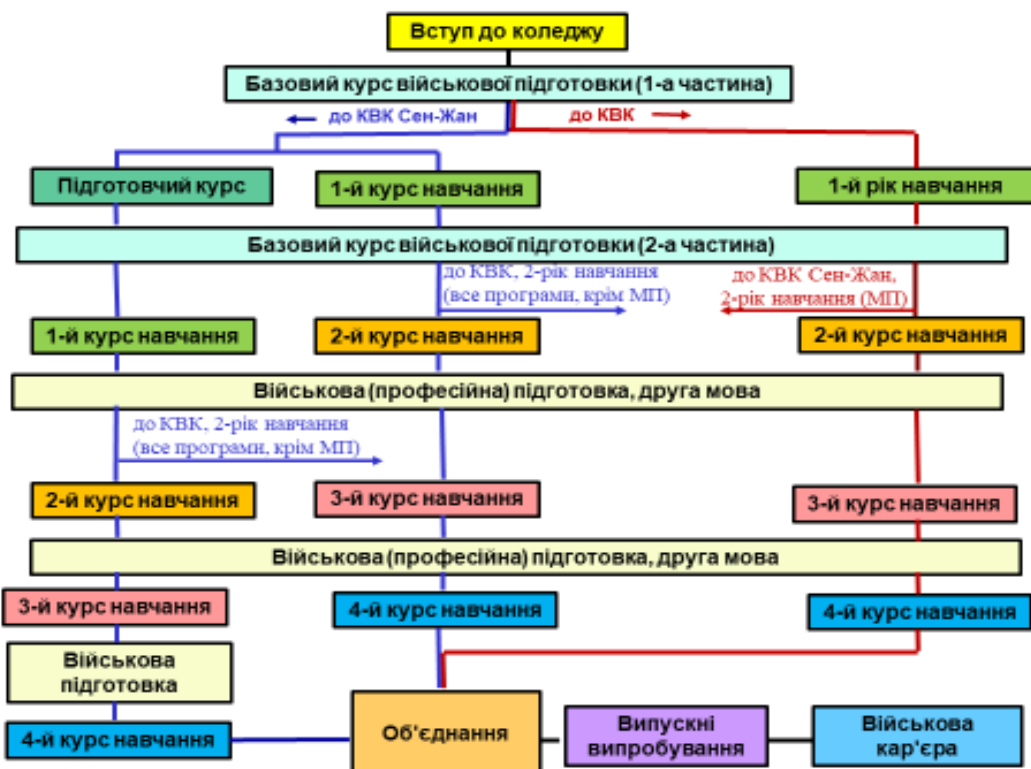


Рисунок 1 – Можливі траєкторії навчання у канадських військових коледжах

Загальний термін підготовки передбачає навчання на 4-х курсах. Розподіл кадетів між коледжами залежить від рівнів їх освітньої та фізичної підготовки, знання державних мов, а також майбутнього військового фаху.

Навчальні програми, що реалізуються в коледжах, забезпечують здобуття тими, хто навчається, кваліфікаційного рівня бакалавра в певній галузі знань, а загальна частина навчального плану отримання ними первинного офіцерського звання. Девіз коледжів - істина, обов'язок, відвага. Саме на цих принципах у кадетів виховуються самодисципліна, особиста мотивація, взаємоповага до товаришів та інші якості справжнього військового лідера [14, 15].

Навчальний план коледжів включає чотири складових: військову; фізичну; двомовну та освітню. У коледжах їх називають «стовпами», на яких базується підготовка майбутнього офіцера. Основна мета *військового стовпа* - виявлення, розвиток та закріплення моральних якостей та етичних цінностей, які мають важливе значення для офіцера. Ці якості та цінності включають: чесність, вірність, честь та мужність. Підготовка спрямовується на забезпечення перетворення підлітка до дорослої особи – офіцера під час навчання його у військовому коледжі протягом 4-х років. При цьому за роками навчання акцентується увага на наступному:

1-й курс – особистий розвиток, перетворення, робота в команді; 2-й курс – особистий розвиток, робота в команді, підготовка до лідерства; 3-й курс – особистий розвиток, лідерство; 4-й курс – особистий розвиток, лідерство, підготовка до виконання службових обов'язків за посадою.

При цьому визначено шість основних напрямків формування військових компетенцій майбутнього офіцера, які можуть розглядатися як окремі навчальні курси: загальні військові знання; особисті якості; робота в команді; лідерство; комунікації; стройова підготовка.

Курс «Загальні військові знання» передбачає вивчення питань щодо загальних правил, які прийняті у канадських ЗС, наприклад, таких як: військові традиції у ЗС; єдиноначальність; посадові обов'язки та відповідальність військовослужбовців; заборона вживання наркотиків, алкоголю та сексуальних домагань між військовослужбовцями тощо. Цей курс охоплює також питання, що стосуються навчання у військовому коледжі, таких як історія, організація та керівництво коледжу, структура кадетського крила тощо. Вивчається протягом засвоєння базового курсу військової підготовки.

Офіцери канадських ЗС повинні постійно демонструвати зразкову поведінку та дисциплінованість. Така поведінка впливає з добре розвинених рис особистості, таких як чесність, відданість, самоповага, повага до інших, відповідальність та мужність. Ці риси особистості формуються, вдосконалюються та оцінюються під час опанування навчального курсу «Особистий розвиток» протягом всього періоду навчання.

Робота в команді та співпраця - важливі елементи успішної військової кар'єри офіцера. Навчальний курс «Робота в команді» формує практичні навички кадетів для створення ефективної команди (військового підрозділу) та сприяє формуванню нормальних службових стосунків. Ці навички розвивають також необхідну особисту впевненість і довіру до колег.

Основним завданням офіцера є керівництво підлеглим особовим складом. Курс «Лідерство» надає практичні можливості для формування, розвитку та застосування лідерських якостей кадетів у різноманітніших сценаріях. Всі завдання для прояву рис лідера, включаючи призначення кадетів на командні посади у навчальних підрозділах, капітанами спортивних команд, організаторів проектів та відповідних заходів тощо використовуються для формування лідерських якостей і оцінки їх розвитку та ефективності. Мінімальна вимога для успішного завершення курсу – задовільне виконання посадових обов'язків командира кадетського підрозділу протягом одного семестру на третьому чи четвертому курсах.

Курс «Комунікації» спрямований на розвиток основних навичок кадетів щодо письмового та усного спілкування. Ці навички є наріжним каменем забезпечення лідерства і необхідні на всіх етапах подальшої кар'єри офіцера у канадських ЗС.

Курс стройової підготовки є одним з найважливіших розділів навчання і виховання кадета. Ця підготовка дисциплінує майбутнього офіцера, загартовує його фізично, виробляє гарну поставу, формує спритність, моторність, витривалість, уміння правильно і швидко виконувати команди командирів. Навички, набуті на заняттях із стройової підготовки, вдосконалюються на заняттях з вогневої, фізичної підготовки й у повсякденній службі.

Таким чином, військова складова, у першу чергу, розвиває особисті навички, що необхідні офіцеру для досягнення успіху в його майбутньої військової кар'єрі у сьогоdnішньому складному і швидко мінливому світі. Опановуючи цю складову навчального плану, кадет отримує основні навички ефективного керівника щодо управління підлеглим особовим складом та відповідними ресурсами. Поряд з цим, складова призначена для підготовки майбутнього офіцера до прийняття важких рішень у стресових ситуаціях завдяки розумінню основних факторів, що впливають на їх прийняття.

Характер та особливості військового управління і проведення сучасних військових операцій вимагають від офіцера глибокого розуміння поведінки людини, тому вивчення питань з військової психології та лідерства є обов'язковою частиною навчальної програми. Особливий акцент при цьому робиться на особисту доброчесність, етичну поведінку та професійну відповідальність. Військова складова опанується кадетами протягом всього навчального року та всього періоду навчання.

Велика увага протягом навчання приділяється удосконаленню фізичної підготовки тих, хто навчається, із застосуванням базових принципів фітнесу та здорового способу життя. Прагнення кожного кадета досягти більш високого рівня фізичної підготовленості покращує якість його життя, дає змогу більш ефективно вивчати військову справу та надихає інших. Кадети зобов'язані брати участь у програмі фізичного виховання, покликаної досягти і підтримувати високий рівень фізичної підготовленості, а також засвоїти основи різноманітніших командних та індивідуальних видів спорту. Ця програма є невід'ємною частиною навчального плану, що реалізується у коледжах.

Передбачається, що випускники повинні відповідати вимогам так званого «стандарту фітнесу ЗС Канади» щодо витривалості, спритності та сили. З метою визначення зазначеної відповідності кадети протягом навчання періодично проходять перевірку. Для того, щоб допомогти їм у дотриманні вимог цього стандарту в коледжах працює команда професійних фізіологів та спортивних тренерів, які пропонують певні інтерактивні програми та стимулюючі заняття спортом з метою розвитку фізичного потенціалу кожного кадета. Теоретичні та практичні заняття, різноманітні види спорту, а також періодичне оцінювання, лікувальна фізична підготовка та персоналізовані тренування - це невід'ємні частини програми фізичного виховання та легкої атлетики.

Програма фізичного виховання призначена для підвищення рівня фізичної підготовленості. Під час навчання кадети повинні щотижня відвідувати двогодинні заняття з фізичної підготовки протягом всього навчального року. Навчальна програма включає чотири курси фізичного виховання. Два перших курси передбачають застосування відповідних методик з підвищення рівня фізичної підготовки. При цьому на першому курсі акцентується увага на основах серцево-судинних та м'язових тренувань, а також на методах профілактичної розминки. Другий курс спрямований на формування таких фізичних якостей, як гнучкість, спритність, сила та витривалість. Протягом наступних курсів ці якості кадети розвивають під час навчальних занять з фізичної підготовки та занять різноманітними видами спорту.

Двомовність відображає культурну спадщину Канади. Очікується, що представники цієї спадщини - офіцери вільно володіють обома офіційними мовами Канади. Перш ніж потрапити до коледжів кадети проходять відповідний онлайн-тест, який вимірює їхнє знання другої офіційної мови. У разі необхідності, вони повинні пройти, як мінімум, два мовні курси, щоб відповідати встановленим вимогам, які прийняті у збройних силах щодо двомовності (рівень ВВВ, визнаного Канадською школою публічної служби). Під час проведення навчальних занять з вдосконалення другої мови кадети поділяються на групи за рівнем володіння мовою. При цьому, заняття спрямовуються на підвищення рівня навичок з розуміння, читання, письма, а також мовленнєвих навичок. Для того, щоб сприяти ефективному вивченню другої мови, застосовуються індивідуальне наставництво та невеликі аудиторії із засобами, що використовують сучасні технології навчання.

Для кадетів, які ще не досягли необхідного рівня двомовності після завершення навчання на другому курсі, під час канікулярної відпустки передбачений додатковий інтенсивний курс «занурення» на п'ять або десять тижнів. Заняття проводяться у невеликих групах по п'ять-шість годин на день в коледжі (м. Сен-Жан) або в Канадській школі лідерства та вербування м. Сен-Жан.

Зазначимо, що всі навчальні курси в коледжах пропонуються як англійською, так і французькою мовами. Кадети, які успішно склали іспити з мовної підготовки, мають право відвідувати навчальні заняття, що проводяться на будь-якій державній мові, та виконувати всі завдання на їхній «першій» офіційній мові.

Освітня складова навчального плану забезпечує здобуття випускником коледжу ступеню бакалавра у певної галузі знань (мистецтва, науки, техніки – у КВК або міжнародних відносин – у КВК Сен-Жан). Першочерговим завданням цієї складової є розвиток професійних компетентностей майбутніх офіцерів в освітніх галузях, які можна застосувати як до військової справи та й для повсякденного життя у суспільстві в цілому. Слід зазначити, що кадети мають можливість досить вільного вибору навчальних дисциплін з декількох

академічних програм, що формують відповідні освітні модулі. Тут наведемо для прикладу перелік деяких навчальних дисциплін, з яких формуються зазначені модулі: англійська мова, французька мова, історія, політологія, економіка, фізика, хімія, математика, комп'ютерні науки, інформаційні технології, науки про космос, аеронавтика, хімічне матеріалознавство, будівельна інженерія, комп'ютерна інженерія, інженерна графіка, електротехніка, машинобудування, військові науки, військова психологія і лідерство, ділове адміністрування, основи міжнародних відносин, канадська політика та суспільство тощо.

Таким чином навчальні програми у військових коледжах ЗС Канади спрямовані на підготовку майбутніх офіцерів до виконання посадових обов'язків, які їх чекають під час проходження військової служби у збройних силах як у межах країни так й закордоном на міжнародному рівні, та забезпечують можливість працювати в найрізноманітніших культурних умовах.

Протягом проходження військової служби передбачається постійне підвищення кваліфікації офіцерів перед призначенням на нові посади, які, як правило, проходять у відповідних видових навчальних центрах (військових базах) та в Коледжі збройних сил Канади (КЗСК) [16].

КЗСК (м. Торонто, штат Онтаріо) пропонує декілька навчальних програм для офіцерів оперативної та стратегічної ланок військового управління [17].

Програма об'єднаних штабних операцій - це програма для капітанів (капітан-лейтенантів), майорів (капітанів 3-го рангу), які вперше призначаються на певні посади в штабах оперативного або стратегічного рівня. Мета програми - надати їй учасникам знання та навички, необхідні для виконання посадових обов'язків молодших офіцерів у відповідному штабі. Навчання здійснюється протягом 2-х тижнів, двічі на рік, чисельність слухачів у потоці складає до 60 осіб.

Спільна командно-штабна програма – це програма для старших офіцерів, які плануються для призначення на відповідні командні та штабні посади оперативного рівня, що передбачають планування та проведення операцій як на національному так й багатонаціональному рівнях. Навчання здійснюється протягом одного навчального року (початок занять – серпень, кінець – червень наступного календарного року). Навчальний план розрахований на 700 аудиторних навчальних годин та 900 навчальних годин самостійної підготовки. Чисельність слухачів складає до 30 осіб.

Особлива увага під час навчання зосереджується на наступних питаннях:

1. *Командування та лідерство.* Завдання – виробити у кожного учасника програми необхідний рівень розуміння концептуальних основ командування та лідерства, необхідних для ефективної діяльності під час планування і проведення операцій.

2. *Навички комунікації.* Мета – розвиток здатності тих, хто навчається, ефективно спілкуватися з певними типами аудиторій слухачів (як військовими так й цивільними).

3. *Планування військових операцій.* Мета – розвиток у офіцерів компетентності планувати спільні операції на оперативному рівні за всім спектром можливих конфліктів.

4. *Компонентні можливості.* Завдання – формування навичок планування операцій, виходячи з наявності відповідних можливостей при проведенні різних видів військових операцій.

5. *Національна безпека та оборона.* Мета – розвиток здатності офіцерів проводити аналіз проблем національної безпеки, зовнішньої політики та оборони, а також внутрішніх та зовнішніх факторів, що впливають на них.

Навчальний план передбачає сім обов'язкових для всіх слухачів навчальних модулів (основна навчальна програма) та три модулі за вибором тих, хто навчається (додаткові навчальні курси). Навчальна програма може опановуватися дистанційно.

Програма з національної безпеки – це програма для старших офіцерів (полковників, капітанів 1-го рангу та вищих офіцерів), які плануються для призначення на відповідні командні та штабні посади стратегічного рівня. Слухачі навчаються разом з державними службовцями високого рівня, які працюють у галузі національної безпеки та оборони.

Навчання здійснюється протягом одного навчального року (10 місяців). Навчальний план розрахований на 560-620 аудиторних навчальних годин та біля 800 навчальних годин самостійної підготовки. Чисельність слухачів складає до 20 осіб.

Особлива увага під час навчання зосереджується на наступних питаннях:

1. *Інституційне лідерство, стратегічне командування та стратегічне управління ресурсами.* Мета – подальший розвиток здатності тих, хто навчається, оцінювати та застосовувати принципи лідерства, командування та управління на стратегічному рівні у провідних інститутах оборони та національної безпеки, а також оцінювати інституційну політику та певні обмеження при прийнятті відповідних рішень для забезпечення національної безпеки країни.

2. *Уряд Канади та розвиток політики національної безпеки.* Завдання – розвиток компетентностей щодо формування та впровадження політики національної безпеки та забезпечення взаємозв'язку державних установ на регіональному та глобальному рівнях з міжнародними організаціями та іншими неурядовими учасниками. Використовуючи порівняння з іншими країнами, слухачі зосереджується на: основних етапах при підготовці та прийнятті рішень урядом Канади; розробці політики національної безпеки; внутрішніх та зовнішніх чинниках, які впливають на впровадження політики національної безпеки тощо.

3. *Розробка національної стратегії та застосування складових влади.* Мета – подальший розвиток розуміння слухачами загальних правил застосування різних складових влади, вивчення її дипломатичних, політичних, інформаційних, соціокультурних, військових та економічних елементів та аналіз їх впливу на національну безпеку Канади.

4. *Операції в умовах різних середовищ.* Мета – розвиток здатності слухачів застосовувати комплексні підходи при плануванні та проведенні операцій в умовах сучасних та майбутніх середовищ оборони та безпеки з метою отримання певних стратегічних ефектів.

5. *Комунікативні навички та аналітичне мислення.* Мета – розвиток у слухачів здатності досліджувати, критично мислити, застосовувати методи вирішення проблем та ефективно спілкуватися із зовнішньою аудиторією.

Наприкінці зазначимо, що велика кількість офіцерів проходять підготовку на оперативному та стратегічному рівнях у військових навчальних закладах США.

Висновки. В цілому, існуюча в ЗС Канади система підготовки офіцерських кадрів забезпечує якісне навчання особового складу, отримання ними глибоких теоретичних знань, міцних практичних навичок і досвіду роботи з підлеглими, виявлення і просування по службі на ранніх етапах підготовки найбільш здібних військовослужбовців. За оцінкою експертів, представники різних категорій офіцерського корпусу мають високі ділові та професійні якості, що забезпечується багатоступінчастою системою військово-професійної освіти офіцерів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Толлок, І.В. Особливості підготовки військових фахівців тактичного рівня у ВВНЗ США та окремих країн НАТО / І.В. Толлок, Ю.М. Супрунов // Військова освіта. – 2018. – № 1 (37) – С. 259-271.

2. Владимірова, С. Исследования в области совершенствования профессионализма личного состава вооруженных сил США / С. Владимірова, А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 5. – С. 15-19.

3. Приходько, Ю.І. Підготовка військових фахівців у провідних країнах світу: основоположні засади та тенденції / Ю.І. Приходько // Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. – 2017. – № 3 (67). – С. 285-299.

4. Богунов, С.О. Основи організації та функціонування системи військової освіти Великобританії – аналітичний огляд / С.О. Богунов, Ю.О. Черних, О.Б. Черних // Військова освіта. – 2017.- № 2 (36). – С. 234-245.

5. Лазукин, В. Подготовка офицерских кадров в ВС ФРГ / В. Лазукин // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 2. – С. 26-30.

6. Колесов, П. Сен-Сирская специальная военная школа вооруженных сил Франции / П. Колесов, А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2006. – № 6. – С. 26-32.

7. Черних, Ю.О. Основи організації та функціонування системи військової освіти Франції – аналітичний огляд /Ю.О. Черних, О.Б. Черних //Зб. наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. – 2017. – Вип. № 56. – С. 249-257.
8. Черних, Ю.О. Система підготовки офіцерських кадрів у збройних силах республіки Болгарія /Ю.О. Черних, О.Б. Черних //Зб. наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. – 2018. – Вип. № 59. – С. 204-215.
9. Черних, О.Б. Аналіз сучасного стану системи військової освіти республіки Польща: досвід для України /О.Б. Черних, О.О. Мітягін, Ю.О. Черних //Військова освіта.– 2017. – № 1 (35). – С. 200-208.
10. Мітягін, О.О. Система підготовки військових фахівців у збройних силах країн Балтії: досвід для України» // О.О. Мітягін, О.Б. Черних, Ю.О. Черних //Науковий вісник інноваційних технологій. – 2018. – № 1(17). – С. 49-61.
11. Богунов, С.О. Організація підготовки офіцерів для збройних сил республіки Литва /С.О. Богунов, Ю.О. Черних, О.Б. Черних //Військова освіта. – 2018. – № 1 (37). – С. 272-285.
12. Вооруженные силы Канады. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Вооружённые силы Канады](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вооружённые_силы_Канады).
13. Professional military training. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rmc-cmr.ca/en/registrars-office/professional-military-training>.
14. Royal Military College of Canada. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https:// www.rmc.ca/index-eng.asp](https://www.rmc.ca/index-eng.asp).
15. Royal Military College Saint-Jean. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cmrsjrmcsj.forces.gc.ca>.
16. Canadian Forces College. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cfc.forces.gc.ca/221-eng.html>.
17. Programs at the Canadian Forces College. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cfc.forces.gc.ca/248-eng.html>.

REFERENCES:

1. Tolok, I.V., Suprunov Yu.M. (2018). Osoblyvosti pidhotovky viyskovykh fakhivtsiv taktychnoho rivnya u VVNZ SSHA ta okremykh krayin NATO [Peculiarities of training of tactical-level military specialists]. *Military education*, 1 (37), 259-271. (in Ukrainian).
2. Vladimirova, S., Streletskiy, A. (2006). Issledovaniya v oblasti sovershenstvovaniya professionalizma lichnogo sostava vooruzhennykh sil SSHA [Studies in the field of improving the professionalism of the personnel of the US armed forces]. *Foreign military review*, 5, 15-19. (in Russian).
3. Prykhodko, Yu.I., (2017). Pidhotovka viyskovykh fakhivtsiv u providnykh krayinakh svitu: osnovopolozhni zasady ta tendentsiyi [Training of military specialists in leading countries of the world: fundamental principles and trends]. *Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*, 3 (67), 285-299. (in Ukrainian).
4. Богунов, С.О. Основи організації та функціонування системи військової освіти Великобританії – аналітичний огляд /С.О. Богунов, Ю.О. Черних, О.Б. Черних //Військова освіта. – 2017.- № 2 (36). – С. 234-245.
5. Lazukin, V. (2008). Podgotovka ofiterskikh kadrov v VS FRG [Training of officer cadres in the Armed Forces of the FRG]. *Foreign military review*, 2, 26-30. (in Russian).
6. Kolesov, P., Streletskii, A. (2006). Sen-Sirskaya spetsial'naya voyennaya shkola vooruzhennykh sil Frantsii [Saint-Sire Special Military School of the French Armed Forces]. *Foreign military review*, 6, 26-32. (in Russian).
7. Chernykh, Yu.O., Chernykh, O.B., (2017). Osnovy orhanizatsiyi ta funktsionuvannya systemy viyskovoyi osvity Frantsiyi – analitychnyy ohlyad [Basics of organization and functioning of the French military education system - analytical review]. *Zb. nauk. prats VIKNU im. T. Shevchenka*, 56, 249-257. (in Ukrainian).
8. Chernykh, Yu.O., Chernykh, O.B., (2018). Systema pidhotovky ofiterskykh kadriv u zbroynykh sylakh respubliky Bolhariya [Officer training system in the armed forces of the republic of Bulgaria]. *Zb. nauk. prats VIKNU im. T. Shevchenka*, 59, 204-215. (in Ukrainian).
9. Chernykh, O.B., Mityahin, O.O., Chernykh, Yu.O., (2017). Analiz suchasnoho stanu systemy viyskovoyi osvity respubliky Polshcha: dosvid dlya Ukrayiny [The current state analysis of the military education system of the republic of Poland: experience for Ukraine]. *Military education*, 1 (35), 200-208. (in Ukrainian).
10. Mityahin, O.O., Chernykh, O.B., Chernykh, Yu.O. (2018). Systema pidhotovky viyskovykh fakhivtsiv u zbroynykh sylakh krayin Baltiyi: dosvid dlya Ukrayiny [Educational system for military

specialists in the armed forces of the Baltic countries: experience for Ukraine]. Scientific Bulletin of innovative technologies, 1(17), 49-61. (in Ukrainian).

11. Bohunov, S.O., Chernykh, Yu.O., Chernykh, O.B. (2018). Orhanizatsiya podhotovky ofitseriv dlya zbroynykh syl respubliky Lytva [Organisation of officer training for the armed forces of the republic of Lithuania]. Military education, 1 (37), 272-285. (in Ukrainian).

12. Vooruzhennyye sily Kanady. [Armed forces of Canada]. Available at: https://ru.wikipedia.org/wiki/Вооружённые_силы_Канады. (in Russian).

13. Professional military training. Available at: <https://www.rmc-cmr.ca/en/registrars-office/-professional-military-training>.

14. Royal Military College of Canada. Available at: <https://www.rmc.ca/index-eng.asp>.

15. Royal Military College Saint-Jean. Available at: <https://www.cmrsjrncsj.forces.gc.ca>.

16. Canadian Forces College. Available at: <https://www.cfc.forces.gc.ca/221-eng.html>.

17. Programs at the Canadian Forces College. Available at: <https://www.cfc.forces.gc.ca/eng.html>.

Ph.D.Chernykh J, Chernykh O.

OFFICERS' TRAINING IN THE ARMED FORCES OF CANADA

Analysis of the foreign experience of the organisation and reformation of the armed forces in other countries, with the respective systems of military education being an integral part, reveals the specific national aspect of such activities in each country. In the meantime, there are some general methodological approaches used in military pedagogic practice across different countries of the world to be practicably considered and applied.

The article examines the experience of officers' training for the armed forces of the Canada. The article provides information on the existing network of military educational institutions for the officer training of tactical, operational and strategic levels of military command. The terms of officers' training on tactical, operational and strategic levels have been defined. The analysis of the content of officer training for different armed services of the armed forces and different levels of military administration has been conducted.

We used the system of the general scientific methods of theoretical and empirical research, in particular, the theoretical-methodological analysis of the problem and the relevant scholarly resources, systematization and generalization of the scientific information pertaining to the essence and content of the set objectives, monitoring of the existing system of military specialists training in the Armed Forces of the Canada, scientific generalisation, the general scientific methods of logical and comparative analysis, systems approach, peer review, analysis and interpretation of the obtained theoretical and empirical data.

An analysis of the concept, structure, goals, content and technologies of officers' training in the armed forces of the Canada shows that the military education system reflects the current stage of development of the armed forces, as well as the national cultural specificity of the country. Education and training of officers is carried out on the basis of national cultural and military traditions, taking into account the mentality of the Canada people. The main direction of officers' training is their fundamental military and professional training in both the military and civilian fields.

The content of the officers' training is based on two military education levels. Each level of military education ends with a certain level of qualification. It is possible to distinguish the general tendencies of development of the Canadian military school: improvement of the quality of applicants' selection, individualization of training of cadets and trainees, stabilization of their number at the present level; further informatization of the educational process, introduction of multimedia learning tools.

Keywords: military education system in Canada, officer training, training content.

ДАНІ ПРО АВТОРІВ

Ахмамєтьєва Ганна Валєрїївна, кандидат технічних наук, доцент Одеського національного політехнічного університету, <https://orcid.org/0000-0002-0567-902X>.

Банзак Геннадій В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент кафедри Метрології та метрологічного забезпечення Одеської державної академії технічного регулювання та якості, <https://orcid.org/0000-0003-1684-3785>.

Банзак Оксана Вікторівна, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Одеської державної академії технічного регулювання та якості, <https://orcid.org/0000-0002-6649-5013>.

Безсонова Марія Дмитрівна, студентка Одеського національного політехнічного університету.

Бологов Андрій Вікторович, викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, <https://orcid.org/0000-0002-2243-9001>.

Боровик Дмитро Олегович, студент Хмельницького національного університету, <https://orcid.org/0000-0003-4715-0658>.

Боровик Олег Васильович, доктор технічних наук, професор, Заслужений працівник освіти України, начальник відділу моніторингу освітньої діяльності та забезпечення якості вищої освіти, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-3691-662X>.

Данїлов Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, начальник управління, Озброєння Командування Сил логістики Збройних Сил України, <https://orcid.org/0000-0002-5852-8911>.

Добровольська Світлана Василівна, старший викладач кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Одеської державної академії технічного регулювання та якості, <https://orcid.org/0000-0001-6897-9022>.

Дружинін Володимир Анатолійович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-5340-6237>.

Жиров Генадій Борисович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <http://orcid.org/0000-0001-7648-7992>.

Зацерковний Віталій Іванович, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри геоінформатики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0003-2346-9496>.

Калюга Каріна Вікторівна, кандидат юридичних наук, заступник завідувача кафедри кримінального права, процесу та криміналістики Інституту економіки та права Класичного приватного університету.

Кольцов Руслан Юрійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформаційних систем і технологій Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-8441-9575>.

Коноваленко Олексій Іванович, начальник штабу батальйона радіаційного, хімічного, біологічного захисту, Новоград –Волинський, в\ч 3814.

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», <https://orcid.org/0000-0001-9465-4467>.

Ленков Євген Сергійович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, <https://orcid.org/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, <https://orcid.org/0000-0001-7689-239X>.

Літвінов Євгеній Андрійович, магістрант інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського», ORCID - 0000-0003-2016-4718.

Малкова Ганна Вікторівна, аспірант кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут», <https://orcid.org/0000-0003-3377-0901>.

Мошной Сергій Володимирович, начальник навчально-учбової лабораторії, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, <https://orcid.org/0000-0002-3193-2754>.

Оленєв Микола Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Одеської державної академії технічного регулювання та якості, <https://orcid.org/0000-0003-3351-1184>.

Пампуха Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-4807-3984>.

Погрецька Олена Володимирівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Попков Борис Олексійович, кандидат військових наук, старший науковий співробітник, заступник начальника Військового інституту з наукової роботи, <https://orcid.org/0000-0001-9750-1220>.

Ряба Людмила Олександрівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-7436-4443>.

Савков Павло Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри геоінформаційних систем і технологій Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка <https://orcid.org/0000-0002-0197-0610>.

Сайченко Іван Олегович, аспірант інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського», <https://orcid.org/0000-0002-6691-2438>.

Сєлюков Олександр Васильович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор ДП Науковий центр точного машинобудування, <https://orcid.org/0000-0001-7979-3434>.

Солодєєва Людмила Василівна, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-7979-8443>.

Степанов Михайло Миколайович, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка. <https://orcid.org/0000-0001-6376-4268>.

Толок Ігор Вікторович, кандидат педагогічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, начальник Військового інституту, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0001-6309-9608>.

Торошанко Андрій Іванович, магістрант Сумського державного університету, <https://orcid.org/0000-0002-0816-657X>.

Хроль Леонід Олександрович, викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, <https://orcid.org/0000-0002-5395-3636>.

Черних Ольга Борисівна, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу військової освіти і науки центру воєнно-стратегічних досліджень, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, <https://orcid.org/0000-0001-9865-5598>.

Черних Юрій Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, Заслужений працівник освіти України, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, <https://orcid.org/0000-0002-0780-6627>.

Якимчук Наталія Миколаївна, асистент кафедри електроніки та телекомунікацій Луцького національного технічного університету, <https://orcid.org/0000-0002-8173-449X>.

Алфавітний покажчик

Ахмамєтьєва Г.В.	66	Кольцов Р.Ю.	13	Савков П.А.	82
Банзак Г.В.	13	Коноваленко О.І.	5	Сайченко І.О.	98
Банзак О.В.	5	Кошовий М.Д.	51	Сєлюков О.В.	5
Безсонова М.Д.	66	Лєнков Є.С.	13	Солодєєва Л.В.	42
Бологов А.В.	42	Лєнков С.В.	13	Степанов М.М.	75
Боровик Д.О.	23	Літвінов Є.А.	98	Толок І.В.	13
Боровик О.В.	23	Малкова Г.В.	51	Торошанко А.І.	58
Данілов Ю.О.	42	Мошной С.В.	42	Хроль Л.О.	42
Добровольська С.В.	5,13	Оленев М.В.	5	Черних О.Б.	116
Дружинін В.А.	75	Пампуха І.В.	82	Черних Ю.О.	116
Жиров Г.Б.	75	Погрецька О.В.	82	Якимчук Н.М.	58
Зацерковний В.І.	82	Попков Б.О.	82		
Калюга К.В.	110	Ряба Л.О.	75		

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, завірений 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 війсьній сфері : монографія / Г.В. Певцов, А.М. Гордієнко, С.В. Залкін, С.О. Сідченко, А.О. Феклістов, К.І. Хударковський. Х. : Вид. Рожко С.Г., 2017. 276 с.

Книга (Harvard style BSI)

Pievtsov, H.V., Hordiienko, A.M., Zalkin, S.V., Sidchenko, S.O., Feklistov, A.O. and Khudarkovskyi, K.I. (2017), "Informatsiino-psykholohichna borotba u voiennii sferi: monohrafiia" [The information and psychological struggle in the military sphere], Rozhko S.H., Kharkiv, 276 p.

Стаття із періодичного видання (ДСТУ 8302:2015)

Карпенко, Д.В. Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 2(27). С. 75–78.

Стаття із періодичного видання (Harvard style BSI)

Karpenko, D.V. (2017), "Stan ta perspektyvy rozvytku zenitnoho raketnoho ozbroiennia Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy" [The state and perspectives of the development of anti-aircraft missile armaments in the Air Force of Ukraine], Science and Technology of the Air Force of Ukraine, No. 2(27), pp. 75–78.

Дисертація (ДСТУ 8302:2015)

Белозеров, И.В. Религиозная политика: дис. ... канд. ист. наук: 07.00.02; защищена 22.01.02; утв. 15.07.02 / Белозеров Иван Валентинович. К., 2002. 215 с.

Дисертація (Harvard style BSI)

Belozerov, I.V. (2002), "Relyhyoznaia polityka: dissertation" [The religious policy: dissertation], Kiev, 215 p.

Джерела електронного ресурсу віддаленого доступу (ДСТУ 8302:2015)

Романов В. К вопросу о путях достижения национальной безопасности в условиях глобализации: проблемы теории и практики в контексте внешней политики России и Польши [Електронний ресурс] Безопасность и оборона, 2016. № 1(2), С. 7–15. Режим доступа до журн.: http://www.desecuritate.uph.edu.pl/images/De_Securitate_12_2016.pdf.

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 (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

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.

Рисунки

ЛІТЕРАТУРА

Перший (список літератури на мові оригіналу джерела) – згідно наказу МОН № 40 від 12.01.2017 та відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання»;

другий (REFERENCES) з урахуванням ДСТУ 8302:2015, наказу МОН № 40 від 12.01.2017 та міжнародного Гарвардського стилю BSI (British Standards Institution).

ЛІТЕРАТУРА:

11 пт

ЗРАЗОК

1. Ленков С.В., Толлок І.В., Цицарев В.М., Ленков Є.С. Моделювання процесів витрачання та поповнення ресурсу угруповання технічних об'єктів. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків. 2018. Вип. 1(53). С. 155 – 162.

2. Жиров Г.Б., Ленков Є.С., Цицарев В.М., Проценко Я.М. Моделювання процесу відмов об'єктів, що відновлюються з ієрархічною конструктивною структурою. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ. 2017. Вип. 55. С. 30-39.

REFERENCES:

11 пт

ЗРАЗОК

1. Ljenkov, S.V., Tolok, I.V., Tsytsarev, V.N. and Ljenkov, Ye.S. (2018), "Modeliuvannia protsesiv vytrachannia ta popovnennia resursu uhrupuvannia tekhnichnykh obiektiv" [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., Syrcarjev, V.M. and Procenko, Ja.M. (2017), "Modeljuvannja procesu vidmov ob'ektiv, shho vidnovljujut'sja z ijerarhichnoju konstruktivnoju 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>)

ЗРАЗОК

11 пт

Степанов Сергій Вікторович, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID – 0000-1202-6512-1234, 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, 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, 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**

№ 69

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 24.12.20 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