

**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**

**№ 72**

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

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

**КИЇВ – 2021**

УДК621.43

ББК 32-26.8-68.49

**Збірник наукових праць** Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2021. № 72. 96 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, НТУУ «КПІ»;  
**Гунченко Ю.О.** доктор технічних наук, професор, ОНУ;  
**Жиров Г.Б.** кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, КНУ;  
**Заславський В.А.** доктор технічних наук, професор, КНУ;  
**Карпінський М.П.** доктор технічних наук, професор, Університет у Бельсько-Бялій (Польща)  
**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 «ХПІ»;  
**Хлапонін Ю.І.** доктор технічних наук, професор, КНУБіА;  
**Шаронова Н.В.** доктор технічних наук, професор, НТУ «ХПІ».

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

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

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

Затверджено на засіданні вченої ради ВІКНУ від 30.08.21р., протокол № 23

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

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

Усі статті, що публікуються у збірнику, проходять обов'язкове рецензування, яке здійснюється за анонімною формою як для авторів, так і для рецензентів.

Видання безкоштовне.

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

Видання індексується Google Scholar.

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

Наклад 300 прим.

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

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

## ЗМІСТ

### ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

<b>Banzak G.V., Sieliykov O.V., Bondarenko T.V., Dobrovolskaya S.V.</b> Comparative study of different maintenance strategies.....	<b>5</b>
<b>Кельник О.І.</b> Характеристики випадкової імпульсної послідовності на виході системи зв'язаних релаксаційних генераторів.....	<b>13</b>
<b>Коноваленко О.І.</b> Дослідження фазової рівноваги сполук цинк-телур для удосконалення властивостей функціонального матеріалу радіаційних сенсорів.....	<b>20</b>
<b>Кошовий М.Д., Пилипенко О.Т.</b> Застосування методу бактеріальної оптимізації для мінімізації витрат часу при проведенні багатofакторного експерименту.....	<b>25</b>
<b>Мясищев А.А., Овчарук В.В., Ленков Є.С.</b> Проектування БПЛА самольотного типу на базі firm wire-ardi pilot .....	<b>32</b>

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<b>Джулій В.М., Муляр І.В., Степаненко Є.О., Толлок І.В.</b> Імовірнісна модель нелегітимного кореспондента другого рівня забезпечення безпеки IP-телефонії.....	<b>42</b>
<b>Корчак О.В., Крутінь Я.В.</b> Особливості моделювання ВКР підсилювача на основі волокна з компенсованою дисперсією з рівномірною смугою підсилення у C+L телекомунікаційних вікнах.....	<b>56</b>
<b>Ленков С.В., Пампуха І.В., Ряба Л.О., Мірошніченко К.О.</b> Аналіз особливостей лазерних систем зв'язку та побудова імітаційної моделі їх захисту.....	<b>66</b>
<b>Федченко О.П., Литвиненко Н.І., Литвиненко О.І., Прищеп С.В.</b> Аналіз використання геоінформаційних технологій в управлінні Збройними Силами України.....	<b>73</b>
<b>Шворов С.А., Пасічник Н.А., Опришко О.О., Глуган Ф.В.</b> Інформаційна система екологічного моніторингу міста.....	<b>81</b>
Дані про авторів.....	<b>88</b>
Алфавітний покажчик.....	<b>90</b>
Редакційна політика та етичні норми.....	<b>91</b>

## CONTENTS

### MILITARY EQUIPMENT AND TWO-DESTINATION TECHNOLOGIES

<b>Banzak G.V., Sieliukov O.V., Bondarenko T.V., Dobrovolskaya S.V.</b> Comparative study of different maintenance strategies.....	5
<b>Kelnyk O.</b> Features of random pulse sequence on the output of coupled relaxation oscillators' system.....	13
<b>Konovalenko O.I.</b> Study of phase equilibrium of zinc-tellur compounds for improvement of properties of functional material radiation sensors.....	20
<b>Koshevoy N.D., Pylypenko O.T.</b> Application of the bacterial optimization method to minimize the cost of conducting a multifactor experiment.....	25
.....	32

### INFORMATION TECHNOLOGIES

<b>Dzhulij V.M., Mulyar I.V., Stepanenko E.A., Tolok I.V.</b> Probability model of the second level correspondent of IP-telephony security.....	42
<b>Korchak O.V., Krutin Y.V.</b> Features of simulation of a raman amplifier based on a dispersion compensating fiber with uniform gain band IN C+L telecommunication windows.....	56
<b>Lienkov S.V., Pampukha I.V., Ryaba LO., Miroshnichenko K.O.</b> Analysis of features of laser systems connection and construction of simulation model of their protection.....	66
<b>Fedchenko O.P., Lytvynenko N.I., Lytvynenko OI., Pryschepa S.V.</b> The analysis of the using of geoinformation technologies in the management of the armed forces of Ukraine.....	73
<b>Shvorov S.A., Pasichnyk N.A., Opryshko O.O., Glugan F.V.</b> City ecological monitoring information system.....	81
Data on authors .....	88
Alphabetical index .....	90
Editorial policy and ethical norms. ....	91

# ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

UDC 681.3(07)

PhD **Banzak G.V.** (SUITC)  
D.Sci. Tech. **Sieliykov O.V.** (KNUCA)  
**Bondarenko T.V.** (MITIT)  
**Dobrovolskaya S.V.** (SUITC)

DOI: <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2021/72-01>

## COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT MAINTENANCE STRATEGIES

*Complex technical objects are understood as objects consisting of a large number of different types elements (tens, hundreds of thousands), each of which can represent a rather complex technical device. Elements can be electronic, mechanical, electromechanical, hydraulic, etc. The diversity of elements leads to the fact that for various elements fundamentally different physical processes (and, consequently, rates) of degradation are characteristic, leading to their failures. Objects can have an arbitrary reliability structure (as a rule, serial-parallel). The structural structure of such objects is usually hierarchical, that is, an object consists of subsystems, subsystems consist of units (cabinets), units - of devices (blocks), etc.*

*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 of 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 of maintenance during their operation. The problem is that during 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 object, do not develop and “build” the maintenance technology into the object, then it will not be possible to realize in the future a possible gain in the reliability of the object due to maintenance. Since all these issues must be resolved at the stage of object creation (when the 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 level of reliability facility due to maintenance, to estimate the cost costs required for this. Then, based on such calculations, make a decision on the need for maintenance for this type of objects and, if such a decision is made, develop the structure of maintenance system, choose the most acceptable maintenance strategy, and determine its optimal parameters.*

*This paper provides a comparative study of various maintenance strategies. The paper also confirms that the optimal parameters of various maintenance strategies significantly depend on both the reliability and cost structure of object and the specified requirements for the level of reliability of object.*

*Keywords: maintenance, maintenance strategies, facility availability, component parts.*

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

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

- it is possible to compare different maintenance strategies only by the results of their application to the same object;
- test objects (on which a comparison of maintenance strategies is made) should be comparable in terms of the structure time and cost costs for maintenance and maintenance;
- indicators of the quality maintenance process (objective functions), according to which the comparison of various maintenance strategies is made, should be evaluated at the same intervals of

the object's operation and with the same parameters of modeling process (if the comparison of maintenance strategies is made according to the simulation results);

- characteristics of the maintenance process obtained with the optimal parameters of the maintenance strategies should be compared, that is, potential capabilities of various maintenance strategies should be compared.

**Analysis of previous studies.** The “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 [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 the sharp increase in the level of integration and reliability components. Thanks to this, the developers of sophisticated equipment were able to solve the issues of ensuring required level of reliability without significant maintenance costs (or 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 the need for maintenance and choice of optimal strategy for its implementation again becomes relevant.

Unfortunately, the currently known mathematical models and methods for calculating the optimal parameters of MS processes are not very suitable for application to real 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 [5-7].

**Main part.** In this study, 4 test objects are used, which differ in their reliability and structural characteristics. This, among other things, allows you to check and simultaneously demonstrate the "performance" of developed methods for determining the optimal parameters of various maintenance strategies for different initial data.

To ensure the comparability of structure time and cost costs for maintenance and current repairs, the same for all elements and objects characteristics of maintainability and cost were set:

- average recovery time of an element  $\tau_{bi} = 1$  h;
- average duration of maintenance  $\tau_{toi} = 1$  h;
- item cost  $C_i = 10$  c.u.;
- cost of operation current repair (replacement) of the element  $C_{tp,i} = 1$  c.u. ;
- cost of MS operation elements  $C_{toi} = 1$  c.u.

Technical diagnostics systems characteristics for test objects are set as follows:

- duration of diagnostics at MS  $\tau_d = 0.5$  h;
- cost of the diagnostic operation at MS  $C_d = 1$  c.u.

The same for all test objects are also set the indicators depending on the purpose of object – specific cost losses incurred by the external system (in which this object is used) in the object failure state  $c_{отк} = c.u./h$ , and in MS state  $= 1$  c.u./h.

For all test objects, according to the developed methods, optimal parameters for three maintenance strategies were determined. For brevity, as before, we will call them: “MS by state”, “adaptive MS” and “MS by resource”.

All calculations were made for the duration of operation  $T_s = 20$  years with continuous operation of the facilities.

The optimal parameters of various maintenance strategies were determined under the idealized assumption of existence for test objects of measurable determining parameters for the least reliable elements related to the set of recoverable elements  $E_b$ . The subsets of potentially serviced items  $E_{to}$

were specified in such a way that they included all the least reliable items. The test objects do not contain elements whose reliability would be lower than the reliability of any elements  $E_{to}$  ( $E_{to} \subset E_B$ ). Obviously, under this condition, with the optimal parameters of maintenance strategies, the maximum, potentially possible efficiency of maintenance is provided, which is most likely unattainable in practice.

Table 1 - 4 presents final results of calculating the optimal parameters of various maintenance strategies. In fig. 1 - 4 show the graphs of the mean time between failures  $T_0$  and the unit cost  $c_{yd}$  of operation versus the number of serviced elements, obtained with the optimal parameters of corresponding maintenance strategies.

Table 1

Comparative evaluation of indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$  and  $K_{TH}$  for object Test-1 with different maintenance strategies

Maintenance strategy		MS condition	Adaptive MS	MS by resource	Without MS
Indicators (target functions)	$T_0$ , h	1660	1662	1609	1236
	$c_{yd}$ , c.u./h	0,01461	0,01408	0,01695	0,02187
	$K_{TH}$	0,99851	0,99877	0,99689	0,99919
	$\varepsilon$	0,180	0,179	0,184	0,085
Optimal maintenance strategy parameters ( $T_0^{TP} = 1500$ h)		$ E_{to}^*  = 3$ $U_{to}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $T_k^* = 1200$ h	$ E_{to}^*  = 3$ $U_{to}^* = \{0,5; 0,4; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,45; \beta = 0,$	$N_{to}^* = 1$ $ E_{to1}^*  = 3$ $T_{to}^* = 1400$ h	-

Table 2

Comparative evaluation of indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$  and  $K_{TH}$  for object Test-2 with different maintenance strategies

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

Table 3

Comparative evaluation of indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$  and  $K_{TH}$  for object Test-3  
with different maintenance strategies

Maintenance strategy		MS condition	Adaptive MS	MS by resource	Without MS
Indicators (target functions)	$T_0$ , h	15194	15136	15009	9458
	$c_{yd}$ , c.u./h	0,00154	0,00151	0,00169	0,00232
	$K_{TH}$	0,99982	0,99984	0,99967	0,99978
	$\varepsilon$	0,487	0,448	0,493	0,367
Optimal maintenance strategy parameters ( $T_0^{tp} = 15000$ h)		$ E_{TO}^*  = 3$ $U_{TO}^* = \{0,5; 0,5; 0,5\}$ $T_K^* = 10500$ h	$ E_{TO}^*  = 3$ $U_{TO}^* = \{0,7; 0,6; 0,5\}$ $\gamma^* = 0,4; \beta = 0,5$	$N_{TO}^* = 1$ $ E_{TO1}^*  = 4$ $T_{TO}^* = 16000$ h	-

Table 4

Comparative evaluation of indicators  $T_0$ ,  $c_{yd}$  and  $K_{TH}$  for object Test-4  
with different maintenance strategies

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



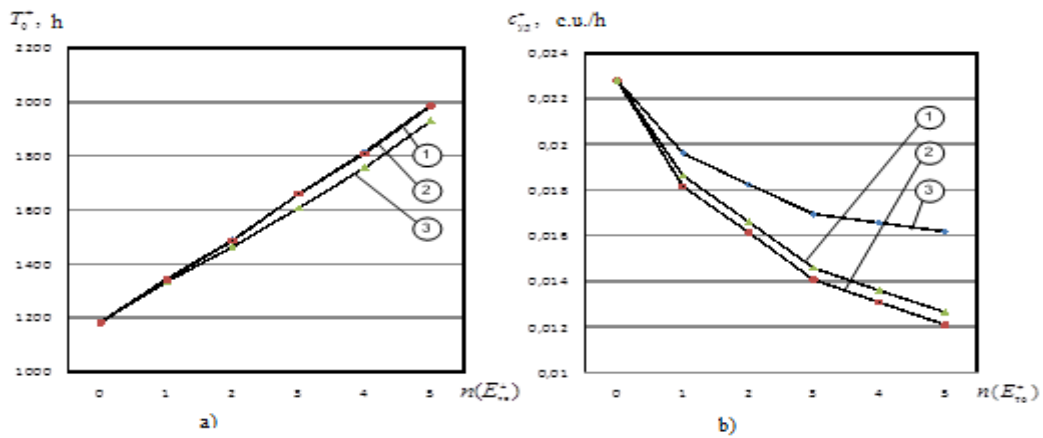


Figure 1 – Graphs of dependence indicators  $T_0^+$  and  $c_{yd}^+$  on the number of serviced elements for various maintenance strategies (object Test-1):  
 1 - maintenance by condition; 2 - adaptive maintenance; 3 - maintenance by resource

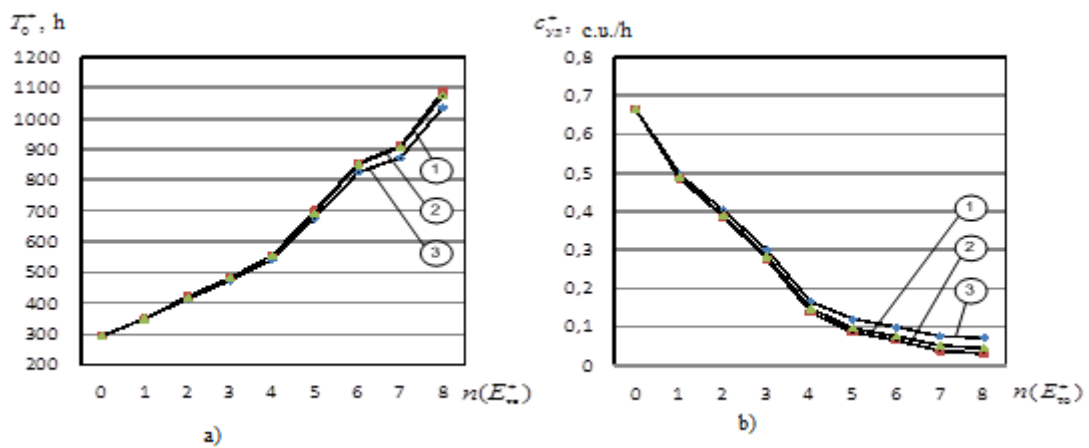


Figure 2 – Graphs of dependence indicators  $T_0^+$  and  $c_{yd}^+$  on the number of serviced elements for various maintenance strategies (object Test-2):  
 1 - maintenance by condition; 2 - adaptive maintenance; 3 - maintenance by resource

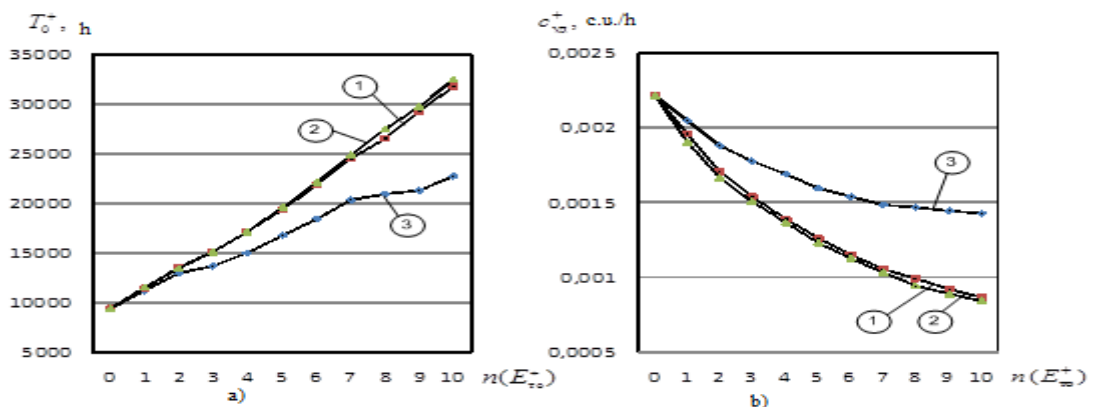


Figure 3 – Graphs of dependence indicators  $T_0^+$  and  $c_{yd}^+$  on the number of serviced elements for various maintenance strategies (object Test-3):  
 1 - maintenance by condition; 2 - adaptive maintenance; 3 - maintenance by resource

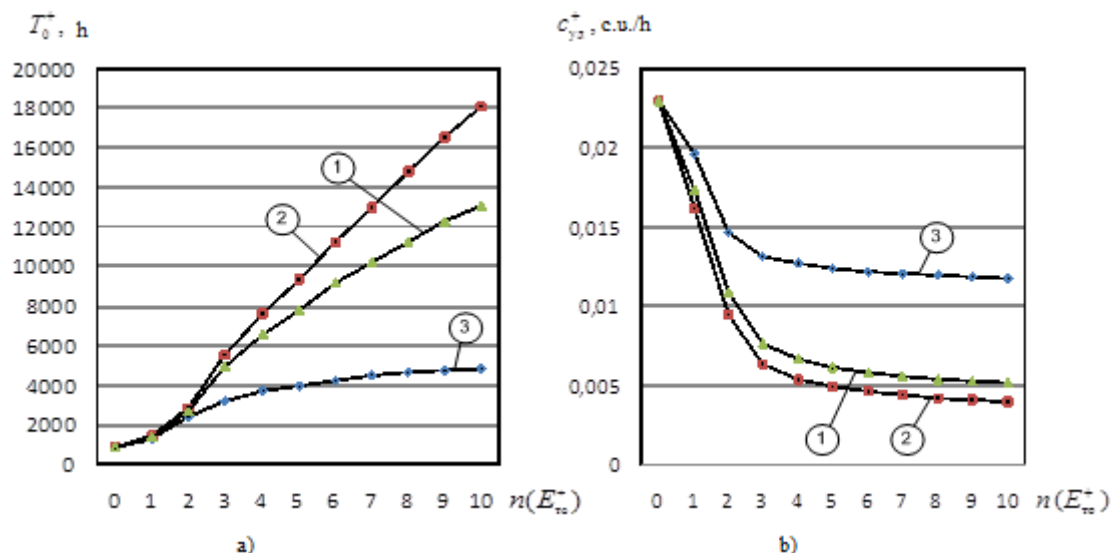


Figure 4 – Graphs of dependence indicators  $T_0^+$  and  $c_{yd}^+$  on the number of serviced elements for various maintenance strategies (object Test-4):  
 1 - maintenance by condition; 2 - adaptive maintenance; 3 - maintenance by resource

Based on the results obtained, following **conclusions** can be drawn:

1. The best in terms of mean time between failures  $T_0^+$  and unit cost of operation  $c_{yd}^+$  is the “adaptive maintenance” strategy. This is followed by “maintenance by condition” strategy. The worst is the “TO by resource” strategy. The maintenance strategy is considered the best if graph of the function  $T_0^+$  is located higher (for the function  $c_{yd}^+$  – lower) in relation to the corresponding graph for compared strategy. The maintenance strategy, the best in terms of performance  $T_0^+$ , is usually the best in terms of performance  $c_{yd}^+$ , and vice versa.

2. The strategies “maintenance by condition” and “adaptive maintenance” are very similar in terms of the obtained indicators. This is due to their common essence – during maintenance, information about the actual current state of the object is used.

3. The effectiveness of various maintenance strategies depends significantly on the reliability and cost structure of the object. If distribution of the cost restored (including serviced) elements is closely correlated with the distribution of their reliability indicators, difference in effectiveness of different maintenance strategies is reduced. This is clearly seen on the example of Test-2 object, for which the least reliable elements are also the most expensive.

4. The optimal parameters of various maintenance strategies substantially depend on both the reliability and cost structure of the facility and the specified requirement for the facility's reliability  $T_0^{tp}$ . The higher the specified value  $T_0^{tp}$ , more serviced items should be included in the optimal maintenance strategy.

For Test-4 object, the specified requirement  $T_0^{tp} = 5000$  h with the optimal strategy of “maintenance by resource” is not provided (despite the fact that all potentially serviced elements have been used).

The “adaptive maintenance” strategy has not been studied separately. The adaptive maintenance parameter  $\beta$  (exponential smoothing constant) was set equal to 0.5 for all test objects. This corresponds to a neutral situation, when the “weight” of initial data on the reliability indicators of elements (a priori information) and data on the actual measured values of determining parameters (posteriori information) is approximately the same.

## REFERENCES:

1. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, ets.; under edition S.V. Lenkov. – Odessa: Publishing house “VMV”, 2014. – 252 p.
2. Jason Brown, Lucas Mol On the roots of all-terminal reliability polynomials / Discrete Mathematics, Volume 340, Issue6, June 2017, pages 1287-1299.
3. 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/
4. Iris Tien, Armen Der Kiureghian Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assesment of infrastructure systems / Reability Engineering & System Safety, Volume 156, December 2016, Pages 134-147.
5. Volokh O.P. Methods of substantiation rational values operiodicity of maintenance of machines of engineering armament during operation // Collection of scientific works of Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2005. – P. 29-32.
6. Boryak K.F Faultlessness model of a complex recoverable object of electronic equipment // Collection of scientific works of Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv: 2009. - № 21. – P.33-41.
7. Reliability and efficiency in technology. Directory. Vol.2. Mathematical methods in the theory of reliability and efficiency / Ed. B.V. Gnedenko. М.: Mechanical Engineering, 1988. – 280 p.
8. Computational methods of research and design of complex systems. Mikhalevich V.S., Volkovich V.L. - М.: Science, 1982. 286 s.
9. Braun V.O., Boryak K.F., Lantvoyt O.B., TSytsarev V.N. Modeling of maintenance processes of complex reconstructed objects of radio-electronic equipment // News of the Engineering Academy of Ukraine. - К., 2008. - №1. – P. 47 – 52.
10. Boryak K.F. Research of the process of maintenance of complex renewable objects of electronic equipment with the help of simulation statistical model // Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. - К., 2008. - №2. – P.85 – 91.
11. Banzak H.V. Reliability database of complex objects of radio-electronic equipment / H.V. Banzak, K.F. Boryak, V.N. TSytsarev // Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. – 2010. – № 27. – P.89 – 97.
12. Banzak O.V. Research processes of gamma radiation detector for developing a portable digital spectrometer / O.V. Sieliykov, M.V. Olenev, S.V. Dobrovolskaya, O.I. Konovalenko // Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv. - 2020. - № 69. - P.5 - 13.

к.т.н., доц. Банзак Г.В., д.т.н., с.н.с. Сєлюков О.В.,  
Бондаренко Т.В., Добровольська С.В.

## ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ СТРАТЕГІЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

*Під складними технічними об'єктами розуміються об'єкти, що складаються з великого числа різнотипних елементів (десятки, сотні тисяч), кожен з яких може являти собою досить складний технічний пристрій. Елементи можуть бути радіоелектронними, механічними, електромеханічними, гідравлічними, і т.д. Різнотипність елементів призводить до того, що для різних елементів характерні принципово різні фізичні процеси (і, отже, швидкості) деградації, що призводять до їх відмов. Об'єкти можуть мати довільну надійнісну структуру (як правило - послідовно-паралельну). Конструктивна структура таких об'єктів зазвичай ієрархічна, тобто, об'єкт складається з підсистем, підсистеми складаються з агрегатів (шаф), агрегати - з пристроїв (блоків), і т.д. Характерною особливістю складних технічних об'єктів спеціального призначення є наявність в їх складі великої кількості (десятки, сотні тисяч) різнотипних 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, якщо не розробити і не "вбудувати" в*

*об'єкт технологію проведення ТО, то реалізувати в майбутньому можливий виграш 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 виграш 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 даній роботі проводиться порівняльне дослідження різних стратегій технічного обслуговування. Також в роботі підтверджується, що оптимальні параметри різних стратегій ТО істотно залежать як від надійностного-вартісної структури об'єкта, так і від заданої вимоги до рівня безвідмовності об'єкта.*

*Ключові слова: технічне обслуговування, стратегії технічного обслуговування, безвідмовність об'єкта, комплектуючі елементи*

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИПАДКОВОЇ ІМПУЛЬСНОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ НА ВИХОДІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗАНИХ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ

*Представлено комп'ютерне моделювання системи двох зв'язаних релаксаційних RC-генераторів, пов'язаних між собою таким чином, що кожен з них впливає на тривалість та період імпульсів, що генеруються іншим. За таких умов отримується нелінійна нерівноважна система з двома ступенями вільності, в якій згідно загальних уявлень є принципово можливою хаотична динаміка, тобто непередбачувана поведінка порівняно простої динамічної системи. Виявлено, що за умови ірраціонального співвідношення між частотами коливань окремих генераторів спектр коливань має значну суцільну складову, характерну для шуму. При посиленні взаємного впливу суцільна складова спектру зростає, а вплив окремих гармонік, які відповідають частотам коливань незв'язаних генераторів, зменшується. Порівняння з результатами публікацій інших дослідників показує, що такий спектр може відповідати випадковій широтно-імпульсній модуляції, дослідження якої наразі актуальні з точки зору створення нових типів вторинних джерел живлення та систем керування електромеханічними пристроями на кшталт електродвигунів.*

*Серед інших результатів роботи слід відзначити те, що за раціонального співвідношення між частотами коливань окремих автогенераторів спостерігалися квазіперіодичні коливання практично за будь-якого рівня взаємного зв'язку. Також такі коливання спостерігалися і за ірраціонального співвідношення між частотами коливань незв'язаних генераторів, коли за рахунок зв'язку (за певного його рівня) це співвідношення стає близьким до раціонального.*

*Робота також може мати актуальність як науково-методична, оскільки демонструє різноманітні режими роботи простих автоколивних систем на прикладі простої комп'ютерної моделі їхньої взаємодії.*

*Ключові слова: хаотична динаміка, релаксаційний генератор, генератор шуму, зв'язані генератори, випадкова широтно-імпульсна модуляція.*

**Вступ.** Генератори шуму мають широке коло застосувань у багатьох галузях техніки. До найбільш поширених типів генераторів шуму належать системи, що використовують для отримання непередбачуваності певний природний випадковий процес, цифрові системи з мікроконтролерами чи сигнальними процесорами, які виконують програмний код генерації псевдовипадкових чисел, а також системи, що використовують явище динамічного хаосу, тобто непередбачуваної поведінки простих динамічних систем за виконання певних умов. Серед застосувань випадкових сигналів слід особливо відзначити їхнє використання у різноманітних системах інформаційної безпеки, зокрема, високонадійних криптографічних системах [1]. У наш час практично усі подібні системи є цифровими, тобто для них було б найбільш зручно отримувати випадкову послідовність у вигляді коду, або ж певного сигналу з імпульсною модуляцією.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Хаотична динаміка порівняно простих динамічних систем була вперше виявлена в другій половині ХХ сторіччя (докладніше див [2,3]). Було з'ясовано, що динамічна система, яка є нелінійною, нерівноважною та має хоча б півтора ступеня вільності (описується системою диференціальних рівнянь третього й вище порядку), може для певних значень параметрів демонструвати непередбачувану поведінку. Зокрема, такою системою може бути автогенератор з дещо ускладненою схемою. Прикладом таких систем служить генератор шуму Кияшка-Піковського-Рабіновича [2,3], що фактично являє собою генератор Ван-дер-Поля з додатковою немонотонною нелінійністю в коливному контурі, такою як тунельний діод. Наявність ємності такого діода додає системі додаткову половину ступеня вільності, й вона демонструє ряд хаотичних режимів коливань. Також слід відзначити схему Чуа [4], яка також являє собою LC-автогенератор з додатковою нелінійністю й при цьому демонструє непередбачувану поведінку, досить подібну до аналогічних явищ в

атмосфері. Подальший розвиток цього напрямку вже у недавні часи проводився у напрямку пошуку напівпровідникових структур, які можуть демонструвати хаотичну динаміку, і при цьому можуть бути включені у склад деякої інтегральної мікросхеми або ж бути використаними для генерації шуму в оптичному діапазоні [5]. Зазначимо, що у абсолютній більшості випадків досліджувалася хаотична динаміка у автогенераторах квазігармонічних коливань, таких як LC-генератор, в той час як для імпульсних та цифрових систем було б цікаво розглянути подібну поведінку для релаксаційних генераторів. Принципова можливість появи непередбачуваної поведінки існує для систем із декількох зв'язаних релаксаційних автогенераторів (двох та більше), які є нелінійними, нерівноважними і мають 2 та більше ступеня вільності. У даній роботі проводиться комп'ютерне моделювання для такої системи у випадку двох RC-генераторів.

**Побудова моделі.** На сьогодні існує дуже велика кількість різних схемотехнічних рішень для побудови релаксаційних генераторів. Втім, практично усі вони мають у своєму складі RC/RL кола, або ж подібні за принципом дії системи. Сталі часу цих кіл визначають період та тривалість генерованого імпульсу, причому перемикання здійснюються у моменти, коли перехідний процес у цих колах досягає певних порогових значень напруги. Зокрема, можна розглянути стандартну схему імпульсного генератора (автоколивного мультівібратора) на основі ІМС NE555 [9], зображену на рис. 1. Відомо, що тривалість імпульсу тут визначається сталою часу  $(R_A + R_B) \cdot C$ , тривалість паузи – сталою часу  $R_B \cdot C$ . Перемикання здійснюються, коли напруга на конденсаторі C досягає верхнього чи нижнього порогових значень.

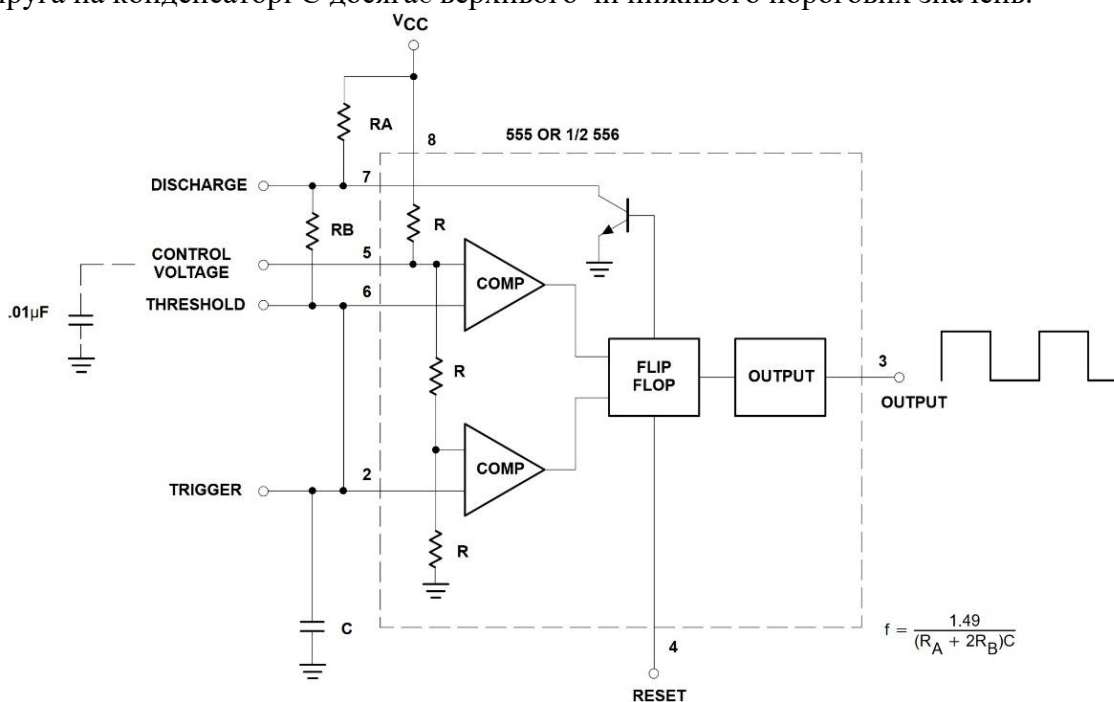


Рисунок 1 – Стандартна схема релаксаційного генератора на основі ІМС таймера NE555

Розглянемо тепер два генератори на зразок зображеного на рисунку 1, в яких параметри RC кіл дещо відрізняються одні від одних. Також будемо вважати, що перемикання у кожному генераторі здійснюються при досягненні відповідних порогових значень напруги на конденсаторах, але при цьому для кожного з конденсаторів існує вплив вихідної напруги іншого генератора. За таких умов перемикання одного з генераторів може привести як до автоматичного перемикання іншого генератора, так і до затримки його перемикання, в залежності від того, як здійснюється вплив. Схемотехнічно такий вплив можна, наприклад, створити застосувавши аналоговий суматор на базі операційного підсилювача [8].

Отже, напруга на конденсаторах у кожному з двох релаксаційних генераторів буде визначатися таким чином:

$$U_{C1,2} = \begin{cases} U_{ПН1,2} + \alpha_{1,2}t + \gamma_{12}U_{вих2,1} : U_{C1,2} < U_{ПВ1,2}; \\ U_{ПВ1,2} - \beta_{1,2}t + \delta_{12}U_{вих2,1} : U_{C1,2} > U_{ПН1,2}. \end{cases}$$

Тут  $U_{C1,2}$  - поточні значення напруги на конденсаторах першого та другого генераторів,  $\alpha_{1,2}$  - швидкості зростання напруги за рахунок перезарядження відповідних конденсаторів,  $\beta_{1,2}$  - відповідні швидкості спаду напруг,  $\gamma_{12}$  та  $\delta_{12}$  - коефіцієнти, що визначають вплив вихідної напруги іншого генератора на  $U_{C1,2}$  (ці коефіцієнти, взагалі кажучи, можуть бути як додатними, так і від'ємними),  $U_{ПН1,2}$  та  $U_{ПВ1,2}$  - верхня та нижня порогові напруги, за яких відбувається перемикання першого та другого генераторів,  $U_{вих2,1}$  - власне, вихідні напруги другого та першого генераторів.

Дана модель є досить загальною і, оскільки робота інших різновидів релаксаційних генераторів також здебільшого здійснюється подібним чином, може бути застосованою для досить широкого кола схем автогенераторів.

**Випадкова імпульсна послідовність.** Для розробленої моделі було проведено комп'ютерне моделювання. У випадку раціонального співвідношення між сталими часу RC кіл для першого та другого генераторів обидва генератори демонстрували квазіперіодичну поведінку для довільного коефіцієнту взаємного впливу між ними. Тому було розглянуто можливість ірраціонального співвідношення між цими сталими часу, зокрема, вважалося, що сталі часу RC кіл для першого та другого генераторів відрізняються у  $\sqrt{2} \approx 1.41$  разів (усі подальші результати наведені для цього співвідношення). Виявилось, що в такому випадку осцилограма коливань (рис. 2) подібна до випадкової імпульсної послідовності, а саме до коливань з випадковою широтно-імпульсною модуляцією (ВШІМ). Слід відзначити, що ВШІМ – коливання наразі викликають зацікавленість з точки зору ряду практичних застосувань, таких як побудова нових типів імпульсних вторинних джерел живлення [6], та схем керування електродвигунами [7].

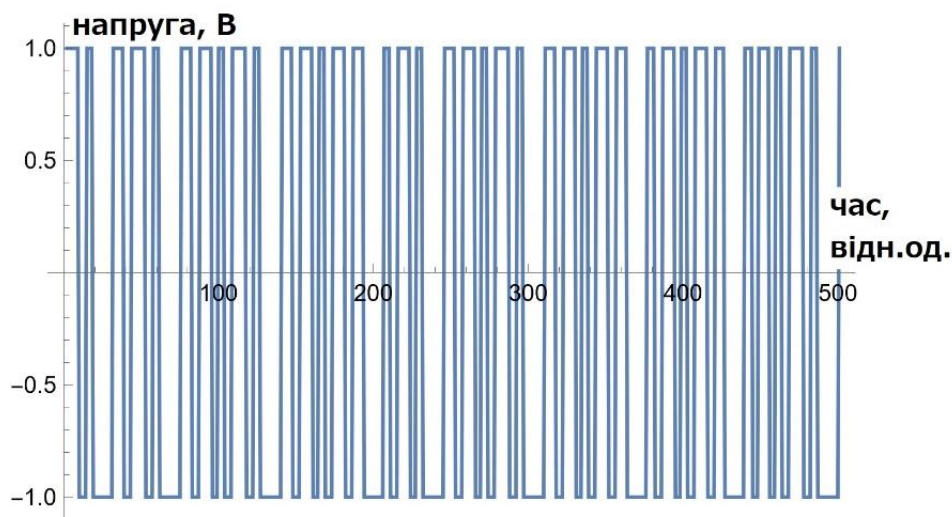


Рисунок 2 – Осцилограма коливань на виході першого генератора

Осцилограма коливань на конденсаторі першого релаксаційного генератора (рис. 3) дає змогу впевнитися, що взаємний вплив між генераторами дійсно є істотним:

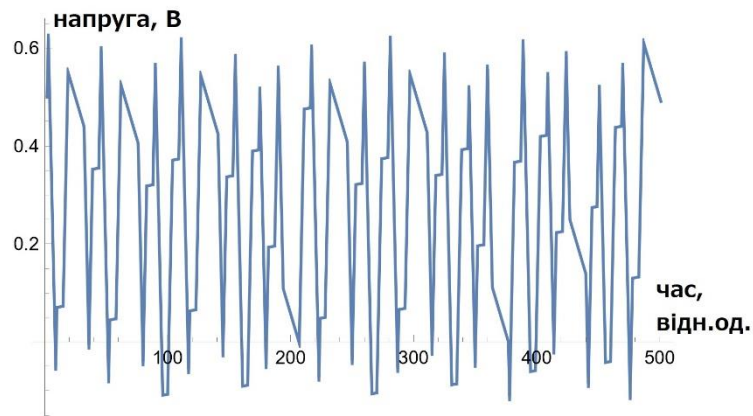


Рисунок 3 – Осцилограма коливань на конденсаторі першого генератора

Взаємний вплив виражається у досить частій зміні характеру перехідного процесу у RC колі кожного генератора, коли відбувається примусове перемикання одного з них за рахунок іншого.

Слід відзначити, що вигляд осцилограми коливань ще не дає впевненості у тому, що спостерігається генерація ВШІМ – коливань. Тому проаналізуємо їхній спектр потужності для різних рівнів взаємного впливу між генераторами. Навіть для невеликого коефіцієнту взаємного впливу (рис. 4) спостерігається розмиття спектру з утворенням значної суцільної складової. Це свідчить про те, що коливання дійсно можуть мати випадковий характер, а не є просто квазіперіодичними з накладанням двох основних частот, між якими існує ірраціональне співвідношення.

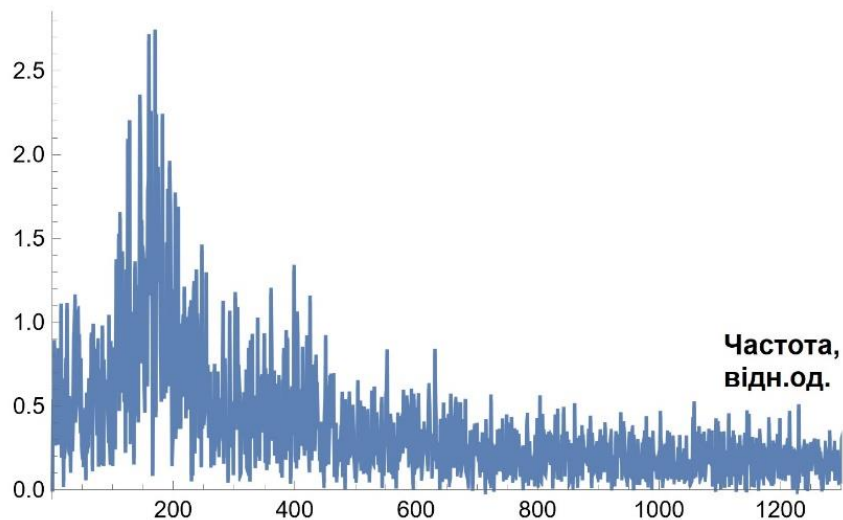


Рисунок 4 – Спектр коливань першого генератора для невеликого коефіцієнту впливу другого

Даний спектр є подібним до отриманого в роботі [10], спеціально присвяченій ВШІМ – коливанням. Цікавим також є питання, як залежатиме спектр коливань від рівня взаємного впливу між генераторами. На рис. 5 показаний тривимірний графік для спектру коливань першого генератора при різних коефіцієнтах впливу на нього з боку другого.



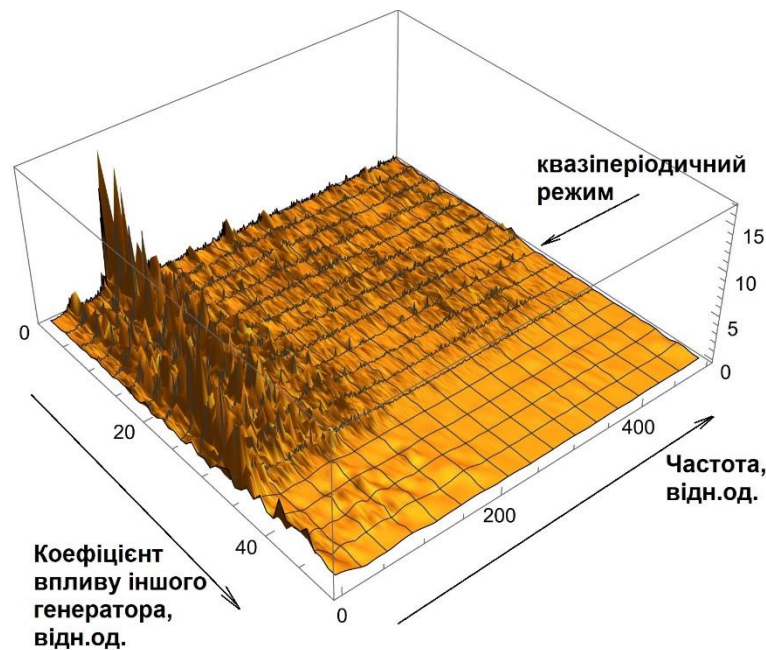


Рисунок 5 – Спектр коливань першого генератора в залежності від впливу другого

Можна відзначити, що загалом збільшення взаємного впливу приводить до певного вирівнювання спектральної залежності, і за деяких досить великих значень цього коефіцієнту з спектру взагалі зникають різкі максимуми, що відповідали частоті коливань окремого генератора. Втім, за деяких цілком визначених рівнів впливу спектр стає типовим для періодичного сигналу (це відзначено на рис. 5). Очевидно, за таких рівнів впливу співвідношення між частотами коливань двох генераторів стає близьким до раціонального. Усі графіки наведені лише для першого осцилятора, оскільки залежності для другого осцилятора дуже подібні.

**Висновки.** Комп'ютерне моделювання для загальної моделі взаємодії двох імпульсних (релаксаційних) генераторів, коли кожен з них впливає на перехідний процес в іншому й може спричинити перемикання показує, що такі коливання можуть набувати характеру випадкової імпульсної послідовності, а саме ВШПМ – коливань у випадку ірраціонального співвідношення між частотами коливань окремих (незв'язаних) генераторів. Цей результат узгоджується з нашими попередніми роботами [11,12], де розглядалася аналогічна задача для окремих традиційних типів релаксаційних генераторів, зокрема генераторів Пірсона-Ансона та мультівібраторів на основі біполярних транзисторів. Також з'ясовано, що збільшення рівня взаємного впливу між генераторами приводить до зменшення рівня окремих гармонік, які відповідають частотам періодичних коливань окремих автогенераторів при зростанні рівня суцільної складової спектру, характерної для хаотичних коливань. В той же час для певних виділених рівнів взаємного впливу коливання можуть стати майже періодичними, що відповідає встановленню раціонального співвідношення між частотами коливань за рахунок зв'язку. Подібні результати були вже давно отримані для автогенераторів квазігармонічних коливань, але для релаксаційних автогенераторів це питання ще потребує додаткових досліджень. Результат роботи також цікавий з точки зору методики викладання студентам курсів, пов'язаних з теорією коливань та автогенераторами, оскільки вельми проста модель, побудована на основі стандартної схеми імпульсного генератора дає змогу проілюструвати студентам різні режими роботи автоколивних систем, включно з режимами хаотичної динаміки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Introduction to modern cryptography: principles and protocols / J.Katz, Y.Lindell. Boca Raton: CRC PRESS, 2007, 553 p.

2. Введение в теорию колебаний и волн / М.И.Рабинович, Д.И.Трубецков. НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000, 560с.
3. Коливання та хвилі / І.О.Анісімов. К. : ВПЦ «Київський університет», 2009, 399 с.
4. Chua L. O., Komuro M., Matsumoto T. The Double Scroll Family. *IEEE Transactions on Circuits & Systems*. 1986, Vol. CAS-33, No. 11, P. 1073–1118.
5. Nonlinear Spatio-Temporal Dynamics and Chaos in Semiconductors / E.Schöll. Cambridge University Press, 2001, 241 p.
6. Kiran, T.S., Bisharathubeevi, A., Pavithran, K.N., A Comparative Exploration on Random PWM schemes to Spread Harmonics for Multilevel Power Converters using Cascaded H-bridge Configuration. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018, Vol. 13, No. 22, P. 15696-15700.
7. Sadhu, N.L., Teegala, B.R., Marapu, V.K. Constant and variable switching frequency random PWM strategies for open-end winding induction motor drive. *Journal of Power Electronics*. 2020, Vol. 20, P. 1488–1495.
8. The Art of Electronics / P.Horowitz, W.Hill. Cambridge University Press, 2015, 1192 p.
9. NE/SA/SE555/SE555C Timer IC product specification / Philips Semiconductors. 1994, 7 p.
- 10.Kowalik, S. Random pulse width modulation. L. mezinárodní seminář Katedry elektrotechniky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava. 2016. [https://www.researchgate.net/publication/305083096\\_Random\\_pulse\\_width\\_modulation](https://www.researchgate.net/publication/305083096_Random_pulse_width_modulation)
- 11.Denys A.A., Kelnyk O.I., Scorohod M.K. Computer simulation for two parametrically coupled Pearson-Anson relaxation oscillators. XII International Young Scientists Conference on Applied Physics. Proceedings. 2012, P.238-239.
- 12.Gorovenko M.V., Kelnyk O.I., Nikirin A.V., Nikitchyn O.M., Shavrin A.S. Computer simulation for two parametrically coupled Pearson-Anson relaxation oscillators. XII International Young Scientists Conference on Applied Physics. Proceedings. 2012, P.240-242.

#### REFERENCES:

1. Katz J., Lindell Y. (2007) “Introduction to modern cryptography: principles and protocols”, Boca Raton: CRC PRESS, 553 p.
2. Rabinovich, M.I., Trubetskov D.I. (2000) “Vvedenie v teoriyu kolebaniy i voln” [Introduction to the theory of oscillations and waves], NIC “Regulyarnaya I haoticheskaya dinamika”, 560 p.
3. Anisimov, I.O. (2009) “Kolywannya ta Hvyli” [Oscillations and waves], Kyiv University, 399 p.
4. Chua, L. O., Komuro, M., Matsumoto, T. “The Double Scroll Family”, *IEEE Transactions on Circuits & Systems*, 1986, vol. CAS-33, no. 11, pp. 1073–1118.
5. E. Schöll. (2001) “Nonlinear Spatio-Temporal Dynamics and Chaos in Semiconductors”, Cambridge University Press, 241 p.
6. Kiran, T.S., Bisharathubeevi, A., Pavithran, K.N., A Comparative Exploration on Random PWM schemes to Spread Harmonics for Multilevel Power Converters using Cascaded H-bridge Configuration, *International Journal of Applied Engineering Research*, 2018, vol. 13, no. 22, pp. 15696-15700.
7. Sadhu, N.L., Teegala, B.R., Marapu, V.K. Constant and variable switching frequency random PWM strategies for open-end winding induction motor drive, *Journal of Power Electronics*, 2020, vol. 20, pp. 1488–1495.
8. Horowitz P., Hill W. (2015) “The Art of Electronics”, Cambridge University Press, 1192 p.
9. “NE/SA/SE555/SE555C Timer IC product specification” (1994), Philips Semiconductors., 7 p.
- 10.Kowalik, S. “Random pulse width modulation”, L. mezinárodní seminář Katedry elektrotechniky, Vysoká škola báňská – Technická univerzita, Ostrava. 2016. [https://www.researchgate.net/publication/305083096\\_Random\\_pulse\\_width\\_modulation](https://www.researchgate.net/publication/305083096_Random_pulse_width_modulation)
- 11.Denys, A.A., Kelnyk, O.I., Scorohod, M.K. “Computer simulation for two parametrically coupled Pearson-Anson relaxation oscillators”, XII International Young Scientists Conference on Applied Physics. Proceedings. 2012, pp.238-239.
- 12.Gorovenko, M.V., Kelnyk, O.I., Nikirin, A.V., Nikitchyn, O.M., Shavrin, A.S. “Computer simulation for two parametrically coupled Pearson-Anson relaxation oscillators”, XII International Young Scientists Conference on Applied Physics. Proceedings. 2012, pp.240-242.

**FEATURES OF RANDOM PULSE SEQUENCE  
ON THE OUTPUT OF COUPLED RELAXATION OSCILLATORS' SYSTEM**

*Computer simulation of the system with two coupled relaxation oscillators is presented. Oscillators are connected in the way that each of them has influence upon the pulses' period and length for another. Under those conditions, one has a nonlinear non-equilibrium system with two degrees of freedom. According to general concepts, chaotic dynamics (unpredictable behavior of the relatively simple dynamic system) is possible in this system. As a result, oscillations' spectrum has significant continuous part if ratio between frequencies of both particular non-coupled oscillators is an irrational number. That can be associated with possibility of the noise in this system. If mutual influence between oscillators becomes stronger, continuous part of spectrum grows. Meanwhile, influence of particular harmonics that corresponding to non-coupled oscillators, decreases. Comparison with the results of another researchers shows that such spectrum can be associated with random pulse width modulation, and such a modulation is being actively researched now in order to create new types of power supply systems and control devices for electromechanical units such as electric motors.*

*Among the other results of paper, rational number as a ratio between frequencies of both particular non-coupled oscillators tends to quasi-periodical oscillations to be observed for, practically, any level of coupling between oscillators. Those quasi-periodical oscillations are also observed with irrational number as that ratio, but only for definite coupling level when this ratio shifts to be close to rational.*

*This paper also has some value as methodical because it shows various modes of simple non-equilibrium systems with simple computational model for their interaction.*

*Key words: Chaotic Dynamics, Relaxation Oscillator, Noise Generator, Coupled Generators, Random Pulse Width Modulation.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВОЇ РІВНОВАГИ СПОЛУК ЦИНК-ТЕЛУР ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ РАДІАЦІЙНИХ СЕНСОРІВ

*У роботі проведені дослідження фазової рівноваги сполук ZnTe з метою удосконалення властивостей одного з основних функціональних матеріалів радіаційних сенсорів. Для управління властивостями сполук GdZnTe як найбільш перспективних матеріалів радіаційної діагностики необхідно забезпечити якість та контроль параметрів сполук, із яких технологічно вона виробляється.*

*Порівняльна оцінка можливостей застосування розглянутих бінарних сполук для створення напівпровідникових сенсорів показує їх переваги в порівнянні з елементарними напівпровідниками. Серед бінарних сполук безсумнівні переваги має GdTe. Однак цей матеріал не може вирішити всі задачі й усунути відомі недоліки існуючих напівпровідникових сенсорів. Такими можливостями володіють тверді розчини широкозонних сполук, серед них найбільш перспективні GdTe - ZnTe, що утворюють широкозонні тверді розчини  $Gd_x Zn_{1-x}Te$  (КЦТ або CZT). Технологічно визначено області температур та парціального тиску цинку над системами ZnTe. Процезійні зміни параметрів ґраток в сплавах ZnTe. Прецизійні вимірювання параметра решітки в сплавах ZnTe, насичених Zn та Te відповідно, показали, що постійна решітки сплавів, рівна  $6,1026 \pm 0,0001 \text{ \AA}$  Практично не змінюється. Область гомогенності, за експериментальними даними по тиску пари не повинна перевищувати 0,2 ат.%.  
Ключові слова: напівпровідникові радіаційні сенсори, сполука цинк-теллур, властивості матеріалів, параметри кристалевих ґратів.*

**Вступ та аналіз відомих досліджень.** Сучасний розвиток суспільства не можливий без застосування радіаційних (ядерних) технологій, які є найефективнішими в енергетичній галузі, при діагностичному контролі, виявленні параметрів матеріалів та виробів тощо. Особливим напрямком ядерних технологій є ресстрація радіаційного випромінювання. Відомо, що 100 – 150 років тому найбільш ефективними засобами були прилади побудовані на газорозрядних, а потім на сцинтиляційних сенсорах, за якими стояли Крукс, Резерфорд, Гейгер, Мюллер у подальшому радянські дослідники Баранов В.І., Гольбек Г.Р., Дмитрієв А.Б., Перельман С.М. та інші.

У зв'язку з тими обставинами, що відбувались у 40-х роках минулого століття фактично всі дослідження в галузі ядерних технологій у тому числі і в діагностиці набули статус таємних. Тільки деякі роботи по методам в галузі матеріалознавства та контролю радіаційних спроможностей були опубліковані у відкритих виданнях Вавіловим В.С., Бараківським П.І., а через деякий час Бовиной Л.А. [1], Брегадзе Ю.Й., Івановим В.І., Крамер-Агеевой Є.О., Радауцаном С.І. [2] та деякими іншими. При цьому основними сенсорами радіаційного випромінювання стали напівпровідники. Були опробовані різні сполуки напівпровідників, розроблені конструкції сенсорів, створена технологічна та випробувальна база, проведено натурні дослідження на реальних зразках радіометрії перш за все на атомних реакторах, сховищах ядерного палива і його відходів, бойових ядерних приладах тощо.

В Україні невелика кількість науковців вели і ведуть дослідження по розвитку фізичних основ неруйнівного контролю з метою збільшення ефективності методів та засобів дозиметрії, розробці методів керування властивостями широкозонних напівпровідникових твердих розчинів, наприклад [3-7]. Створення детекторів іонізуючих випромінювання на нових принципах реалізацій значною мірою відстає від закордонних, в першу чергу США, Франції, Японії і навіть Китаю [8,9].

Вищенаведене пояснює актуальність розробки окремих технологій створення напівпровідників для радіаційного діагностування. Наприклад в наведеній статті

досліджується як відтворити фазову рівновагу матеріалів у подвійній системі  $A^2 - B^6$  ( $ZnTe$ ), як одного із найефективнішого напівпровідника при створенні сенсорів в радіаційному контролі  $GdZnTe$ .

**Основна частина.** Відомо, що в системах типу  $A^2 - B^6$  утворюється одне з'єднання еквіатомного складу, що конгруентно плавиться. Температура плавлення з'єднання, як правило, значно перевищує температуру плавлення вихідних компонентів. Внаслідок високих температур плавлення цих з'єднань і великих тисків пара вихідних компонентів вивчення діаграм стану систем  $A^2 - B^6$  пов'язано з великими труднощами. До теперішнього часу  $T - X$  проекції діаграм стану  $P - T - X$  побудовано для всіх систем типу  $A^2 - B^6$ , за виключенням  $Zn - S$  і  $Cd - S$  [4,5].  $T - X$  проекція діаграми  $P - T - X$  системи  $Zn - Te$  була досліджена багатьма авторами, данні яких знаходяться в доброму стані. В системах  $ZnTe$  та  $CdTe$  досліджені також  $P - T$  проекції діаграм стану. В системі  $A^2 - B^6$  є одне з'єднання  $ZnTe$ , яке плавиться при температурі  $1290^\circ C$  та утворює вироджені евтектики зі своїми компонентами (рис. 1). Наявність гострого максимуму, що відповідає складу з'єднання, вказує на взаємодію між атомами цинку і телуру в розплаві. Близько  $1210^\circ C$  на кривій ліквідусу зі сторони цинку від стехіометричного складу постерігається горизонтальна ділянка, яка зв'язується з можливим розшаруванням в рідкій фазі. Розчинність телуру в рідкому цинку змінюється від  $3 \cdot 10^{-3}$  ат.% при  $512^\circ C$  до  $(8 \div 9) \cdot 10^{-2}$  ат.% при  $910^\circ C$ . Побудована  $P - T - X$  діаграма системи  $Zn - Te$  методом оптичної щільності парів. Були змінені парціальний тиск цинку та телуру над твердим  $ZnTe$  для складу от 40 до 55 ат.%  $Te$  до температури  $917^\circ C$ . Показано, що в області температур  $500 - 910^\circ C$  парціальний тиск цинку  $P_{Zn}$  над насиченим цинком  $ZnTe$  (в межах помилки дослідження оцінюється  $\pm 2\%$ ) таке ж, що і над чистим цинком; воно становить 0,114 атм при  $727^\circ C$  та 1,17 атм при  $917^\circ C$ .

Парціальний тиск телуру над насиченим теллуром  $ZnTe$  ( $P_{Te}$ ) визначалось в температурній області між  $398$  та  $913^\circ C$ . Його величина декілька менше тиску парів чистого телуру і суттєво залежить від температури та складає  $3 \cdot 10^{-6}$  атм при  $398^\circ C$  та 0,346 атм при  $903^\circ C$ . В межах передбачуваної області гомогенності  $ZnTe$  (49,15-50,5 ат.%  $Te$ ) тиск парів цинку на багато перевищує тиск парів телуру. Відношення  $P_{Zn} / P_{Te}$  становить 4,58 при  $710^\circ C$  та 1,84 при  $900^\circ C$ .  $P - T$  проекція діаграми стану  $P - T - X$  системи  $Zn - Te$ , показана на рис. 1б. Приводяться парціальний тиск телуру (в залежності від зворотної температури) над  $ZnTe$ , насиченим теллуром, для складу 50,5 та 55 ат.%  $Te$ . Як видно на рисунку 1б, лінія трохфазної рівноваги зі сторони телуру практично співпадає з лінією тиску парів чистого телуру  $p_{Te}$ . Лінія  $p_{min}$  характеризує зміни парціального тиску компонентів над твердим  $ZnTe$ ; особливість її в тому, що лінія  $p_{min}$  дає суму парціальних тисків  $p_{Zn}$  та  $p_{Te}$  при мінімальному загальному тиску в системі. Тиск на лінії  $p_{min}$  відповідає рівновазі твердого тіла  $\leftrightarrow$  пар при умові, що склад пару та твердої фази однаковий. Оскільки при цих умовах співвідношення цинку та телуру в газовій фазі рівно їх співвідношенню в твердому  $ZnTe$ , лінію  $p_{min}$  ще називають сублімаційною лінією (або лінією конгруентної сублімації).

Комбінуючи дані, що відносяться до ліній ліквідусу і кривим тиску пара і використовуючи  $T - X$  проекцію, розрахунковим шляхом описали фазові рівноваги  $P - T - X$  в системі  $Zn - Te$ . Парціально тиску цинку на ліквідусу з боку цинку і тиску телуру на ліквідусу з боку телуру обчислювалися із закону Рауля. Парціальні тиску парів цинку з боку телуру і парів телуру над ліквідусу з боку цинку обчислювалися з константи рівноваги  $K_p$  для реакції  $ZnTe(TB) \rightleftharpoons Zn(T) + \frac{1}{2} Te_2(T)$ , експериментально знайденої за методом Кнудсена, а тиску парів основного компонента, складову рідку фазу, знаходили за рівнянням  $K_p = p_{Zn} \cdot p_{Te}^{1/2}$  атм<sup>3/2</sup>. При цьому передбачалось, що область однорідності на основі  $ZnTe$  так вузька, що константа рівноваги  $K_p$  не залежить від змін складу в рамках області гомогенності.

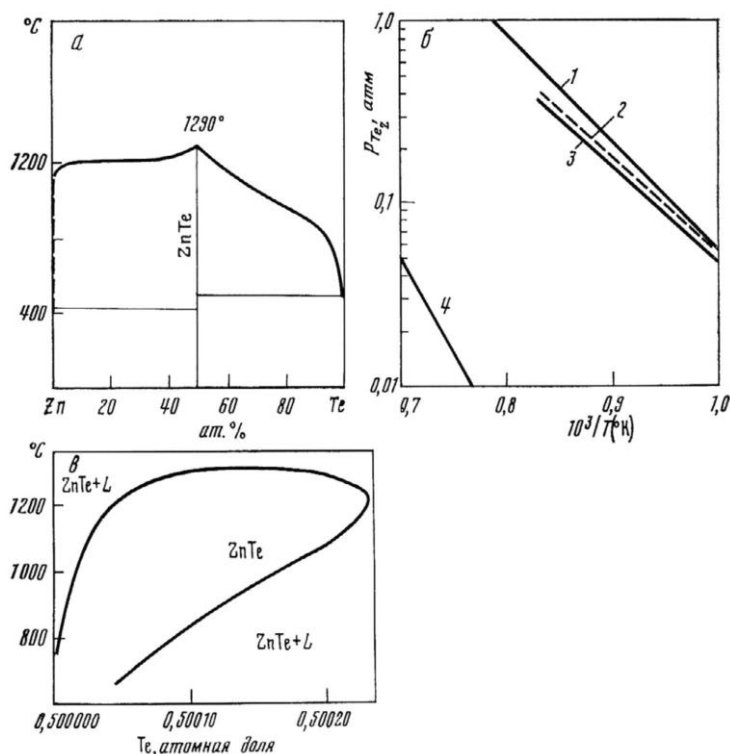


Рисунок 1 – P – T – X діаграма стану системи Zn – Te:

а) проекція T – X;

б) проекція P – T :

1 – тиск пара чистого телуру;

2 – парціальний тиск пару телуру для сплаву с 50,5 ат.% Te при температурі оптичної ячейки 1000°C;

3 – теж, для сплаву с 55 ат.% Te при 1100°C;

4 – лінія  $p_{\text{min}}$ ,

в) T – X проекція поблизу з'єднання ZnTe по розразунковим даним.

Прецизійні вимірювання параметра решітки в сплавах ZnTe, насичених Zn та Te відповідно, показали, що постійна решітки сплавів, рівна  $6,1026 \pm 0,0001 \text{ \AA}$  Практично не змінюється. Область гомогенності, за експериментальними даними по тиску пари не повинна перевищувати 0,2 ат.%. Це співпадає з іншими дослідженнями [5,10].

На підставі даних по температурної залежності тиску пари цинку, виходячи з припущення про наявність дворазово іонізованих вакансій цинку, була розрахована крива солидус для з'єднання ZnTe представлена на рис. 1. Максимум на кривій ликвидус зміщений в сторону телуру від стехіометричного складу ZnTe. При температурі 1200°C розчинність твердого телуру в ZnTe становить  $4,6 \cdot 10^{-3}$  ат.%. Крива солидус має ретроградний характер і зміщена в бік надлишку телуру. Нижче 600°C область однорідності значно ближче до стехіометричному складу, ніж при більш високих температурах. Ці дані добре узгоджуються з результатами електричних вимірювань. ZnTe має p-тип провідності, що обумовлено наявністю власних акцепторів, якими є двократно іони-поклику вакансії цинку.

### Висновки

1. В роботі дослідження фазової рівноваги сполук ZnTe для удосконалення властивостей функціонального матеріалу радіаційних сенсорів  $GdZn(1-x)Te$ .

2. Показано, що в області температур 500-910°C парціальний тиск цинка  $P_{\text{Zn}}$  над насичений цинком ZnTe (в межах помилки досвіду оцінюється  $\pm 2\%$ ) таке ж, що і над чистим цинком; воно становить 0,114 атм при 727°C та 1,17 атм при 917°C.

3. Прецизійні зміни параметра решітки в сплавах ZnTe, насичених Zn та Te відповідно, показали, що стан решітки сплавів, рівна  $6,1026 \pm 0,0001 \text{ \AA}$ , практично не міняється. Область гомогенності, по експериментальним даним по тиску парів, не повинна перевищувати 0,2 ат. %.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бовина Л.А., Георгобиани А.Н., Шейкман М.К. Физика соединений  $A_2B_6$  – М.: Наука, 1986 – 319 с.
2. Радауцан С.И., Цуркан А.Е. Теллурид цинка. Кишинев: Штиинце, 1972. – 204 с.
3. Банзак О.В., Карпенко О.В., Ленков С.В., Маслов О.В. Датчик гамма-излучений на основе кадмий-цинк-теллур (КЦТ) // Журнал «Сучасна спеціальна техніка», 2012. – 2012. - № 2(29). – С.27 – 32.
4. Ленков С. В., Банзак О. В., Карпенко О. В. Порівняльний аналіз методів отримання та управління властивостями телуридів цинку і кадмію // Нові технології. – Кременчук, – 2011. – № 4(34). – С. 3–10.
5. Маслов О. В., Ленков С. В., Банзак О. В., Карпенко О. В. Погрешность измерения характеристик полей гамма-излучения детектором на основе Cd ZnTe // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2012. – № 36. – С.173 – 182.
6. Ленков С.В., Карпенко О.В. Розробка блоку детектування (вимірювання потужності дози) гамма-випромінювання із використанням сучасних сенсорів на основі CdZnTe // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2012. – № 37. – С.56 – 63.
7. Напівпровідникові оптичні та акустoeлектронні сенсори і системи. Монографія / С.В. Ленков, Я.І. Лепіх, В.А. Мокрицький, О.В. Селюков, В.А. Сминтина, за заг.ред. В.А. Мокрицького, С.В. Ленкова. – Одеса: Астропринт, - 2009. -256 с.
8. Бруданин В.Б., Гуров Ю.Б., Розов С.В., Сандуковский В.Г., Якушев Е.А. Характеристика детекторов на основе кристаллов кадмий-цинк-теллур. Приборы и техника эксперимента, 2018, №1. С. 13 – 16.
9. [ru.made-in-china.com/co\\_wmcchemical/product\\_Cadmium-Zink-Tellunide-CdZnTe-at-Westenn-Minmetals-SC-corporation](http://ru.made-in-china.com/co_wmcchemical/product_Cadmium-Zink-Tellunide-CdZnTe-at-Westenn-Minmetals-SC-corporation). (2020).
10. Большакова Г. В. Исследование влияния различных примесей на структурные параметры кристаллов CdTe // Большакова Г.В., Леднева Ф.И., Кутовой И.С., Устинов В.М. – Электронная техника. Серия 6: Материалы. – Вып. 2 (256), 1991. – С. 23 - 26.
11. Banzak O.V., Sieliykov A.V., Dobrovolskaya S.V., Konovalenko O.I. Model of physical processes in primary and secondary converters of the detector // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2021. – № 70. – С.5 – 15..
12. 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 // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2020. – № 69. – С.5 – 12.

#### REFERENCES:

1. Bovina L.A., Georgobiani A.N. and Shejkman M.K. (1986). Fizika soedinenij  $A_2B_6$ . Moscow, Nauka, 319 p.
2. Radaucan S.I. and Curkan A.E. (1972). Tellurid cinka. Kishinev, Shtiince, 204 p.
3. Banzak O.V., Karpenko O.V., Lenkov S.V. and Maslov O.V. (2012) Datchik gamma-izluchenij na osnove kadmij-cink-tellur (KCT). Suchasna special'na tehnika, no 2(29), pp. 27 – 32.
4. Ljenkov S. V., Banzak O. V. and Karpenko O. V. (2011). Porivnjal'nyj analiz metodiv otrymannja ta upravlinnja vlastyovostjamy telurydiv cynku i kadmiju. Novi tehnologii', Kremenchuk, no. 4(34), pp. 3–10.
5. Maslov O.V., Lenkov S.V., Banzak O.V. and Karpenko O.V. (2012). Pogreshnost' izmerenija harakteristik polej gamma-izluchenija detektorom na osnove Cd ZnTe. Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka, Kyiv, no. 36, pp.173 – 182.
6. Ljenkov S.V. and Karpenko O.V. (2012). Rozrobka bloku detektuvannja (vyimirjuvannja potuzhnosti dozy) gamma-vyprominjuvannja iz vykorystannjam suchasnyh sensoriv na osnovi CdZnTe. Zbirnyk naukovyh

prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Kyiv, no. 37, pp. 56 – 63.

7. Ljenkov S.V., Ljepih Ja.I., Mokryc'kyj V.A., Sjeljukov O.V., Smyntyna V.A., za zag.red. V.A. Mokryc'kogo, S.V. Ljenkova. Napivprovidnykovi optychni ta akustoelektronni sensory i systemy (2009), Odesa, Astroprynt, 256 p.

8. Brudanin V.B., Gurov Ju.B., Rozov S.V., Sandukovskij V.G. and Jakushev E.A. (2018). Harakteristika detektorov na osnove kristallov kadmij-cink-tellur. Pribory i tehnika jeksperimenta, no.1, pp. 13 – 16.

9. ru.made-in-china.com/co\_wmcchemical/product\_Cagmium-Zink-Tellunide-CdZnTe-at-Westenn-Minmetals-SC-corporation. (2020).

10. Bol'shakova G.V., Ledneva F.I., Kutovoj I.S. and Ustinov V.M. (1991). Issledovanie vlijanija razlichnyh primesej na strukturnye parametry kristallov CdTe. Jelektronnaja tehnika. Serija 6: Materialy, Vol. 2 (256), pp. 23 - 26.

11. Banzak O.V., Sieliykov A.V., Dobrovolskaya S.V. and Konovalenko O.I. (2021). Model of physical processes in primary and secondary converters of the detector. Zbirnyk naukovyh prac' Vijs'kovogo instytutu imeni Tarasa Shevchenka, Kyiv, no. 70, pp. 5 – 15.

12. Banzak O.V., Sieliykov O.V., Olenev M.V., Dobrovolskaya S.V. and Konovalenko O.I. (2020). Research processes of gamma radiation detector for developing a portable digital spectrometer. Zbirnyk naukovyh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, K., Kyiv, no. 69, pp.5 – 12.

**Konovalenko O.I.**

#### **STUDY OF PHASE EQUILIBRIUM OF ZINC-TELLUR COMPOUNDS FOR IMPROVEMENT OF PROPERTIES OF FUNCTIONAL MATERIAL RADIATION SENSORS**

*The phase equilibrium studies of ZnTe compounds are studied in order to improve the properties of one of the main functional materials of radiation sensors. To control the properties of GdZnTe compounds as the most promising materials for radiation diagnostics, it is necessary to ensure the quality and control of the parameters of the compounds from which it is technologically made.*

*A comparative evaluation of the possibilities of using the considered binary compounds to create semiconductor sensors shows their advantages in comparison with elementary semiconductors. Among binary compounds, GdTe has undoubted advantages. However, this material cannot solve all the problems and eliminate the known shortcomings of existing semiconductor sensors. Such capabilities have solid solutions of broadband compounds, among them the most promising GdTe - ZnTe, forming wideband solid solutions of Gd x Zn 1-xTe (CCT or CZT). Technologically determined areas of temperature and partial pressure of zinc over ZnTe systems. Processional changes of lattice parameters in ZnTe alloys. Precise measurements of the lattice parameter in ZnTe alloys saturated with Zn and Te, respectively, showed that the lattice constant of alloys equal to  $6.1026 \pm 0.0001 \text{ \AA}$  practically does not change. The region of homogeneity, according to experimental data on vapor pressure should not exceed 0.2 at. %.*

**Keywords:** *semiconductor radiation sensors, zinc-tellurium compound, material properties, crystal lattice parameters.*



## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ БАКТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ВИТРАТ ЧАСУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

*Планування експерименту дозволяє отримати математичну модель в умовах обмежених часом та ресурсами. При проведенні експериментальних досліджень в промисловості застосовують методи оптимізації виробничих процесів. На час реалізації експерименту сильний вплив має порядок чергування рівнів зміни факторів. Найчастіше експерименти є багатофакторними і пов'язані з пошуком оптимальних умов проведення експерименту, підбором найбільш раціонального обладнання. При цьому існує гостра необхідність в підвищенні ефективності експериментальних досліджень.*

*При реалізації проекту має враховуватися безліч факторів. Основними завданнями є використання вихідних даних, ретельне їх вивчення при мінімальній кількості спостережень та інформації, вивчити вплив окремих факторів і розрахувати максимально ефективний порядок виконання експерименту. Одним із головних завдань є отримання максимальної кількості корисної для нас інформації, щоб при повторному дослідженні ми могли врахувати попередні результати і використовувати ці дані для підвищення ефективності та зменшення витрат часу в наступних експериментах. Одними із переваг є універсальність методу і можливість застосування у великій кількості сфер досліджень. Метою даної статті є подальший розвиток методології оптимального за часовими витратами планування експерименту. Тому виникає потреба в підвищенні рівня ефективності досліджень при мінімальних витратах часу та ресурсів. З перерахованих вище причин ми бачимо, що існує актуальність автоматизації та оптимізації експериментів. Виходячи з цього, був розроблений для оптимізації матриць метод бактеріальної оптимізації. Було проведено аналіз відомих методів синтезу оптимальних за часовими витратами планів експерименту. Показана ефективність бактеріального методу в порівнянні з початковим планом експерименту, аналізом перестановок та випадковим пошуком. Об'єкт дослідження: процеси планування багатофакторних експериментів в умовах обмежених часом та ресурсами. Предмет дослідження: застосування методу бактеріальної оптимізації для побудови математичної моделі з оптимальним порядком проведення експерименту.*

*Ключові слова: дослідження, план експерименту, метод, бактеріальна оптимізація, мінімізація, багатофакторний експеримент, порівняння методів.*

**Вступ.** Планування експериментальних досліджень використовується і в промисловості, і в науці. Основна мета даного наукового дослідження показати і довести необхідність і ефективність додаткових розрахунків в підготовчій фазі проекту, який в результаті дослідження буде компенсувати затрати в часі та в ресурсах. І також покаже наскільки один певний фактор може вплинути на весь дослідницький процес. На практиці основним завданням промислового експерименту є отримання максимальної кількості інформації про вплив кожного із встановлених факторів на виробничий процес та на витрати часу і ресурсів. Важливо також щоб результат був отриманий в максимально короткий проміжок часу. Оптимальне планування експерименту дозволяє успішно вирішувати ці технологічні та виробничі проблеми.

Була проведена оптимізація багатофакторного експерименту за допомогою методу бактеріальної оптимізації. Даний метод являє собою біонічні передумови бактеріальних алгоритмів [1]. Його реалізація полягає в знаходженні мінімального значення часу (вартості) шляхом порівняння даного рядку з попереднім та вибору з них оптимального. Працездатність методу бактеріальної оптимізації була перевірена на прикладі дослідження обслуговування верстатів з числовим програмним управлінням.

Об'єкт дослідження: процеси планування багатофакторних експериментів в умовах обмежених часом та ресурсами.

Предмет дослідження: застосування методу бактеріальної оптимізації для знаходження оптимального порядку проведення експерименту і мінімізації витрат часу та ресурсів.

Мета дослідження: дослідження можливості застосування методу бактеріальної оптимізації для побудови плану багатофакторного експерименту та проведення порівняльного аналізу з раніше розробленим методом (аналіз перестановок).

**Аналіз останніх досліджень.** Проведений аналіз публікацій показує те, що існує ряд прикладів побудови багатофакторних експериментів [2, 3]. Це такі існуючі методи як аналіз перестановок [3], метод випадкового пошуку [3], повний перебір [3], метод стрибаючих жаб [4], оптимізація бджолиним роєм [3, 5], алгоритм оптимізації рою часток [6].

Перераховані методи використовують при оптимізації планування експерименту для зменшення часових витрат. І кожен з методів має свої переваги і недоліки. Всі перераховані методи існують і використовуються кожен у своїй сфері діяльності і при своїх потребах. Основні недоліки методів: знаходження не оптимального плану експерименту, низька швидкодія, обмежена кількість факторів.

Виходячи з усього перерахованого, можна зробити висновок, що немає ідеального методу для оптимізації планування експерименту, тому має сенс досліджувати метод бактеріальної оптимізації на прикладі процесу обслуговування верстатів з числовим програмним управлінням.

**Основні матеріали дослідження.** Для вирішення поставленого завдання розроблений метод бактеріальної оптимізації. Вихідний план експерименту  $2^k$ .

Завдання вибору оптимального плану повного факторного експерименту може бути сформульована в такому вигляді. При дослідженні ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням в якості критерію оптимізації було вибрано сумарний час  $\bar{y}$  роботи верстатів з ЧПУ [7].

У проведених раніше дослідженнях оптимальний план повного факторного експерименту був синтезований методом аналізу перестановок.

Домінуючими чинниками, які впливають на цей показник, були обрані:  $X_1$  - час виконання профілактики  $t_n$  г.,  $X_2$  - число  $u_c$  верстатів з ЧПУ,  $X_3$  - час роботи верстатів протягом доби  $t_c$ , г.,  $X_4$  - періодичність профілактики  $t_0$ , г. Для побудови математичної моделі  $\bar{y} = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  досить застосувати повний факторний експеримент  $2^4$ . Опис процесу дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням було приведено в роботі [8].

Для оптимізації плану повного факторного експерименту  $2^4$  за часовими витратами був застосований метод бактеріальної оптимізації. Його реалізація основана на перестановці рядків і знаходження мінімального значення часу проведення експерименту. Схема реалізації даного методу представлена на рис. 1.

Часові зміни значення рівня факторів представлена в табл. 1

Таблиця 1

Часові зміни значення рівня факторів

Часові зміни значень рівнів факторів, г.	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
З «-1» до «+1»	7	6	16	100
З «+1» до «-1»	3	2	12	50



Рисунок 1 – Схема реалізації методу бактеріальної оптимізації

Суть методу бактеріальної оптимізації багатofакторного експерименту полягає в наступному.

**Крок 1.** Введення необхідної кількості факторів в експерименті.

**Крок 2.** Генерація початкової матриці з урахуванням зазначеної кількості факторів в експерименті.

**Крок 3.** Введення значень часу переходів.

**Крок 4.** Розрахунок часу експерименту при початковій матриці експерименту.

**Крок 5.** Розрахунок часу значення між рядками.

**Крок 6.** Перевірка на задоволення умови.

**Крок 6.1** Перевірка не пройдена, заміна рядків місцями і повернення на крок 5.

**Крок 6.2** Перевірка пройдена, переходимо до розрахунку наступних рядків. Перехід до кроку 7.

**Крок 7.** Перевірка на проведення всіх варіантів.

**Крок 7.1.** Не всі рядки проаналізовані, повертаємося на крок 5.

**Крок 7.2.** Всі рядки проаналізовані, перехід до кроку 8.

**Крок 8.** Розрахунок часу оптимального плану експерименту.

**Крок 9.** Порівняння часу початкового плану з оптимальним.

У табл. 2 показана початкова матриця планування експерименту.

Таблиця 2

Початкова матриця планування експерименту

Номер досліджу	Фактори			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Час реалізації початкового плану експерименту становить 251г. Оптимальний план експерименту, отриманий методом бактеріальної оптимізації, представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Оптимальний план експерименту за методом бактеріальної оптимізації

Номер досліджу	Фактори			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	-	+	+	+
4	-	-	+	+
5	+	+	-	+
6	+	-	-	+
7	-	+	-	+
8	-	-	-	+
9	+	+	+	-
10	+	-	+	-
11	-	+	+	-
12	-	-	+	-
13	+	+	-	-
14	+	-	-	-
15	-	+	-	-
16	-	-	-	-

Час реалізації оптимального плану експерименту становить 181г.

У табл. 4 представлені раніше розроблені плани експерименту для дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням [3].

Таблиця 4

План експерименту для дослідження ділянки цеху

Аналіз перестановок					Випадковий пошук				
Номер досліджу	Фактори				Номер досліджу	Фактори			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-	-	+	-	1	+	-	+	-
2	+	-	+	-	2	-	+	+	-
3	-	+	+	-	3	-	-	+	+
4	+	+	+	-	4	+	+	+	+
5	+	+	-	-	5	-	+	+	+
6	+	-	-	-	6	+	+	+	-
7	-	-	-	-	7	+	-	+	+
8	-	+	-	-	8	-	-	+	-
9	-	-	-	+	9	-	+	-	+
10	+	-	-	+	10	-	+	-	-
11	-	+	-	+	11	+	+	-	-
12	+	+	-	+	12	+	-	-	-
13	-	-	+	+	13	+	-	-	+
14	+	-	+	+	14	-	-	-	-
15	-	+	+	+	15	-	-	-	+
16	+	+	+	+	16	+	+	-	+

Час реалізації плану експерименту, отриманого методом аналізу перестановок, становить 215г., випадковим пошуком – 778г.

У табл. 5 представлений порівняльний аналіз початкового плану експерименту з планами, отриманими наступними методами оптимізації: аналізом перестановок, випадковим пошуком і методом бактеріального пошуку.

Таблиця 5

Порівняльний аналіз методів

Метод оптимізації	Часові витрати, г.	Виграш, разів
Початковий план	251	
Аналіз перестановок	215	1.17
Випадковий пошук	778	0.32
Бактеріальний метод	181	1.39

У результаті порівняння часу реалізації експерименту, отриманого різними методами оптимізації, можна зробити висновок, що план експерименту, оптимізований методом бактеріальної оптимізації, дає максимальний виграш за часовими витратами.

**Висновки.** Для оптимізації планів багатofакторного експерименту за часовими витратами розроблений метод бактеріальної оптимізації.

У даній статті доведено його ефективність і працездатність для дослідження ділянки цеху верстатів з числовим програмним управлінням. За результатами дослідження метод бактеріальної оптимізації дає виграш у часі в 1,39 рази в порівнянні з початковим планом

експерименту. Оптимізація бактеріальним методом дає кращий результат в порівнянні з аналізом перестановок і випадковим пошуком.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446с.
2. Кошечая И.И., Кошевой Н.Д., Раскин Л.Г. Синтез оптимальных по стоимостным или временным затратам планов полного факторного эксперимента. Радиоелектронні і комп'ютерні системи. 2016. №2. С.46-50.
3. Кошевой Н. Д., Костенко Е.М. Оптимальное по стоимостным и временным затратам планирование эксперимента: монография. Полтава: изд. Шевченко Р.В., 2013. 317 с.
4. 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. 53-61.
5. Карпенко А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов. Информационные технологии. 2012. №7. С. 1-32.
6. Кошевой Н.Д., Беляева А.А. Применение алгоритма оптимизации роём частиц для минимизации стоимости проведения многофакторного эксперимента. Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2018. №1. С.41-49. DOI 10.15588/1607-3274-2018-1-5.
7. Барабашук В.И. Планирование эксперимента в технике. К.: Техніка, 1984. 200 с.
8. Кошовий М.Д., Костенко О.М. Оптимальне планування експериментів при обслуговуванні верстаків з числовим програмним управлінням. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2010. №3. С. 155-158.

#### REFERENCES:

1. Karpenko A.P. (2014) Modern search engine optimization algorithms. Algorithms Inspired by Nature: A Study Guide. M.: Publishing house of MSTU im. N.E. Bauman, 446p.
2. Koshevaya I.I., Koshevoy N.D., Raskin L.G. (2016). Synthesis of plans for a complete factorial experiment that are optimal in terms of cost or time costs. Radioelectronic and computer systems, No. 2, pp.46-50.
3. Koshevoy N.D., Kostenko E.M. (2013). Optimal in terms of cost and time expenditures planning of the experiment: monograph. Poltava: ed. Shevchenko R.V., 317 p.
4. Koshevoy N.D., Muratov V.V. (2018). Application of the jumping frog algorithm for cost (time) cost optimization of full factorial experiment designs. Radioelectronic and computer systems, no. 4, pp. 53-61.
5. Karpenko A.P. (2012). Population algorithms for global search engine optimization. Review of new and little-known algorithms. Information Technology, no. 7, pp. 1-32.
6. Koshevoy N.D., Belyaeva A.A. (2018). Application of an optimization algorithm by a swarm of particles to minimize the cost of conducting a multivariate experiment. Radioelectronics, informatics, management, no. 1, pp.41-49. DOI 10.15588 / 1607-3274-2018-1-5.
7. Barabashchuk V.I. (1984). Planning an experiment in technology. K, Tekhnika, 200 p.
8. Koshevoy N.D., Kostenko O.M. (2010). Optimal planning of experiments when servicing workbenches with numerical software controls. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy. No. 3, Pp. 155-158.

**D.Sci. Tech., Prof. Koshevoy N.D., Pylypenko O.T.**

#### **APPLICATION OF THE BACTERIAL OPTIMIZATION METHOD TO MINIMIZE THE COST OF CONDUCTING A MULTIFACTOR EXPERIMENT**

*Experiment planning allows you to get a mathematical model in a time and resource restricted conditions. When conducting experimental research in industry, methods of optimizing production processes are used. The order of the levels' alternation of production processes' change has a strong influence on the time of the experiment. Most often, experiments are multifactorial and associated with the search for optimal conditions for the experiment, the selection of the most rational equipment. At the same time, there is an urgent need to improve the efficiency of experimental research.*

*There are many factors to consider when implementing a project. The main tasks are to use the initial data, carefully study them with a minimum amount of observations and information, study the*

*influence of individual factors and calculate the most effective procedure for performing the experiment. One of the main tasks is to obtain the maximum amount of information that is useful to us, so that when we re-examine, we can take into account the previous results and use this data to increase efficiency and reduce the time spent in subsequent experiments. One of the advantages is the versatility of the method and the possibility of applying it in a large number of research areas. The purpose of this article is to further develop the methodology of time-optimal experiment planning. Therefore, there is a need to increase the level of research efficiency with a minimum investment of time and resources. From the reasons listed above, we see that there is an urgency to automate and optimize experiments. Based on this, a bacterial optimization method was developed for matrix optimization. The analysis of known methods of synthesis of time-optimal experimental plans was carried out. The effectiveness of the bacterial method is shown in comparison with the original experimental outline, analysis of permutations and random search. Object of research: planning processes of multifactor experiments in conditions of limited time and resources. Subject of research: application of the bacterial optimization method to build a mathematical model with the optimal order of the experiment.*

*Key words: research, experimental outline, method, bacterial optimization, minimization, multivariate experiment, comparison of methods.*

## ПРОЕКТУВАННЯ БПЛА САМОЛІТНОГО ТИПУ НА БАЗІ FIRMWARE ARDUPILOT

*У роботі розглянуто побудову бюджетного (не більше 150 \$) БПЛА літакового типу, який в змозі виконувати такі польотні режими: утримання висоти і позиції, автоматичне повернення в точку зльоту по команді з пульта управління або втрати зв'язку з ним, автоматичний політ по заданій траєкторії. В ході льотних випробувань були відзначені високі аеродинамічні якості моделі літаючого крила C-1 CHASER в порівнянні з моделями, які виготовлялися з пінопласту самостійно. Так, час польоту збільшилася на ~ 25%, а швидкість на ~ 30% при однаковому польотному вазі і енергоспоживанні від акумулятора. Експериментально було встановлено можливість польоту по точкам спроектованого літака з польотним контролером APM 2.6 і firmware Arduplane з обов'язковим використанням барометра і магнітометри, аналогічно, як і для БПЛА роторного типу для виконання подібних завдань. Встановлено можливість за допомогою наземної станції Mission Planner і сервісу Google Earth Pro побудови реальної траєкторії польоту літака по лог - файлам, які формуються польотним контролером. Експериментально визначено відповідності між реальною траєкторією польоту літака і введеної в польотний контролер траєкторії за допомогою наземної станції. В ході льотних випробувань показано коректне спрацьовування режиму failsafe при пропажі зв'язку з апаратурою управління. Встановлено максимальний радіус дії апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B, який склав 1,3км при відсутності перешкод в польових умовах. Встановлено, що при відключенні режиму failsafe можливий політ крила на відстань від точки зльоту, обмежене тільки зарядом батареї (близько 40хв. зі швидкістю 40-45км/год). При аналізі реальних траєкторій польоту було встановлено, що firmware Arduplane при польоті по траєкторії забезпечує більш точне проходження польотних точок, а ділянки проходження між точками є прямолінійними, на відміну від польоту з прошивкою INAV. Помічено також плавна поведінка крила при виконанні поворотів на відміну від INAV.*

*Ключові слова: Ardupilot, GPS приймач, БПЛА, FBWA, Loiter, RTL, FBWB, Auto, Notch Filters, польотний контролер, APM 2.6, failsafe, C-1 CHASER, Mission Planner, FlySky FS-i6*

**Вступ.** В даний час становить інтерес побудова апаратів, що виконують польоти по заданій траєкторії в повністю автоматичному режимі [1,2]. Вони можуть використовуватися для дослідження місцевості, проведення рятувальних операцій, в роботі пожежних служб, військової розвідки. Особливий інтерес представляють апарати з нерухомим крилом (літаюче крило, літак) [2], які в порівнянні з квадрокоптера, гексакоптерами є більш економічними, летять на більшу відстань з більшою швидкістю при однакових ємності батареї і польотного ваги. У зв'язку з цим в роботі приділено увагу створенню і експериментальному вивченню БПЛА з нерухомим крилом (літак). Розглянутий в роботі апарат зібраний з досить поширених, бюджетних електронних компонентів (польотного контролера, датчиків), використовує безкоштовно поширювані відкриті до коректування програмні продукти і підтримує такі польотні режими [3] (в термінології прошивки Ardupilot):

1. FBWA - утримання крила по крену і тангажу з ручним газом;
2. FBWB - те саме, що і FBWA, але з утриманням висоти. Швидкість польоту може залежати від положення дросельної заслінки апаратури управління;
3. Режим RTL (повернення до точки запуску);
4. LOITER - кружляння літака з заданим радіусом (50м по умовчання) з утриманням висоти і положення;
5. Режим Auto (політ по точках), заданих на карті;



6. Режим failsafe - повернення в точку зльоту при втраті зв'язку приймача з апаратурою управління.

Аналогічне завдання було розглянуто для прошивки INAV ver.2.5 [4]. Тут використовується прошивка Ardupilot і польотний контролер на базі мікроконтролера Atmega2560. Після аналізу тестових польотів представлені висновки за результатами використання цих двох прошивок.

**Методи дослідження.** Для польоту БПЛА літакового типу, виконання зазначених польотних режимів використовуються польотний контролер APM 2.6 на базі мікроконтролера Atmega2560, об'єднаний в одній платі з гіроскопом і акселерометром; зовнішній приймач GPS і магнітометр; програмне забезпечення для мікроконтролера і комп'ютера - наземної станції. На комп'ютері встановлюється Mission Planner [5] (конфігуратор і наземна станція) для зміни параметрів прошивки польотного контролера і управління БПЛА. Прошивка контролера використовують математичні моделі: PID регулятори [6,7], фільтр Кальмана, комплементарний фільтр, динамічний Notch фільтр і т.д. [8]. Для забезпечення стійкого польоту БПЛА, виконання заданих польотних режимів виконується коригування прошивки підбором параметрів, що залежать від геометрії літака, встановленої рухової установки, датчиків, швидкісних параметрів, траєкторії польоту [6,7,10]. Метою роботи є створення бюджетного (не більше \$ 150) БПЛА літакового типу і експериментальне дослідження його можливостей на базі польотного контролера APM 2.6 і прошивки ArduPlane [9]. Метод рішення задачі - проектування БПЛА літакового типу, що забезпечує повністю автоматичний політ по заданому маршруту, настройка вільно поширюваного програмного забезпечення для БПЛА для виконання зазначених польотних режимів в результаті численних тестових випробувань.

**Основний матеріал і результати роботи.** В якості несучої частини обрана модель крила C-1 CHASER з розмахом крил 1200мм. На літаку встановлено наступне обладнання:

Мотор MT2204-2300 KV з ESC регулятором на 30А; Пропелер трилопатевий розміром 5x4.5 дюйма; GPS приймач - модуль Weitian BN-880 з магнітометром HMC5883L; Сервоприводи sg-90 - 9г - 2шт.; Бюджетна апаратура управління - FlySky FS-i6, прошита з 6-и на 10 каналів з дальністю зв'язку до 1.5км [10]; Польотний контролер - APM 2.6 на базі мікроконтролера Atmega2560 з вбудованим гіроскопом, акселерометром MPU-6000 і барометром MS5611; Акумулятор 2600мАч 3S на базі 3-х послідовно підключених літій іонних акумуляторів 18650. Для виконання відеозйомки використовується наймана друкарська відеокамера - Firefly q6.

На рис. 1 показано фото літаючого крила C-1 CHASER з відкритим відсіком для встановки електронного устаткування і мотора. Попереду розташоване місце для встановки 3-х послідовно підключених акумуляторів типорозміру 18650 напругою близько 12В. Струм безперервної роботи, що видається акумуляторами, повинен бути не менше 10 А.



Рисунок 1 – Крило, яке літає C-1 CHASER з відкритим відсіком для установки електронного устаткування

На рис. 2 показана схема підключення до польотного контролера (висновкам INPUT) приймача управління [11].

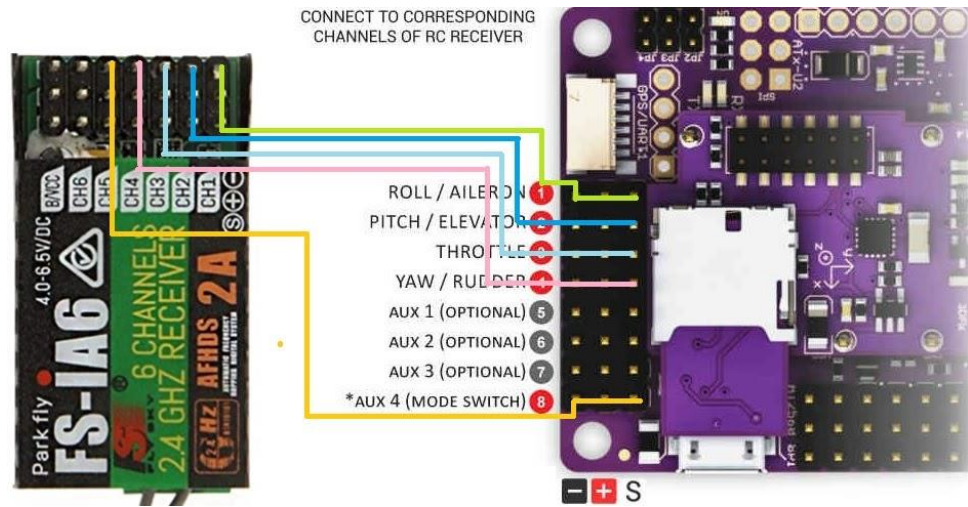


Рисунок 2 – Схема підключення приймача

Сервоприводи і мотор, якими повинен управляти польотний контролер APM 2.6, підключаються до вихідних роз'ємів, як показано на малюнку 3 [11]. Польотний контролер і сервоприводи повинні підключатися до окремих джерел +5.



Рисунок 3 – Підключення сервоприводів і мотора до польотного контролера

На рис. 4 представлена типова схема підключення GPS приймача з компасом [11] і модуля телеметрії 3dr до польотного контролера APM 2.6, яка була реалізована при побудові крила.

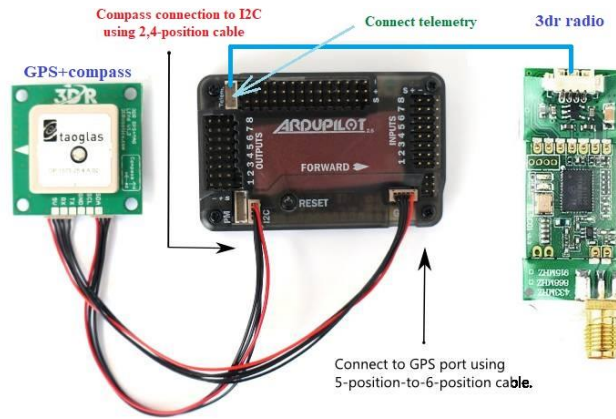


Рисунок 4 – Схема підключення GPS приймача з компасом та модуля телеметрії 3dr до польотного контролера

Установка програмного забезпечення та налаштування крила виконується за допомогою програми Mission Planner ver.1.3.30, ..., 1.3.70. Після запуску Mission Planner ver.1.3.30 виконується фізичне підключення APM 2.6 до порту USB комп'ютера. Однак програмне підключення програми Mission Planner не проводиться (рис. 5).

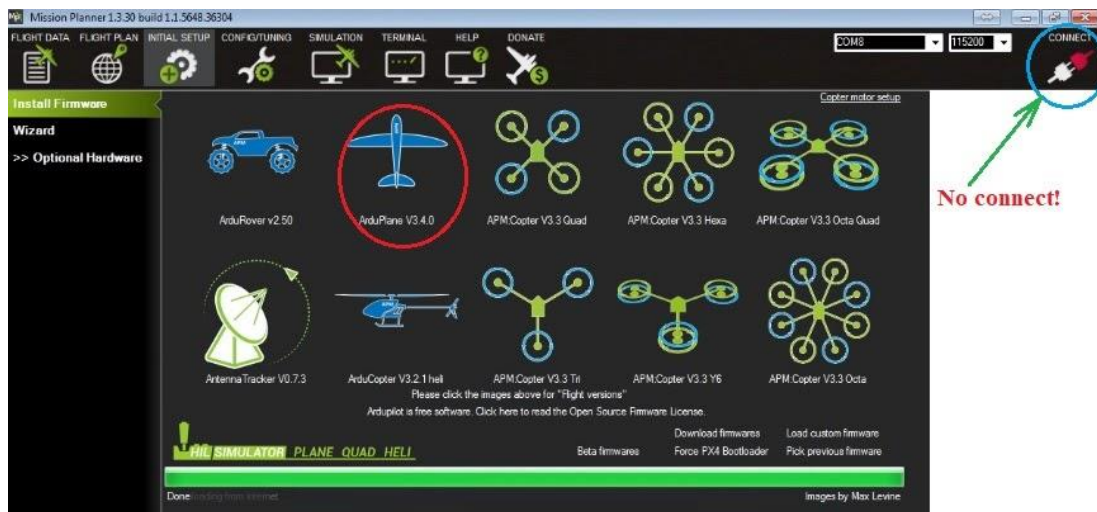


Рисунок 5 – Прошивка польотного контролера ArduPlane

Вибирається прошивка ArduPlane. Навіть якщо буде стояти остання версія ArduPlane (наприклад 4.0.6) то останньою версією прошивки є V3.4.0 для APM 2.6. Після завершення прошивки потрібно виконати підключення програми Mission Planner до прошивки контролера APM 2.6 натисканням на CONNECT в верхньому правому куті (рис. 5). При подальшій настройці прошивки (калібрування акселерометра, компаса, радіоапаратури і т.д.) підключення краще виконати через телеметрію 3dr (рис.4). У цьому випадку вибирається відповідний COM - порт і встановлюється швидкість 57400біт / с. В папці INSTALL SETUP проводиться калібрування акселерометра, компаса і апаратури управління. Калібрування виконуються відповідно до покроковою інструкцією, представленої на рис. 6.

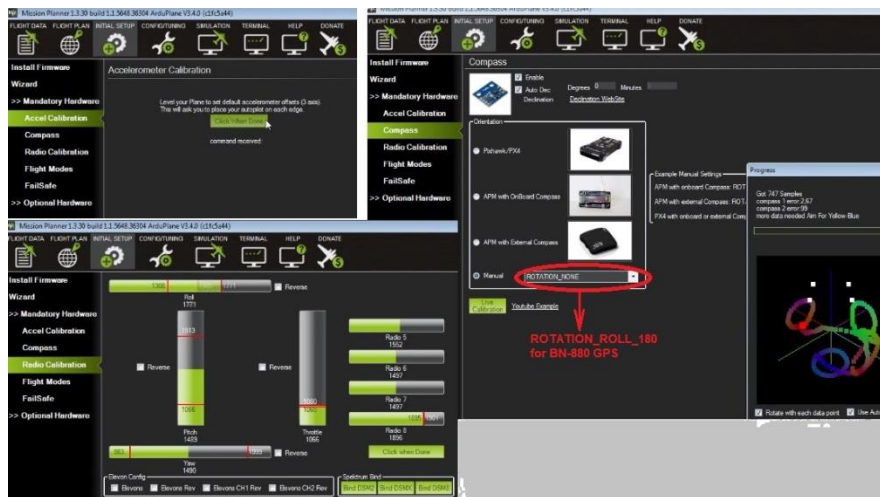


Рисунок 6 – Настройка прошивки в вкладці INSTALL SETUP

Перед калібруванням польотних режимів (Flight Modes) необхідно налаштувати апаратуру управління FlySky FS-i6. Для цього вона спочатку прошивається на 10-и каналний режим роботи [12]. Далі на пульті FlySky FS-i6 необхідно перейти у вкладки End points і Aux. channels, в яких встановлюються показання на малюнку 7 параметри для 5-го каналу. Це дозволить з використанням трипозиційного SwC і двохпозиційного SwD вимикачів працювати з 6-ма різними польотними режимами. Для правильного відхилення елевонів крила необхідно в вкладці Reverse апаратури FlySky FS-i6 зробити установки, як показано в правій частині на рис. 7.

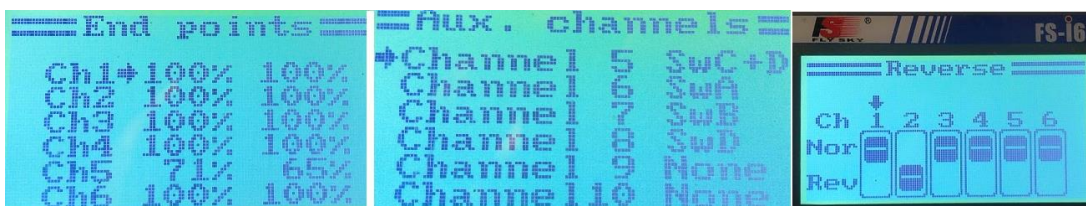


Рисунок 7 – установки

Після настройки апаратури управління (вкладка Radio Calibration) налаштовуються польотні режими, як представлено на рис. 8.



Рисунок 8 – Настройка польотних режимів

Дуже важливо правильно налаштувати Failsafe, інакше при втраті зв'язку приймача управління з пультом управління крило буде продовжувати політ за останніми збережених даних, які отримав приймач з пульта. Налаштування Failsafe виконується за мінімальним газу (рис. 9). Тобто при включеній апаратурі управління значення Throttle одно 999 імпульсів. При

обриві зв'язку з пультом це значення дорівнюватиме 900 імпульсів. Так має бути налаштований приймач [13]. На рис. 9 встановлена величина 950, менше якої буде спрацьований Failsafe. Це призведе до включення режиму RTL - повернення в точку запуску. Точка запуску визначається в точці перемикання польотного контролера в режим arming.

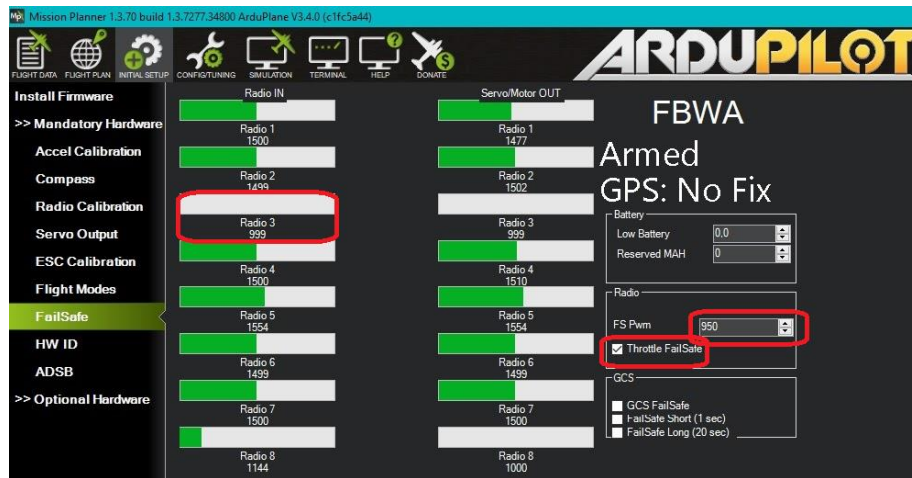


Рисунок 9 – Налаштування режиму FailSafe

Установка швидкості польоту, кутів крена та тангажа, параметрів PID регулятора виконується в вкладці CONFIG/TUNING – Basic Tuning (рис. 10)



Рисунок 10

Для установки параметрів польотного контролера, використовується вкладка, представлена на рис. 11. У роботі були встановлені наступні параметри:

ALT\_HOLD\_RTL - висота повернення в точку запуску (в сантиметрах) = 4000;

ARMING\_REQUIRE = 1. Перед зльотом потрібно arming.

ARMING\_RUDDER = 2. Для переведення в режим arming відхиляється стик дросельної заслінки вправо, а в режим disarming - вліво. Стик дросельної заслінки повинен знаходитися в нульовому значенні газу.

ARMING\_CHECK = 0. Перед зняттям з охорони (переклад в arming) контролер не виконує перевірку датчиків (барометра, магнітометри, gps і т.д.).

ELEVON\_OUTPUT = 2. Налаштування елевонів для літаючого крила. В цьому випадку за допомогою елевонів можливе управління напрямком польоту крила;

THR\_SUPP\_MAN = 1. В момент придушення газу автопілотом в режимі автоматичного польоту по траєкторії, стіком газу можна управляти;

THR\_MAX = 100. Максимальний відсоток газу в навігаційних режимах, тобто в автоматичному режимі польоту по траєкторії може бути встановлена максимальна швидкість.

Після установки параметрів їх необхідно зберегти, натиснувши на кнопку Write Params (рис. 11).

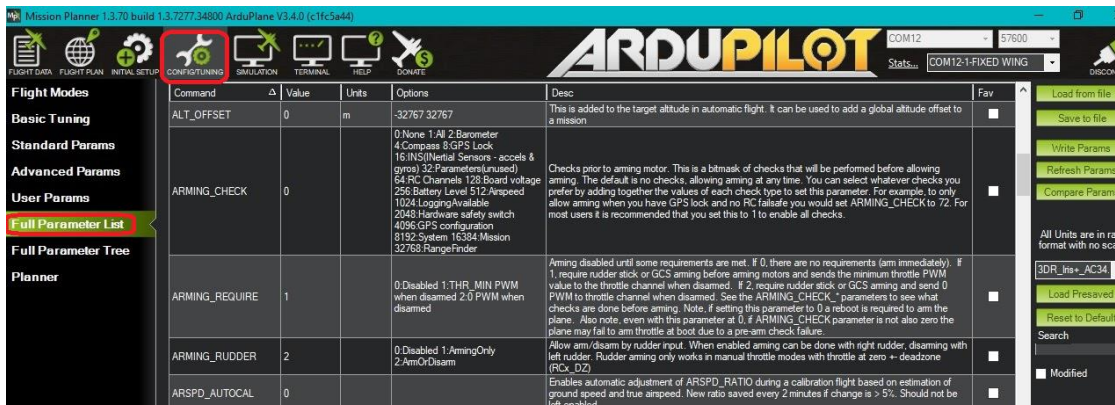


Рисунок 11 – Установка параметрів польотного контролера

Польотний контролер APM 2.6 з прошивкою ArduPlane дозволяють в вкладці FLIGHT PLAN формувати траєкторію польоту літаючого крила в автоматичному режимі. Для цього спочатку на карті встановлюється точка зльоту, далі за допомогою маніпулятора «миша» формуються шляхові точки із заданою висотою польоту (тут була встановлена висота 40м від точки зльоту). На рис.12 (зліва) представлена задана траєкторія польоту протяжністю 3,15км. Справа на рис. 12 показана траєкторія польоту, яка була отримана після польотів при аналізі лог - файлів, які формуються польотним контролером. Для цих цілей використаний пакет програм Google Earth [15]. Видно, що реальний політ складається з 3-х частин: Waypoint, Failsafe, RTL. Цей випадок польоту тут розглянуто для того, щоб продемонструвати роботу контролера не тільки на етапі виконання маршруту по подорожнім точкам, а й у разі спрацювання Failsafe, коли порушується зв'язок приймача з апаратурою управління. Цей експеримент являє, що максимальна дальність дії використовуваної тут апаратури управління FlySky FS-і6 з приймачем FS-IA6B не більше 1,3км далеко від населених пунктів.



Рисунок 12 – Демонстрація польоту крила в автоматичному режимі

Справа на рис.12 показана траєкторія польоту, яка була отримана після польотів при аналізі лог - файлів, які формуються польотним контролером. Для цих цілей використаний пакет програм Google Earth [15]. Видно, що реальний політ складається з 3-х частин: Waypoint, Failsafe, RTL. Цей випадок польоту тут розглянуто для того, щоб продемонструвати роботу контролера не тільки на етапі виконання маршруту по подорожнім точкам, а й у разі спрацювання Failsafe, коли порушується зв'язок приймача з апаратурою управління. Цей експеримент являє, що максимальна дальність дії використовуваної тут апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B не більше 1,3км далеко від населених пунктів.

Для виконання розвідувальних польотів на великі відстані з використанням друкерської камери (Firefly q6), зазвичай відключається режим failsafe з встановленим автоматичним режимом по введеної траєкторії. Важливо, щоб в цьому режимі було передбачено повернення в точку старту, інакше крило буде втрачено.

### **Висновки**

1. Побудовано бюджетний (не більше 150 \$) БПЛА літакового типу, який в змозі виконувати такі польотні режими: утримання висоти і позиції, автоматичне повернення в точку зльоту по команді з пульта управління або втрати зв'язку з ним, автоматичний політ по заданій траєкторії.

2. В ході експериментів були відзначені високі аеродинамічні якості моделі літаючого крила C-1 CHASER в порівнянні з моделями, які виготовлялися з пінопласту самостійно. Так, час польоту збільшилася на ~ 25%, а швидкість на ~ 30% при однаковому польотному вазі і енергоспоживанні від акумулятора.

3. Експериментально встановлено можливість польоту по точкам спроектованого літака з польотним контролером APM 2.6 і firmware Arduplane з обов'язковим використанням барометра і магнітометри, аналогічно, як і для БПЛА роторного типу для виконання подібних завдань. Для прошивки INAV при виконанні польоту по траєкторії не обов'язково використання барометра і магнітометри.

4. Встановлено можливість за допомогою наземної станції Mission Planner і сервісу Google Earth Pro побудови реальної траєкторії польоту літака по лог-файлам, які формуються польотним контролером.

5. Експериментально визначено відповідності між реальною траєкторією польоту літака і введеної в польотний контролер траєкторії за допомогою наземної станції. Показано коректне спрацювання режиму failsafe при пропажі зв'язку з апаратурою управління.

6. Встановлено максимальний радіус дії апаратури управління FlySky FS-i6 з приймачем FS-IA6B, який дорівнює 1,3км при відсутності перешкод в польових умовах. Встановлено, що при відключенні режиму failsafe можливий політ крила на відстань від точки зльоту, обмежене тільки зарядом батареї (близько 40хв. Зі швидкістю 40-45км / год).

7. При аналізі реальних траєкторій польоту було встановлено, що firmware Arduplane при польоті по траєкторії забезпечує більш точне проходження польотних точок, а ділянки проходження між точками є прямолінійними, на відміну від польоту з прошивкою INAV. Помічено також плавне поведінка крила при виконанні поворотів на відміну від INAV.

### **ЛІТЕРАТУРА:**

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

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

3. Flight Modes. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>

4. The Basics of Getting iNav Working on an Airplane. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki/Fixed-wing-guide>

5. Mission Planner Advanced Installation. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-advanced-installation.html>

6. Мясіщев О.А. Особливості реалізації прошивки inav на польотному контролері omnibusf4v3 для бпла роторного типу. Технічні науки. Хмельницький: ХНУ, 2020. №2. с. 126-134.
7. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Yurii Husak, Ivan Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. ISSN 2278-3091. Volume 9, No.3, pp. 3506-3513, May - June 2020.  
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/156932020>
8. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>
9. APM 2.5 and 2.6 Overview. ). [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms25-and-26-overview.html>
10. Мясіщев А.А., Ленков С.В., Зінчик А.Г., Пампуха І.В., Ряба Л.О. Проектування багатофункціонального БПЛА роторного типу на базі прошивки Ardupilot. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. - К.: ВІКНУ, 2021.-Вип №70. с. 49-59.
11. APM2.x Wiring QuickStart. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/plane/docs/archived-arms2x-wiring-quickstart.html?highlight=elevon>
12. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - 2017.- Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->
13. Быстрая настройка Failsafe для APM с Flysky-i6 Setup arducopter failsafe. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=aZ1A5rAK0uo&t=127s>
14. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Larysa Komarova, Nataliia Lytvynenko, Oleg Mirosnichenko. Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. ISSN 2347 - 3983. Volume 8. No.9,September 2020, pp. 6145-6150.
15. Google Earth. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

#### REFERENCES:

1. Bojko A. Oblasti primeneniya bespilotnikov. [Electronic resource]. – 2017. – Mode of access: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov>
2. Modernizovaniy bezpilotnik Spectator vid VAT "Meridian" im. S.P Korolova". [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=HvLErmgBRX4&feature=emb_logo)
3. Flight Modes. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/flight-modes.html>
4. The Basics of Getting iNav Working on an Airplane. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: <https://github.com/iNavFlight/inav/wiki/Fixed-wing-guide>
5. Mission Planner Advanced Installation. [Electronic resource]. - 2021. - Mode of access: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-advanced-installation.html>
6. Myasishev O.A. Osoblivosti realizaciyi proshivki inav na polotnomu kontroleri omnibusf4v3 dlya bpla rotornogo tipu. Tehnichni nauki. -Hmelnickij: HNU, 2020. - №2.-s. 126-134.
7. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Yurii Husak, Ivan Starynski. Use of rescue mode for UAV on the basis of STM32 microcontrollers. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. ISSN 2278-3091. Volume 9, No.3, pp. 3506-3513, May - June 2020.  
<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/156932020>
8. Extended Kalman Filter (EKF). [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>
9. APM 2.5 and 2.6 Overview.). [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/copter/docs/common-arms25-and-26-overview.html>
10. Myasishev A.A., Lyenkov S.V., Zinchik A.G., Pampuha I.V., Ryaba L.O. Proektuvannya bagatofunkcionalnogo BPLA rotornogo tipu na bazi proshivki Ardupilot. Zvirnik naukovih prac Vijskovogo institutu Kiyivskogo nacionalnogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. - K.: VIKNU, 2021.-Vip №70. s. 49-59
11. APM2.x Wiring QuickStart. [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://ardupilot.org/plane/docs/archived-arms2x-wiring-quickstart.html?highlight=elevon>
12. FlySky-i6-Mod-10ch. [Electronic resource]. - 2017.- Mode of access: <https://github.com/benb0jangles/FlySky-i6-Mod->



13. Bystraya nastrojka Failsafe dlya APM c Flysky-i6 Setup arducopter failsafe. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=aZ1A5rAK0uo&t=127s>
14. Serhii Lienkov, Alexander Myasishev, Oksana Banzak, Larysa Komarova, Nataliia Lytvynenko, Oleg Miroschnichenko. Construction of an Aircraft-Type UAV for Flight Along a Given Trajectory in the Automatic Mode. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. ISSN 2347 - 3983. Volume 8. No.9, September 2020, pp. 6145-6150.
15. Google Earth. [Electronic resource]. - 2020. - Mode of access: [https://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)

**D.Sci. Tech., prof. Myasishchev A.A.,**

**D.Sci. Tech. Econ., prof. Ovcharuk V.V., PhD Lenkov E.S.**

### **DESIGN OF AIRCRAFT UAV BASED ON FIRMWARE ARDUPILOT**

*The paper considers the construction of a budget (no more than \$ 150) aircraft-type UAV, which is able to perform the following flight modes: holding altitude and position, automatic return to the take-off point on command from the control panel or loss of communication with it, automatic flight along a given trajectory. During flight tests, the high aerodynamic qualities of the C-1 CHASER flying wing model were noted compared to models that were made from foam on their own. So, the flight time increased by ~ 25%, the speed by ~ 30% with the same flight weight and power consumption from the battery. It was experimentally established that it is possible to fly along the points of a designed aircraft with an APM 2.6 flight controller and Arduplane firmware with the obligatory use of a barometer and a magnetometer, in the same way as for a rotor-type UAV for performing similar tasks. The possibility was established using the Mission Planner ground station and the Google Earth Pro service to construct a real flight path of an aircraft using log files generated by the flight controller. The correspondence between the real flight trajectory of the aircraft and the trajectory entered into the flight controller using a ground station was experimentally determined. During flight tests, the correct operation of the failsafe mode was shown in the event of a loss of communication with the control equipment. The maximum operating range of the FlySky FS-i6 control equipment with the FS-IA6B receiver was set, which was 1.3 km in the absence of interference in the field. It was found that when the failsafe mode is disabled, the wing can fly to a distance from the take-off point, limited only by the battery charge (about 40 minutes at a speed of 40-45 km / h). When analyzing real flight trajectories, it was found that the firmware of the Arduplane, when flying along the trajectory, provides a more accurate passage of flight points, and the sections of passage between the points are straightforward, in contrast to the flight with the INAV firmware. We also noticed a smoother behavior of the wing when making turns, in contrast to the INAV.*

**Keywords:** Ardupilot, GPS receiver, UAV, FBWA, Loiter, RTL, FBWB, Auto, Notch Filters, flight controller, APM 2.6, failsafe, C-1 CHASER, Mission Planner, FlySky FS-i6

### ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ НЕЛЕГІТИМНОГО КОРЕСПОНДЕНТА ДРУГОГО РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ

*В роботі запропонована імовірнісна модель виявлення нелегітимного кореспондента другого рівня на основі алгоритму Діффі-Хелмана. Вирішує наступні задачі: надає можливість виявити активного нелегітимного кореспондента, який використовує програмне забезпечення синтезу голосу; визначити активного нелегітимного кореспондента ІР - протоколів в каналах зв'язку Інтернет-телефонії при відсутності попередньо розподіленої секретної ключової інформації між кореспондентами, довіреного центру. Модель нелегітимного кореспондента може використовуватися при оцінці методів контролю рівня захищеності потоку даних з пакетною комутацією в Інтернет-телефонії, що надасть можливість забезпечення надійності ІР-телефонії та підвищення захищеності.*

*Запропонована модель нелегітимного кореспондента буде враховувати рівень можливостей зловмисників. Модель нелегітимного кореспондента другого рівня враховує нелегітимних кореспондентів які не мають відповідного рівня доступу до сервісів безпечної ІР-телефонії. До нелегітимних кореспондентів можуть в даному випадку бути віднесені: сторонні особи; особи іноземних держав; представники іноземних розвідувальних служб; терористичні і кримінальні структури. Визначені цілі нелегітимних абонентів другого рівня при проведенні активної атаки з метою отримання несанкціонованого доступу до потоку даних ІР - телефонії: захоплення обладнання оператора; захоплення монітору абонента. Кінцевою метою кожної активної атаки є отримання несанкціонованого доступу до потоку даних ІР - телефонії. Результати проведеного аналізу та дослідження надають можливість вказати, що найбільш відомі ІР-протоколи розподілу загальної секретної інформації необхідно вдосконалювати в двох напрямках: підвищення інформаційної безпеки ІР - телефонії та покращення основних показників ІР-протоколів Інтернет мереж.*

*Одним з методів забезпечення підвищення безпеки ІР протоколу формування загальної секретної інформації є відслідкування і заборона виконання атаки типу «зустріч по середині» за рахунок використання в Інтернет мережах ІР - телефонії декількох паралельних незалежних каналів сеансів зв'язку.*

*Ключові слова: імовірнісна модель, нелегітимний кореспондент, інформаційна взаємодія, інтернет-телефонія, криптографічний захист, канали зв'язку.*

**Вступ.** Забезпечення підвищення ефективності та безпеки всіх галузей на сьогодні є однією з ключових проблем, тому актуальним сьогодні є необхідність впровадження і розвитку сучасних інформаційних технологій. Поширення ІР-телефонії через Internet мережі поставило під загрозу прибутки операторів телефонних мереж. Проте, оператори AT&T, British Telecommunications, Deutsche Telekom, починають надавати послуги Internet-телефонії. Аналогічні послуги передачі голосу через Internet мережі надають компанії WorldPort, Lucent, ITXC та інші. Найперспективнішими ринками передачі голосу через ІР-мережі для ІР-телефонії вважаються Австралія, США та Японія.

Поширенню ІР-телефонії в Україні перешкоджає декілька факторів: недостатньо надійна інфраструктура Internet мереж каналів зв'язку; організації, які забезпечують телефонні мережі послугами зв'язку, не зацікавлені в розвитку ІР-телефонії. Великі корпоративні компанії

найбільш інтенсивно використовують IP-телефонію на основі локальних мереж. Лише кілька провайдерів надають послуги IP-телефонії - Infocom, IP Telecom, Sovam Teleport.

Перевагою Internet-телефонії є низька вартість міжміських і міжнародних переговорів, дозволяє зменшити витрати на послуги передачі факсів і мультимедіа зв'язку, за рахунок шифрування і стиснення голосового потоку. Internet-телефонія не використовує дороге устаткування на шляху передачі інформації пакетів з голосовим сигналом.

Розвиток нових IP-протоколів Internet мереж, а також передача потоку пакетних даних у вигляді голосових пакетів у відкритому виді через публічні мережі призвели до необхідності стандартизації IP-протоколів Internet мереж, а також криптографічного захисту даних для забезпечення безпечної Internet-телефонії. В результаті проведених заходів IP-протоколи Internet мереж розділені, в відповідності до вирішуваних задач, на три групи: протоколи забезпечення захищеності і сигналізації, криптографічний захист пакетного потоку даних (медіа трафіку) і програмний розподіл ключів сучасними криптографічними алгоритмами генерації загальних ключів для медіа трафіка.

Стандартизація протоколів, а також масове використання персональних комп'ютерів операторами IP-телефонії в якості терміналів, призвели до розробки спеціалізованого програмного забезпечення для IP-телефонії, а також доступного програмного забезпечення (з відкритим кодом), що дало поштовх розширювати можливості IP-телефонії і використовувати криптографічні алгоритми та алгоритми розподілу ключів для забезпечення надійності в Інтернет-телефонії.

Поширенню IP-телефонії послужили: застосуванням недорогих Internet мереж, в порівнянні з телефонними аналоговими мережами, з комутацією IPv4(6)-пакетів, а також мобільність і універсальність, що дозволяє перетворити голосовий потік в зашифровані і стисненні дані в будь-якій точці інфраструктури Internet мережі.

**Постановка задачі.** Для розподілу секретної інформації між кореспондентами IP – телефонії на даному етапі використовуються алгоритми асиметричного шифрування. До переваг використання алгоритмів асиметричного шифрування можна віднести розподіл секретної інформації між кореспондентами IP – телефонії. Недоліком є те що вони досить повільні, мають відносно велику довжину ключа, є не придатними для шифрування великих об'ємів інформації. Область їх застосування - розподіл секретної інформації між кореспондентами IP – телефонії, формування цифрового підпису.

Запропонований У.Діффі і М.Хеллманом принципово новий підхід організації секретного зв'язку, шифрування з відкритим ключем, без попереднього обміну ключами. Для шифрування і дешифрування потоку даних використовуються різні ключі, при цьому доступ до одного ключа не надає практичної гарантії обчислити інший. Таким чином ключ шифрування в даній схемі може бути відкритим, при цьому без втрати стійкості зашифрованого повідомлення, ключ дешифрування одержувачем повинен триматися в секреті. Криптосистема запропонована У. Діффі і М. Хеллманом забезпечує обмін секретною інформацією по Інтернет мережам по відкритим лініям зв'язку для абонентів, які використовують не захищені канали зв'язку (рис.1).

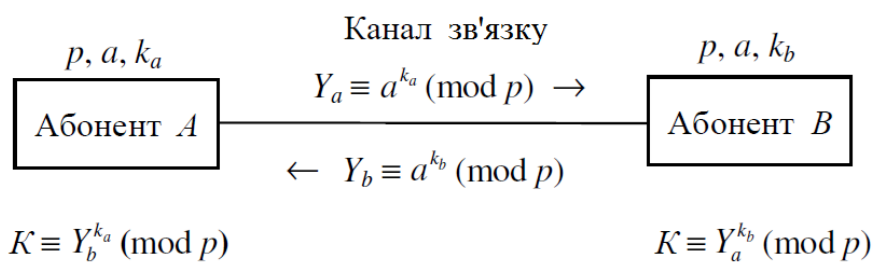


Рисунок 1 – Модель криптосистеми обміну ключами Діффі-Хеллмана

Проведений аналіз наукових досліджень технологій IP-телефонії в областях криптографічного захисту передачі інформації, забезпечення якості потоку даних з пакетною

комутацією, надання якісних послуг IP-телефонії, архівація відео і голосової інформації, показав що на сьогодні питання безпечної Інтернет-телефонії є відкритим для сценарію точка-точка, у випадку не вироблення заздалегідь загального секретного ключа для операторів. Також залишаються відкритими питання як впливають IPv4(6)- протоколи на виконання норм встановлених під час експлуатації безпечної IP-телефонії, в роботах мало уваги приділено імовірнісно-часовим характеристикам (ІЧХ) Інтернет протоколів забезпечення безпечної технології IP-телефонії. До загального недоліку розглянутих робіт слід віднести що в них, не описується така поширена атака на протоколи програмного розподілу ключів, як "зустріч посередині", тому виникає необхідність в розробці моделі нелегітимного кореспондента, яка буде враховувати атаку "зустріч посередині".

**Основна частина.** При розробці уточненої моделі нелегітимного кореспондента більш доцільно розглядати зловмисників з точки зору рівня їх можливостей, а також наявності прав несанкціонованого доступу до інформації, одноразового чи постійного. Модель нелегітимного кореспондента буде враховувати рівень можливостей зловмисників. До першого рівня віднесемо нелегітимних операторів які мають відповідний рівень доступу до сервісів безпечної IP-телефонії [1]. До другого рівня віднесемо нелегітимних кореспондентів які не мають відповідного рівня доступу до сервісів безпечної IP - телефонії.

Нелегітимними кореспондентами (перший рівень) в даному випадку можуть виступати: працівники даної організації; розробники програмного забезпечення або постачальники технічних засобів, працівники які забезпечують удосконалення, супровід, ремонт засобів на об'єкті, на якому необхідний захист інформаційних ресурсів [1].

Модель нелегітимного кореспондента другого рівня безпечної IP-телефонії буде враховувати рівень можливостей зловмисників, до другого рівня віднесемо нелегітимних кореспондентів які не мають відповідного рівня доступу до сервісів безпечної IP-телефонії. До нелегітимних кореспондентів (другий рівень) можуть, в даному випадку, бути віднесені: сторонні особи; особи іноземних держав; представники іноземних розвідувальних служб; терористичні і кримінальні структури.

Визначимо цілі нелегітимних кореспондентів другого рівня при проведенні активної атаки з метою отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP-телефонії: Ц<sub>ЗАХОБЛ\_2</sub> - захоплення обладнання оператора нелегітимним кореспондентом другого рівня; Ц<sub>ЗАХМОН\_2</sub> - захоплення монітору абонента нелегітимним кореспондентом другого рівня. Кінцевою метою кожної активної атаки є отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP-телефонії. На основі проведеного аналізу алгоритмів поведінки нелегітимних кореспондентів розробимо модель другого рівня по кожній з перерахованих цілей.

Розглянемо модель нелегітимного кореспондента другого рівня, задачею якого є проведення активної атаки з метою отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP-телефонії, результатом успішної активної атаки – захоплення обладнання оператора.

Алгоритм дій нелегітимного кореспондента другого рівня наведено на рис. 2. Для виконання початку атаки, нелегітимний кореспондент другого рівня повинен визначитися на який сервіс IP-телефонії буде здійснювати активну атаку. Одним із можливих варіантів - отримання необхідної інформації, використання команди `tracert`, результатом виконання команди є проміжні вузли між нелегітимним кореспондентом і об'єктом атаки. Таким чином, з великою ймовірністю, можна вказати що ці вузли будуть задіяні в сеансі обміну пакетами даних між двома абонентами.

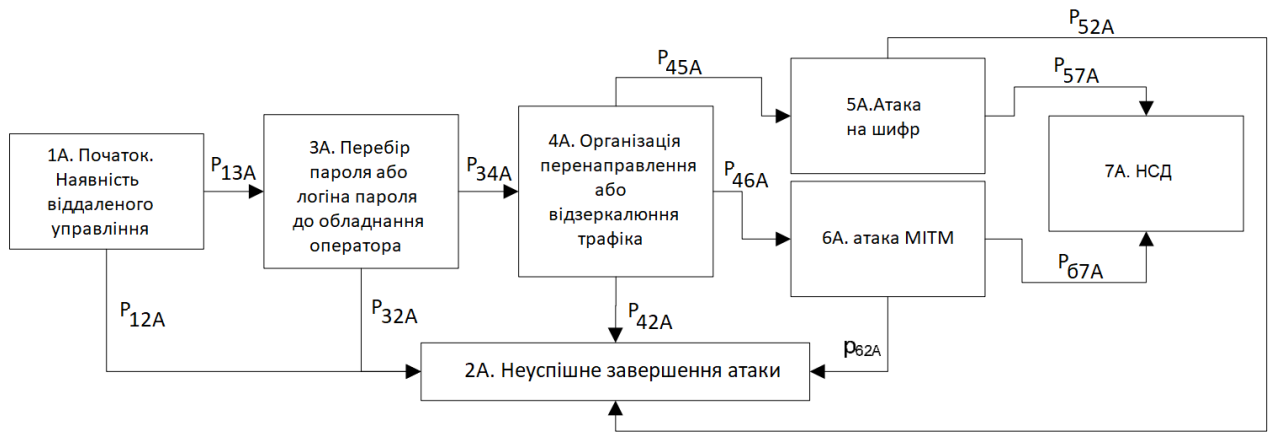


Рисунок 2 - Алгоритм дій при виконанні захоплення обладнання оператора нелегітимним кореспондентом другого рівня

Після вибору сервіса IP-телефонії – атаки, нелегітимним кореспондентом буде спроба захопити управління даним сервісом IP-телефонії, виконуючи при цьому, активну атаку наприклад, перебір пароля. Однак механізмами і сервісами IP-телефонії - віддалене управління технічно може бути заборонено для нелегітимного кореспондента з використанням списків доступу ACL. Імовірності:  $P_{12}$  - ймовірність проведення активної атаки при наявності віддаленого відключення до сервісів IP-телефонії з боку нелегітимного кореспондента, або у оператора встановлені ACL;  $P_{13}$  - ймовірність проведення активної атаки при наявності віддаленого підключення до сервісів IP – телефонії, подія, зворотна  $P_{12}$ .

Нелегітимний кореспондент вибирає доступний протокол для проведення активної атаки (telnet, ssh, SNMP, http / https) віддаленого управління сервісами IP – телефонії, об'єкт на який виконується атака типу «перебір пароля». Імовірність успішного завершення атаки типу «перебір пароля» за відведений час визначається наступним чином:

$$P_{34_{\text{ЗАХОБЛ}_2}} = f(l, t, d, c), \quad (1)$$

де  $l$  - довжина логіна/пароля;  $t$  - відведений час, протягом якого буде успішне завершення атаки, виконати перебір;  $d$  - додаткові механізми та засоби обмеження IP - протоколу, що унеможливають виконання атаки типу «перебір пароля» за відведений час, а також відповідні програмно-апаратні та технічні можливості нелегітимного кореспондента;  $c$  - швидкість каналу зв'язку Інтернет мережі IP - телефонії, під час виконання атаки.

Імовірності:  $P_{34_{\text{ЗАХОБЛ}_2}}$  - ймовірність успішного завершення активної атаки типу «перебір пароля» нелегітимним кореспондентом, зловмисник має доступ до обладнання оператора IP - телефонії;  $P_{32}$  - ймовірність неуспішного завершення активної атаки типу «перебір пароля» нелегітимного кореспондента, за відведений час.

У разі успішного захоплення нелегітимним кореспондентом віддаленого управління сервісами IP – телефонії, зловмисник може отримати несанкціонований доступ до потоку даних IP – телефонії використовуючи при цьому один з двох наступних шляхів: може виконати перебір пароля до переданого по Інтернет мережі медіа трафіка і виконувати прослуховування потоку даних IP - технології, або виконати атаку на механізм програмного розподілу загальної секретної інформації і при цьому виконувати дешифрування трафіка з використанням отриманої секретної інформації. Однак, успішне виконання розглянутих атак нелегітимним кореспондентом може не привести до досягнення цілі поставленої мети зловмисника несанкціонованого доступу до потоку даних, якщо при цьому не існує можливості виконати атаку типу «зустріч по середині» на медіа трафік, при цьому створивши та розмістивши відповідні правила на обладнанні оператора IP-телефонії, які дозволять нелегітимному абоненту пропускати трафік кореспондента через своє обладнання.

Імовірність успішної атаки нелегітимним кореспондентом на медіа трафік з метою отримання НСД до потоку даних можна визначити за наступною формулою:

$$1 - p_{42_{\text{ЗАХОБЛ}_2}} = \begin{cases} 1, \text{ якщо існує технічна можливість на обладнанні оператора} \\ \text{створити правило для перенаправлення трафіку користувача} \\ \text{в сторону зломисника для виконання цілей "проксінг" MITM} \\ 0, \text{ якщо не існує такої технічної можливості} \end{cases}$$

Під активною атакою нелегітимним кореспондентом, мається на увазі, зміна маршруту потоку даних передачі пакетів мультимедійних файлів, що дозволять нелегітимному абоненту пропускати трафік кореспондента через своє обладнання.

При цьому ймовірності відображають:  $p_{45}$  - ймовірність, що нелегітимний кореспондент почав виконувати підбір пароля до переданого по Інтернет мережі медіа трафіка;  $p_{46}$  - ймовірність, що нелегітимний кореспондент почав виконувати атаку на механізм програмного розподілу загальної секретної інформації на IP - телефонію. Імовірність  $p_{57}$  - означає успішну атаку нелегітимного кореспондента на підбір пароля до переданого по Інтернет мережі медіа трафіка. В даному випадку нелегітимному кореспонденту стає доступно виконувати прослуховування потоку даних IP - технології, або виконати атаку на механізм програмного розподілу загальної секретної інформації і при цьому виконувати дешифрування трафіка з використанням отриманої секретної інформації. Імовірність  $p_{52}$  відображає неуспішне закінчення атаки нелегітимного кореспондента на підбір пароля до переданого по Інтернет мережі медіа трафіка по підбору пароля за обмежений час.  $T_{\text{ЗЛВ\_АКТ}}$  - час протягом якого дані актуальні – залежить від призначення даних.  $T_{\text{ЗЛВ\_ПРЛ}}$  - час, необхідний на підбір пароля, залежить від рівня технічних потужностей нелегітимного кореспондента -  $\text{ЗЛВ}_{\text{ПТ}}$ , які застосовуються для захисту мультимедійних файлів криптографічних примітивів і криптоалгоритмів -  $\text{ЗЛВ}_{\text{КР}}$ , довжини ключа -  $\text{ЗЛВ}_{\text{L}}$ , а також від ускладнюючих елементів -  $\text{ЗЛВ}_{\text{Д}}$ .

$$p_{57} = f(T_{\text{ЗЛВ\_АКТ}}, T_{\text{ЗЛВ\_ПРЛ}}) = f(T_{\text{ЗЛВ\_АКТ}}, \text{ЗЛВ}_{\text{ПТ}}, \text{ЗЛВ}_{\text{КР}}, \text{ЗЛВ}_{\text{L}}, \text{ЗЛВ}_{\text{Д}}) \quad (2)$$

$$p_{52} = 1 - p_{57} \quad (3)$$

Імовірність  $p_{67}$  визначає успішну атаку на механізм програмного розподілу загальної секретної інформації і при цьому виконувати дешифрування трафіка з використанням отриманої секретної інформації на механізм розподілу ключів. Під атакою в даній ситуації будемо розуміти вторгнення нелегітимного кореспондента в канал зв'язку потоку даних IP-телефонії в момент обміну секретною інформацією між абонентами сесії IP - телефонії. Таким чином, це дозволить нелегітимному кореспонденту виробити два секретних ключа – для обміну інформацією з кожним кореспондентом незалежно один від одного. Тим самим, під час сеансу двох кореспондентів нелегітимний абонент виконує шифрування і дешифрування потоку даних мультимедійних файлів IP-телефонії з використанням власної секретної інформації. Імовірність успішної атаки залежить від рівня потужностей використовуваних нелегітимним кореспондентом програмно-апаратних та технічних засобів для проведення атаки типу «зустріч по середині» на IP-протокол розподілу секретної інформації між абонентами сесії IP - телефонії.

Необхідно також врахувати, що для проведення активної атаки нелегітимним кореспондентом необхідна розробка відповідного програмного забезпечення. Імовірність  $p_{62}$  відображає неуспішне виконання активної атаки типу «зустріч по середині» нелегітимним кореспондентом і визначається як:

$$p_{62} = 1 - p_{67} \quad (4)$$

Для проведення дослідження та аналізу алгоритму поведінки дій нелегітимного кореспондента при виконанні активної атаки типу «зустріч по середині» використовується відповідний математичний апарат теорії імовірнісних графів, дозволяє оцінити даний алгоритм та визначити середній час необхідний для успішного виконання і ймовірність успішного завершення проведеної атаки. На рис. 3 представлений імовірнісний граф який описує алгоритм поведінки дій нелегітимного кореспондента при виконанні активної атаки типу «зустріч по середині». Імовірнісний граф використовується в даному випадку для отримання утворюючої функції, для вирішення задачі переходу системи з початкового стану в кінцевий. Кожній гілці імовірнісного графа відповідає утворююча функція. У наведеному імовірнісному графі виділена гілка, яка відповідає успішному виконанню атаки метою якої є отримання НСД до потоку даних IP - телефонії і складена утворююча функція  $H(x)$  цієї гілки. Для імовірнісного графа показано на рис. 3 представлені  $P_{НСД} = H(x=1)$ :

$$P_{НСД} = p_{13}p_{34}(p_{45}p_{57} + p_{46}p_{67}), \quad (5)$$

де  $P_{ij}$  - ймовірність переходу з вершини  $i$  графа в вершину  $j$ .

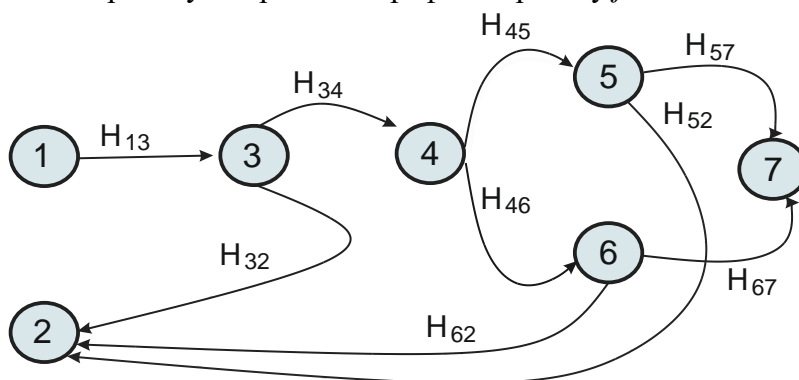


Рисунок 3 - Імовірнісний граф дій при виконанні захоплення обладнання оператора нелегітимним кореспондентом другого рівня

Розглянемо модель нелегітимного кореспондента, вирішенням задачі якого є отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP – телефонії, задача вирішується виконанням активної атаки, ціллю якої є захоплення монітора кореспондента.

Алгоритм дій нелегітимного кореспондента наведено на рис. 4. На основі отриманих результатів, можливих дій нелегітимним кореспондентом, більш детально розглянуті атаки які може виконати зловмисник, в залежності від доступу до шлюзу чи персонального комп'ютера кореспондента. При доступу до шлюзу нелегітимного кореспондента найбільш вірогідною є проведення активної атаки з проксінга всього трафіка з використанням обладнання зловмисником. Атака виконується за схемою, представленою на рис. 4, на схемі показані IP1, IP2 - шлюзи кореспондента, а  $S_H$  - сервер нелегітимного кореспондента з встановленим на ньому спеціалізованого програмного забезпечення.

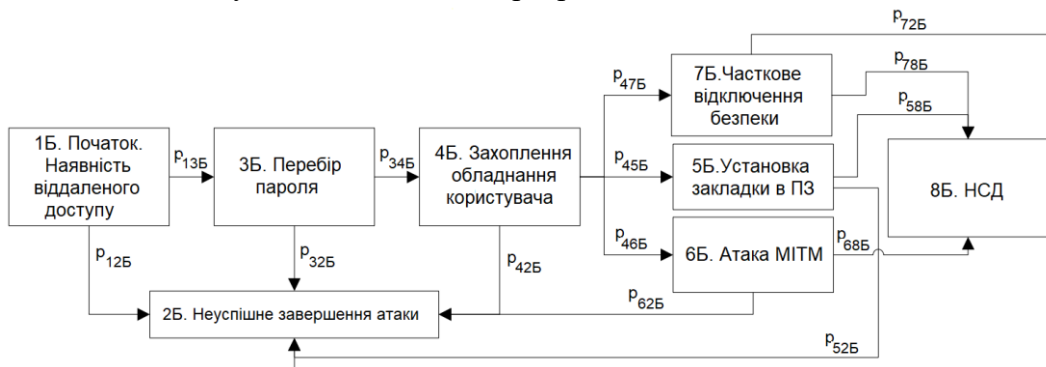


Рисунок 4 - Алгоритм дій при виконанні захоплення монітора кореспондента нелегітимним кореспондентом другого рівня

Для успішного проведення даної атаки нелегітимному абоненту необхідно отримати в першу чергу доступ до монітора кореспондента, захопити управління VoIP монітором і встановити відповідне спеціалізоване програмне забезпечення та виконати дії по його налаштуванню. Наприклад, якщо у кореспондента на VoIP моніторі, в режимі точка-точка, в відповідному запису в телефонній книжці шлюзу зберігаються IP-адреса IP – телефонії, то нелегітимний кореспондент в стані підмінити IP - адресу на VoIP моніторі кореспондента *B* в записнику на VoIP моніторі кореспондента *A* на свою - IP-адресу, в результаті виконаних дій дзвінки з телефону кореспондента *A* будуть приходити на сервер нелегітимного кореспондента -  $S_H$ . Таким чином в даній ситуації - сервер нелегітимного кореспондента буде виконувати взаємозв'язок через IP - протоколи IP – телефонії між власним сервером і кореспондентом *B* від імені іншого абонента мережі IP- телефонії - кореспондента *A*. IP-протоколи безпеки Інтернет мережі також будуть виконуватися IP – технологією між кореспондентами *B* і сервером нелегітимного кореспондента. В результаті виконаних дій нелегітимний кореспондент отримує доступ до всього потоку даних (інформації), яка буде передаватися між кореспондентами *A* і *B*, у відкритому доступі і при необхідності може модифікуватися нелегітимним кореспондентом а також прослуховуватися. Перенаправлення потоку даних IP- телефонії від кореспондента *A* на сервер нелегітимного кореспондента  $S_H$  можна здійснювати не тільки за рахунок підміни IP - адреси на VoIP моніторі, а також і за рахунок зміни налаштувань на шлюзі кореспондента *A*, встановивши адресу сервера нелегітимного кореспондента  $S_H$  в якості проксі-сервера або в якості основного сервера Інтернет мережі IP-телефонії.

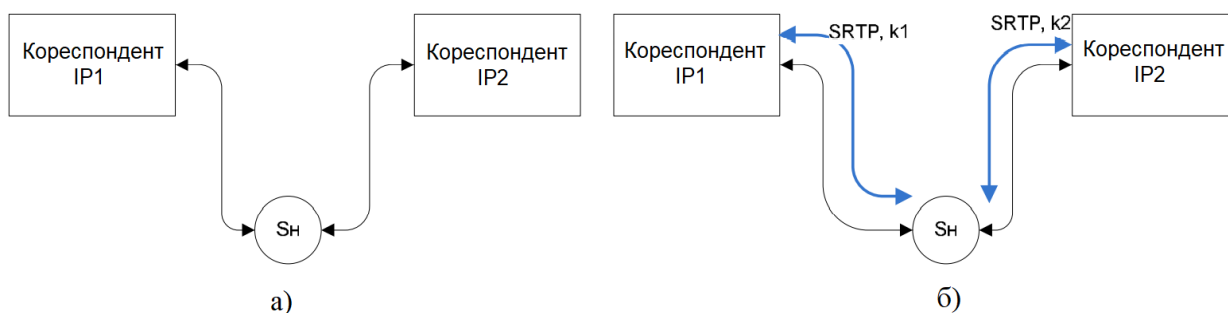


Рисунок 5 - Атака з проксінг при виконанні захоплення монітора  
 а) виконання розподілу загальної секретної інформації,  
 б) встановлений захищений канал голосової інформації

При використанні VoIP монітора нелегітимним кореспондентом на якому встановлений програмний шлюз IP-телефонії найбільш вірогідним здійсненням активної атаки є: атака з проксінг всього потоку даних медіа трафіка кореспондентів через сервер нелегітимного абонента  $S_H$ , або впровадження програми-хакера на VoIP монітор.

Суть атаки з впровадженням програми-хакера полягає в можливості установки на VoIP моніторі кореспондента спеціалізованого програмного забезпечення, задача якого передавати голосову інформацію у відкритому вигляді з VoIP монітор кореспондента або передавати весь потік даних як вихідних так і вхідних пакетів з мережевого інтерфейсу IP-телефонії VoIP монітора кореспондента на сервер нелегітимного кореспондента  $S_H$  для подальшої відповідної обробки. Окрім цього, для доступу до потоку голосової інформації, яка передається на сервер нелегітимного кореспондента  $S_H$ , зловмиснику необхідно також вимкнути на VoIP моніторі кореспондента *A* IP-протоколи безпеки IP-телефонії, або, переналаштувати режим роботи протокола IP-телефонії SRTP, відключити опцію шифрування переданої голосової інформації. IP-телефони і шлюзи захищеної IP-телефонії мають в своєму розпорядженні можливість віддаленого управління сервісами IP-телефонії, яка використовується абонентами для їх налаштування. Обчислювальні пристрої, які використовуються захищеною IP-телефонією



також можуть мати дистанційне керування, яке може бути організоване внутрішніми програмно – апаратними засобами та механізмами використовуваної операційної системи, або з використанням спеціалізованого додаткового програмно-апаратного забезпечення.

Таким чином, для успішного проведення активної атаки нелегітимним кореспондентом, виникає необхідність в захопленні управління віддаленим VoIP монітором. Як показано, успішність активної атаки в першу чергу залежить від багатьох факторів, в загальному це рівень захищеності IP-телефонії, також рівня потужності спеціалізованого програмного забезпечення та механізмів взлому нелегітимного кореспондента. Таким чином імовірність успішного проведення атаки представимо наступним чином:

$$P_{34_{ЗАХМОН\_2}} = \begin{cases} 1, & \text{якщо у користувача терміналу включено віддалене управління} \\ & \text{і немає налаштованих списків доступу на всі віддалені протоколи} \\ 0, & \text{якщо у користувача терміналу включено віддалене управління} \\ & \text{і є налаштовані списки доступу на всі віддалені протоколи} \\ 0, & \text{якщо у користувача терміналу вимкнено віддалене управління} \end{cases}$$

У випадку наявності сервісів захищеної IP-телефонії віддаленого управління, нелегітимному кореспонденту для успішного проведення активної атаки необхідно з використанням спеціалізованого програмного забезпечення підібрати пароль для авторизації на VoIP моніторі кореспондента. При цьому вводиться допущення, що IP-адреса об'єкта активної атаки відома нелегітимному кореспонденту і отримана заздалегідь. Підбір пароля залежить від IP – протоколу, рівня захищеності IP-телефонії віддаленого управління, на який виконується активна атака нелегітимного кореспондента. Імовірність виконання успішної атаки по підбору пароля можна оцінювати за кінцевий інтервал часу  $T$ , так як ймовірність виконання успішної атаки по перебору пароля за нескінченний час буде дорівнює 1. Імовірність виконання успішної атаки по підбору пароля визначимо:

$$P_{45_{ЗАХМОН\_2}} = f(l, T, D, C) \quad (6)$$

де  $l$  - довжина пароля;  $T$  - відведений час, протягом якого буде успішне завершення атаки, виконати перебір;  $D$  - додаткові механізми та засоби обмеження IP - протоколу, що унеможливають виконання атаки типу «перебір пароля» за відведений час, а також відповідні програмно-апаратні та технічні можливості нелегітимного кореспондента;  $C$  - швидкість каналу зв'язку Інтернет мережі IP - телефонії, під час виконання атаки.

У разі успішного перебору пароля і отримання доступу до VoIP монітору кореспондента, захоплення нелегітимним кореспондентом віддаленого управління сервісами IP – телефонії, зловмисник може отримати НСД до потоку даних IP – телефонії використовуючи при цьому один з двох наступних шляхів: установка закладки в спеціалізоване програмне забезпечення кореспондента, модифікація програмного забезпечення VoIP монітора; коригування налаштувань VoIP монітора кореспондента; здійснення атаки типу «зустріч по середині» на всі протоколів захищеної IP-телефонії. Можливість проведення відповідної атаки визначається рівнем забезпечення програмно – апаратними, технічними засобами та механізмами нелегітимного кореспондента, а також наявністю в нелегітимного кореспондента спеціалізованих інструментів і засобів.

Сутність першої атаки нелегітимним кореспондентом полягає в захопленні голосової інформації в обхід IP - протоколів IP-телефонії: в відключенні IP - протоколів Інтернет мережі захищеної IP-телефонії; в зміні режимів роботи IP - протоколів Інтернет мережі захищеної IP-телефонії, для виконання нелегітимним кореспондентом прослуховування голосової інформації (медіа трафіка). Сутність другої і третьої атаки полягає в корегуванні налаштувань VoIP монітора кореспондента IP-телефонії для реалізації атаки типу «зустріч по середині», при якій весь потік даних IP - протоколів Інтернет мережі захищеної IP-телефонії проходять через нелегітимного кореспондента, який в свою чергу має можливість контролювати передану голосову інформацію, а також при необхідності виконувати модифікацію переданого потоку

даних. Таким чином при проведенні даної атаки нелегітимний кореспондент, виконує сценарій з'єднання по черзі з кожним з кореспондентів, при цьому використовує IP - протоколи безпеки Інтернет мережі захищеної IP-телефонії, відповідно до представленої схеми (рис. 6).

Вибравши один з варіантів здійснення атаки, нелегітимний абонент, після успішного завершення, в змозі отримати несанкціонований доступ до потоку даних IP - телефонії. Однак, при цьому існує ймовірність неуспішного виконання вибраного варіанта здійснення атаки, яка в даному випадку буде відображатися ймовірностями  $P_{72}$  і  $P_{62}$  відповідно.

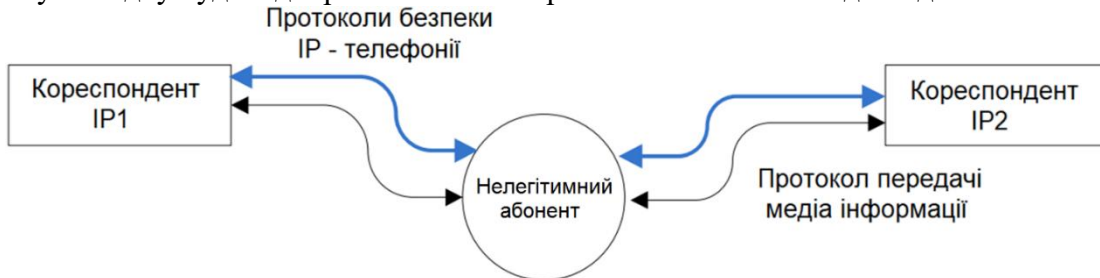


Рисунок 6 - Реалізація атаки «зустріч посередині» для IP - протоколів забезпечення безпеки VoIP-моніторів

Наприклад, атака типу "модифікація налаштувань VoIP-монітора кореспондента" може також закінчитися не успішно, якщо кореспондент своєчасно виявить модифікацію налаштувань, відновить попередні налаштування, при цьому також змінивши паролі доступу до VoIP-монітора або відключивши при цьому віддалене управління. На основі можливих дій нелегітимним кореспондентом, побудований відповідний імовірнісний граф (рис. 7).

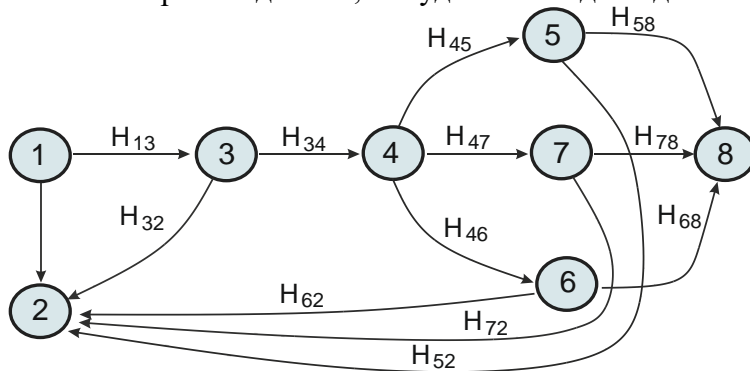


Рисунок 7 - Імовірнісний граф дій при виконанні захоплення VoIP-монітора нелегітимним кореспондентом другого рівня

У наведеному імовірнісному графі виділена гілка, яка відповідає успішному виконанню атаки, метою якої є отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP - телефонії і складена утворююча функція  $H(x)$  цієї гілки. Для імовірнісного графа показано на рис. 7 представлені  $P_{НСД} = H(x=1)$ :

$$P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_2}} = P_{13}P_{34}(P_{45}P_{58} + P_{46}P_{68} + P_{47}P_{78}), \quad (7)$$

де  $p_{ij}$  - ймовірність переходу з вершини  $i$  графа в вершину  $j$ .

Для кожного з розглянутих імовірнісних графів дій нелегітимним кореспондентом наведені  $P_{НСД}$  [1]:

$$\begin{aligned} P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_1}} &= ((P_{13}P_{34} + P_{18}P_{84})P_{45} + P_{19} + P_{95})P_{57} + \\ &+ ((P_{13}P_{34} + P_{18}P_{84})P_{46} + P_{19} + P_{96})P_{67} \\ P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_1}} &= P_{13}(P_{46}P_{34} + P_{56}P_{35})(P_{67}P_{710} + P_{68}P_{810} + P_{69}P_{910}) \end{aligned}$$

$$P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_2}} = P_{13}P_{34} (P_{45}P_{57} + P_{46}P_{67})$$

$$P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_2}} = P_{13}P_{34} (P_{45}P_{58} + P_{46}P_{68} + P_{47}P_{78}),$$

де  $p_{ij}$  - ймовірність переходу з вершини  $i$  графа в вершину  $j$ .

$$P_{НСД} = \max \left\{ P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_1}}, P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_1}}, P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_2}}, P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_2}} \right\}. \quad (8)$$

В випадку встановлення з'єднання між абонентами IP – телефонії в сценарії типу кореспондент-кореспондент без використання сервера а також при відсутності попередньо розподіленої загальної секретної інформації, в даному випадку сам абонент є найбільш зацікавленою особою в приділенні більшої уваги для підвищення безпеки IP – телефонії і при цьому зниження  $P_{НСД}$ . Кореспонденти також можуть використовувати VoIP монітори, які підтримують в IP – телефонії, функцію відключення віддаленого управління, що призведе до  $P_{13\_ЗАХМОН\_1} = 0$ ,  $P_{13\_ЗАХМОН\_2} = 0$ , і, в результаті отримаємо,  $P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_1}} = 0$ ,  $P_{НСДЦ_{ЗАХМОН\_2}} = 0$ .

Однак, кореспондент не в змозі впливати на ймовірності  $P_{ij\_ЗАХОБЛ\_2}$ ,  $P_{ij\_ЗАХМОН\_2}$ .

Таким чином в залежності від покрокових цілей нелегітимним кореспондентом можна виділити декілька часткових моделей нелегітимного абонента.

Також необхідно враховувати, що імовірності  $P_{57\_ЗАХОБЛ\_1}$ ,  $P_{57\_ЗАХОБЛ\_2}$  залежать від застосовуваного симетричного алгоритму шифрування [1].

На основі проведеного аналізу та дослідження найбільш вірогідною атакою буде атака типу «зустріч по середині» на програмний розподіл загальної секретної інформації між учасниками сесії з боку нелегітимного кореспондента. Можна ввести припущення, що ймовірність вибору атаки «перебір пароля» на шифр наближається до 0 -  $P_{45\_ЗАХОБЛ\_1} = 0$ ,  $P_{45\_ЗАХОБЛ\_2} = 0$ , а ймовірність вибору атаки типу «зустріч по середині» на програмний розподіл загальної секретної інформації між учасниками сесії з боку нелегітимного абонента  $P_{46\_ЗАХОБЛ\_1} = 1$ ,  $P_{46\_ЗАХОБЛ\_2} = 1$ .

Тоді ймовірність успішної атаки з метою отримання несанкціонованого доступу до потоку даних виразимо наступним чином:

$$P_{НСД} = \max \left\{ P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_1}}, P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_2}} \right\}, \quad (9)$$

$$P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_2}} = P_{13\_ЗАХОБЛ\_2}P_{34\_ЗАХОБЛ\_2}P_{46\_ЗАХОБЛ\_2}P_{67\_ЗАХОБЛ\_2}\sqrt{b^2 - 4ac}, \quad (10)$$

$$P_{НСДЦ_{ЗАХОБЛ\_1}} = ((P_{13}P_{34} + P_{18}P_{84}) \cdot P_{46} + P_{19} + P_{96}) \cdot P_{67}. \quad (11)$$

Для дослідження імовірісно-часових характеристик необхідно розглянути протоколи розподілу загальної секретної інформації захищеної IP-телефонії, що відповідають вимогам до відповідних IP- протоколів:  $K_1$  - підтримка топології клієнт-сервер і клієнт-клієнт в Інтернет мережах IP – телефонії;  $K_2$  - функціонування без використання додаткових IP - протоколів IP – телефонії між кореспондентами для реалізації функції розподілу загальної секретної інформації;  $K_3$  - робота по можливості без передачі секретної інформації у відкритому вигляді по каналу зв'язку;  $K_4$  - присутність механізму виявлення атак типу «зустріч по середині», без попередньо розподіленої загальної секретної інформації між кореспондентами, а також при цьому без використання сертифікатів;  $K_5$  - використання як транспорт стека протоколів TCP/UDP портів, що застосовуються для IP-телефонії протоколами (SIP/RTP), або TCP/UDP портів, використання яких узгоджено в результаті встановлення з'єднання. Порівняння IP -

протоколів приведено в табл. 1. Оцінка кожного з протоколів проводиться у відповідності з функцією  $Q_{ПРК}$ :  $Q_{ПРК} = \sum_{i=1}^5 K_i$ .

Протокол DTLS, як видно з табл. 1 не відповідає четвертій вимозі, так як DTLS розроблявся для роботи в топології клієнт - сервер і використовує встановлені відповідні сертифікати для захисту від атаки типу «зустріч по середині» у обох кореспондентів. Тому для DTLS  $K_4 = 0$ . На відміну від інших IP протокол ZRTP має вбудований механізм SAS (Short Authentication String) для захисту від атаки типу «зустріч по середині». Тому для ZRTP  $K_4 = 1$ . Для SDES і MIKEY  $K_4 = 0$ . Протокол MIKEY не задовольняє другій вимозі з таблиці 1, так як повідомлення можуть передаватися або в SIP / SDP-повідомлення, або поверх RTSP (Real Time Streaming Protocol), але в останньому випадку кореспонденти повинні додатково підтримувати протокол RTSP. Тому  $K_2 = 0$  для MIKEY. П'ята вимога при роботі поверх RTSP протоколу не виконується, але при цьому виконується друга вимога.

Таблиця 1

Оцінка протоколів розподілу ключового матеріалу на відповідність перерахованим вимогам

Вимоги до ПРК	Протоколи			
	DTLS	ZRTP	SDES	MIKEY
$K_1$	1	1	0	1
$K_2$	1	1	0	0
$K_3$	1	1	0	1
$K_4$	0	1	0	0
$K_5$	1	1	1	1
$Q_{ПРК}$	4	5	1	3

При роботі MIKEY поверх в SIP / SDP-повідомлення п'ята вимога виконується, але не виконується друга вимога. Так як при оцінці  $Q_{ПРК}$  використовується  $K_2 = 0$ , то  $K_1 = 1$  для MIKEY. Протокол SDES не задовольняє першій і третій вимозі  $K_1 = 0$  і  $K_3 = 0$ , так як ключ передається між кореспондентами в відкритому вигляді в повідомленнях SDP і вимагає їх додаткового захисту. Для захисту як правило використовується додатковий IP -протокол SIPS. Однак, при з'єднанні клієнт-клієнт, коли у кореспондентів немає заздалегідь розподіленого загального секретного ключа, SIPS з'єднання з захистом від атаки типу «зустріч по середині» організувати неможливо. Протокол SDES не задовольняє другій вимозі, так як для передачі даних протоколу SDES використовуються повідомлення SIP / SDP. Відповідно  $K_2 = 0$  для SDES.

На основі проведеного аналізу, представлених даних в табл. 1, можна дати рекомендації по вибору IP протоколів: протоколи ZRTP і DTLS, рекомендовані - мають найбільше значення  $Q_{ПРК}$ . Оцінка імовірно-часових характеристик виконується для вказаних IP -протоколів. Результати проведеного аналізу та дослідження надають можливість вказати, що найбільш відомі IP-протоколи розподілу загальної секретної інформації необхідно вдосконалювати в двох напрямках: підвищення інформаційної безпеки IP - телефонії та покращення основних показників IP-протоколів Інтернет мереж.

Висновки. Запропонована модель нелегітимного кореспондента буде враховувати рівень можливостей зловмисників. Модель нелегітимного кореспондента другого рівня враховує нелегітимних кореспондентів які не мають відповідного рівня доступу до сервісів безпечної IP-телефонії. До нелегітимних кореспондентів можуть, в даному випадку, бути віднесені:

сторонні особи; особи іноземних держав; представники іноземних розвідувальних служб; терористичні і кримінальні структури.

Визначені цілі нелегітимних абонентів другого рівня при проведенні активної атаки з метою отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP - телефонії: Ц<sub>ЗАХОБЛ</sub> - захоплення обладнання оператора; Ц<sub>ЗАХМОН</sub> - захоплення монітора абонента. Кінцевою метою кожної активної атаки є отримання несанкціонованого доступу до потоку даних IP - телефонії.

Результати проведеного аналізу та дослідження надають можливість вказати, що найбільш відомі IP-протоколи розподілу загальної секретної інформації необхідно вдосконалювати в двох напрямках: підвищення інформаційної безпеки IP - телефонії та покращення основних показників IP-протоколів Інтернет мереж.

Найбільш небезпечною атакою є атака типу «зустріч по середині» на IP -протоколи розподілу загальної секретної інформації. Завдання формування загальної секретної інформації в умовах проведення атаки типу «атака по середині» вторгнення нелегітимного кореспондента на сучасному етапі є актуальною. Одним з методів забезпечення підвищення безпеки IP протоколу формування загальної секретної інформації є відслідкування і заборона виконання атаки типу «зустріч по середині» за рахунок використання в Інтернет мережах IP - телефонії декількох паралельних незалежних каналів сеансів зв'язку.

Проведений аналіз можливих активних успішних атак (загроз) та проведено дослідження виявлення їх можливих джерел. Знаючи вразливості та рівень захищеності об'єкта, для якого необхідно провести захист, активний нелегітимний кореспондент може виконувати комбінацію атак, яка може привести до отримання несанкціонованого доступу до даних об'єкта.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Джулій, В.М. Модель нелегітимного абонента забезпечення безпеки IP-телефонії / О.С. Андрощук, В.М. Джулій, Ю.П. Кльоц, І.В. Муляр // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2020. – №2. – С. 38–45.
2. Бабаш, А.В. Криптографические методы защиты информации : учебник для студетнов вузов / А. В. Бабаш, С. К. Баранова. - М. : КНОРУС, 2016. - 190 с.
3. Борисов, М.А. Основы для программно-аппаратной защиты информации : учеб. пособие для вузов / М. А. Борисов, И. В. Заводцев, И. В. Чижов. - 4-е изд., переработаное и доп. - М. : ЛЕНАНД, 2016. - 416 с.
4. Васильева, И. И. Криптографические методы защиты информации : практикум и учебник для академ. бакалавриата / И. И. Васильева. - Санкт-Петербург. гос. эконом. университет . - М. : Юрайт, 2017. - 349 с.
5. Нестеров, С.А. Основы информационной безопасности : учебник / С. А. Нестеров. - СПб. : Лань, 2017. – 423 с.
6. Олифер, В.Г. Безопасность компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - М. : Горячая линия-Телеком, 2017. - 644 с.
7. Основы программно-аппаратной защиты информации. / М. А. Борисов, И. В. Заводцев, И. В. Чижов. – М.: УРСС: Либроком, 2013. – 370 с.
8. Касперский, Е. В. «Компьютерное зловредство» / Е. В. Касперский. – Санкт-петербург: Питер, 2009. – 208 с.
9. Партыка, Т. Л. Информационная безопасность учебное пособие / Т. Л. Партыка, И. И. Попов. – М.: ФОРУМ, 2011. – 432 с.
10. Сердюк, В. А. Организация и технологии защиты информации / В. А. Сердюк. – М.: Издательский дом Государственного университета – Высшей школы экономики, 2011. – 571 с.
11. Шаньгин, В. Ф. Информационная безопасность и защита информации / В.Ф. Шаньгин. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 702 с.
12. Шаньгин, В. Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. / В. Ф. Шаньгин. - М.: ДМК Пресс, 2012. – 576 с.
13. Гольдштейн, Б.С. Сети связи пост-NGN/Б.С.Гольдштейн,А.Е.Кучерявый.—СПб.:БХВ-Петербург,2014.—160с.: ил.

14. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы /В. Г. Олифер, Н. А.Олифер - СПб.: Питер, 2017. - 992 с.
15. Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технология. / Ю.И. Рыжиков - СПб: КОРОНА принт, 2015. - 384 с.
16. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для бакалавров / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 7-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 343 с.

#### REFERENCES:

1. Dzhulii, V.M. Model nelehitymnoho abonenta zabezpechennia bezpeky IP-telefonii / O.S. Androshchuk, V.M. Dzhulii, Yu.P. Klots, I.V. Muliar // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – Khmelnytskyi, 2020. – №2. – Pp. 38–45.
2. Babash, A.V. and Baranova, Ye. K. (2016), “Kryptohrafycheskye metody zashchyty ynformatsyy : uchebnyk dlia studetnov vuzov” / М. : KNORUS, 190 p.
3. Borysov, M.A., Zavodtsev, Y.V. and Chyzhov Y.V.(2016), “Osnovy dlia prohrammno-apparatnoi zashchyty ynformatsyy : ucheb. posobyе dlia vuzov” / М. : LENAND, 416 p.
4. Vasyleva, Y.Y. (2017), “Kryptohrafycheskye metody zashchyty ynformatsyy : praktykum y uchebnyk dlia akadem. Bakalavryata” / М. : Yurait, 349 p.
5. Nesterov, S.A. (2017), “Osnovy ynformatsyonnoi bezopasnosti : uchebnyk” / SPb. : Lan, 423 p.
6. Olyfer, V.H. and Olyfer, N. A. (2017), “Bezopasnost kompiuternykh setei” / М. : Horiachaia lynyia-Telekom, 644 p.
7. Borisov, M.A., Zavodcev, I.V. and Chizhov, I.V. (2013), “Osnovy programmno-apparatnoj zashchity informacii” / М.: URSS: Librokom,. 370 p.
8. Kasperskij, E.V. (2009), “Komp'yuternoe zlovredstvo”, Sankt-peterburg: Piter,. 208 p.
9. Partyka, T.L. and Popov, I. I. (2011), “Informacionnaya bezopasnost' uchebnoe posobie” / М.: FORUM, 432 p.
10. Serdyuk, V.A. (2011), “Organizaciya i tekhnologii zashchity informacii ” / М.: Izdatel'skij dom Gosudarstvennogo universiteta – Vysšej shkoly ekonomiki,. 571 p.
11. SHan'gin, V.F. (2017), “Ynformatsyonnaia bezopasnost y zashchyta ynformatsyy” / М.: DMK Press, 702 p.
12. SHan'gin, V.F. (2012), “Zashchita informacii v komp'yuternyh sistemah i setyah.” / М.: DMK Press,. 576 p.
13. Goldshteyn, B.S. and Kucheryavy, A.E. (2014), “Seti svyazi post-NGN”/ [Post-NGN communication networks] , SPb.:BHV-Peterburg, 160p.: il.
14. Olyfer, V. G. and Olyfer, N. A. (2017), “Komp'yuternyie seti. Printsipyi, tekhnologii, protokolyi ” / [Computer networks. Principles, technologies, protocols], SPb.: Piter, 992p.
15. Ryzhikov, Yu.I. (2015), “Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriya i tekhnologiya.” / [Imitation modeling. Theory and technology], SPb: KORONA print, 384p.
16. Sovetov, B. Ya. and Yakovlev, S.A. (2015), “Modelirovanie sistem : uchebnyk dlya bakalavrov” / [System modeling: a textbook for bachelors] ,7-e izd. М. : Izdatelstvo Yurayt, 343p.

**PhD Dzhulij V.M., PhD Mulyar I.V., PhD Stepanenko Ye.O., PhD Tolok I.V.  
PROBABILITY MODEL OF THE SECOND LEVEL CORRESPONDENT OF IP-  
TELEPHONY SECURITY**

*The paper proposes a probabilistic model for identifying an illegitimate second-level correspondent based on the Diffie-Hellman algorithm. Solves the following tasks: allows you to identify an active illegitimate correspondent who uses voice synthesis software; to identify an active illegitimate correspondent of IP - protocols in the communication channels of Internet telephony in the absence of previously distributed secret key information between the correspondents, the entrusted center. The model of an illegitimate correspondent can be used to assess methods for monitoring the security level of a packet-switched data stream in Internet telephony, which will ensure the reliability of IP telephony and increase security.*

*The proposed model of an illegitimate correspondent will take into account the level of the attackers' capabilities. The second-level illegitimate correspondent model takes into account illegitimate correspondents who do not have an appropriate level of access to secure IP-telephony services. In this case,*

*illegitimate correspondents may include: unauthorized persons; persons of foreign states; representatives of foreign intelligence services; terrorist and criminal structures.*

*The goals of illegitimate second-level subscribers in carrying out an active attack in order to obtain unauthorized access to the data stream of IP - telephony are determined: seizure of the operator's equipment; capture of the subscriber monitor. The ultimate goal of every active attack is to gain unauthorized access to the IP telephony data stream.*

*The results of the analysis and research make it possible to indicate that the most well-known IP-protocols for the distribution of general secret information need to be improved in two directions: increasing the information security of IP-telephony and improving the main indicators of IP-protocols of Internet networks.*

*One of the methods to improve the security of the IP protocol for the formation of shared secret information is to monitor and prohibit the execution of a meeting-in-the-middle attack through the use of several parallel independent channels of communication sessions in the Internet IP-telephony networks.*

*Key words: probabilistic model, illegitimate correspondent, information interaction, Internet telephony, cryptographic protection, communication channels.*

## ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ВКР ПІДСИЛЮВАЧА НА ОСНОВІ ВОЛОКНА З КОМПЕНСОВАНОЮ ДИСПЕРСІЄЮ З РІВНОМІРНОЮ СМУГОЮ ПІДСИЛЕННЯ У C+L ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ВІКНАХ

*Представлено результати моделювання широкопasmового оптичного волоконного КР підсилювача (ВКРП) з багатохвильовим помпуюванням та рівномірною смугою підсилення, що охоплює C+L телекомунікаційні вікна, в активному волокні з компенсацією дисперсії типу DCF. Продемонстровано, що профіль ВКР підсилення, тобто розподіл коефіцієнта підсилення оптичного випромінювання за областю частот стокового зсуву при комбінаційному розсіянні є основною характеристикою ВКРП. В роботі представлено оптимальні значення параметрів джерел помпуювання, а саме спектрального розподілу довжин хвилі та відносної потужності всіх джерел накачки, за яких можна отримати мінімальну нерівномірність смуги підсилення. За результатами розрахунків мінімальна нерівномірність ВКР профілю підсилення майже на всьому робочому діапазоні була отримана для 6-ти джерел накачки. Показано, що аналітичний вигляд профілю підсилення значно спрощує процедуру моделювання головних параметрів підсилення для ВКРП з багатохвильовим помпуюванням для 3-6 довжин хвиль джерел помпуювання. Крім того, запропонована спрощена аналітична модель дозволяє швидко отримувати теоретичні оцінки основних параметрів робочої смуги довжин хвилі ВКРП з довільною кількістю лазерів накачки у багатохвильовому джерелі помпуювання.*

**Ключові слова:** вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР), ВКР підсилювач, профіль ВКР підсилення, багатохвильова накачка, нерівномірність підсилення.

**Вступ та аналіз останніх досліджень.** Згідно з оцінками аналітиків вже найближчим часом обсяг даних у світі перевищить 175 зетабайт (1 ЗБ = мільярд ТБ). Це в шість разів більше, ніж було в 2018 році. Більше того, розвиток мереж 5G, попит на відео у високій якості і ринок інтернету речей може призвести до того, що найближчим часом загальна кількість інформації досягне 1 трильйона терабайт – 1000 зетабайт.

Виходячи із аналітичних даних, актуальними завданнями, які стоять перед розробниками систем швидкісної далекопротяжної телекомунікації є завдання підвищення швидкості та дальності передачі інформації з одночасним забезпеченням при цьому найвищих показників достовірності інформації, що передається [1,2]. Це реалізується шляхом нарощування кількості каналів передачі інформації, а також за рахунок розширення смуги робочих довжин хвилі.

Суттєве підвищення швидкості та якості обміну інформацією стало можливим завдяки створенню підсилювачів на ефекті вимушеного комбінаційного розсіювання (ВКР) [3], а також волокон з високими значеннями КР підсилення та низькими втратами. Саме ефект ВКР дозволяє застосовувати специфічні методи підсилення [4-6] та генерації оптичного випромінювання [7-14], які є базисом для створення сучасних телекомунікаційних систем.

ВКР-підсилювачі (ВКРП) завдяки широкій смузі підсилення і відсутності прив'язки до довжини хвилі спроможні працювати практично у всіх вікнах прозорості. Освоєння телекомунікаційного S-вікна забезпечується саме використанням ВКРП, які працюють в довільному діапазоні робочих довжин хвиль в межах від 0,3 до 2 мкм, а область підсилення визначається тільки довжиною хвилі накачки [5]. Зі створенням ВКРП на основі одномодового кварцового волокна з'явилась можливість забезпечити робочу смугу підсилення понад 12 ТГц в області сумарного C+L телекомунікаційного вікна. Крім того, у ВКР-підсилювачах на одній ділянці волокна можна комбінувати підсилення і компенсацію дисперсії [3,15]. На виході волокна, яке компенсує дисперсію, підсилення перевищує втрати, завдяки чому зростає енергетичний запас системи і з'являється можливість включати в систему інші елементи, такі



як мультиплексори вводу-виводу (OADM optical add-drop multiplexers). Застосування розподілених ВКР-підсилювачів в волоконно-оптичних лініях зв'язку дозволяє знижувати шуми і нелінійні спотворення, завдяки чому можна використовувати більш довгі ділянки волокна, більш високу швидкість передачі, менші проміжки між каналами, а також наблизити робочий діапазон до довжини хвилі нульової дисперсії. За допомогою великої кількості експериментів було продемонстровано переваги ВКР-підсилювачів [16-22]. ВКР-підсилювачі не тільки стали невід'ємною частиною сучасних систем телекомунікації та наддалекого зв'язку, але і зберігають потенціал подальшого розвитку.

Найкращим середовищем для підсилення та передачі значних потоків інформації (десятки Тб/с) на далекі відстані (до 12000 км) [23] завдяки великій пропускній здатності є оптичне волокно.

Причинами зниження рівня сигналу при його проходженні по оптичному волокну є: власні внутрішні втрати; втрати, викликані домішками; втрати, викликані недосконалістю оптоволоконна; розсіяння Релея; міжмодова дисперсія; матеріальна дисперсія, – які, в кінцевому випадку, призводять до обмеження відстані та швидкості передачі даних.

**Передумови моделювання.** В одномодових волокнах зі збільшенням швидкості передачі і довжини лінії зв'язку вплив хроматичної дисперсії зростає (виникають спотворення оптичних імпульсів). Причинами виникнення спотворення оптичних імпульсів при високошвидкісній передачі даних є відмінність групових швидкостей спектральних складових імпульсу (хвильового пакету з ненульовою шириною спектра) у передавальному середовищі одномодового оптичного волокна. Це, в свою чергу, призводить до розширення оптичного імпульсу в часі. Водночас, величина цього "розширеного" імпульсу не повинна перевищувати дозволеного системою передачі допуску на приймальному кінці. Розширення імпульсу, спричинене хроматичною дисперсією, може бути зменшеним чи навіть повністю усуненим локальними пристроями пасивної компенсації дисперсії, які суттєво збільшують втрати потужності оптичного сигналу і через це потребують застосування додаткових оптичних підсилювачів. З метою реалізації модулів компенсації дисперсії були створені спеціальні волокна, а саме одномодові волокна з компенсацією дисперсії (англ. *DCF*, dispersion compensated fiber), які застосовуються також в сучасних волоконних лазерах та волоконно-оптичних датчиках.

**Особливості застосування волокон типу DCF.** Основною перевагою волокна DCF є те, що завдяки значному негативному коефіцієнту хроматичної дисперсії довжину відрізка волокна DCF можна суттєво зменшити. Наприклад, для компенсації дисперсії у звичайному одномодовому волокну SMF з дисперсією 18 пс/(нм·км) та довжиною 50 км потрібно не більше 2 км волокна DCF, в якого коефіцієнт дисперсії  $D$  буде не меншим, ніж -450 пс/(нм·км). Необхідно зауважити, що волокно *DCF* вносить у систему більші втрати, дисперсію поляризаційних мод та вартість. Водночас, волокно DCF має один з найбільших коефіцієнтів ВКР підсилення серед одномодових волокон (рисунок 1).

Максимум коефіцієнта підсилення досягається на частоті, яка зміщена відносно частоти накачки приблизно на  $\sim 13,2$  ТГц ( $440 \text{ см}^{-1}$ ), тому найбільш ефективним використання ВКРП буде в тому випадку, коли різниця між частотами накачки і сигналу потрапляє в область піка коефіцієнта ВКР підсилення. Крім того, частотний профіль ВКР підсилення волокна DCF має більш гладку форму, що дозволяє досягнути більшого вирівнювання смуги робочих частот.

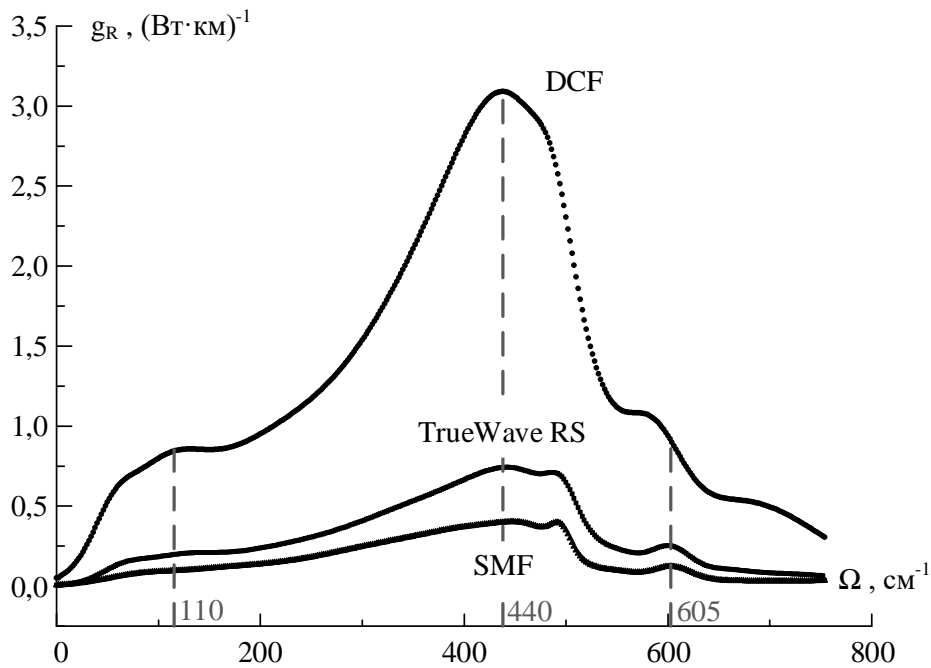


Рисунок 1 – Частотні профілі ВКР підсилення  $g_R$  для одномодових волокон DCF, TrueWaveRS, SMF

Водночас, хоча профілі ВКР підсилення  $g_R$  для одномодових волокон DCF, TrueWaveRS, SMF (рис. 1) мають досить складну форму, для усіх трьох типів волокон спостерігається декілька загальних тенденцій:

- пряма залежність форми профілю ВКР підсилення від кількості домішок в кварцовій серцевині;

- характеристичні частотні зміщення профілю ВКР підсилення припадають на величини близько 110, 440 та 605  $\text{cm}^{-1}$  відносно частоти помпування, що, в свою чергу, дозволяє застосовувати одні й ті самі оптичні джерела накачки у випадку застосування вищезазначених волокон.

**ВКР профіль підсилення.** Вже достатньо тривалий час ВКРП є найбільш ефективними підсилювачами оптичного випромінювання в діапазоні частот телекомунікаційних вікон С та L, де втрати на згасання суттєво менші в порівнянні з іншими вікнами прозорості. Якісна передача усе зростаючих об'ємів інформації потребує подальшого вдосконалення ВКРП. Пояснення принципу дії ВКРП полягає в описі нелінійних процесів, які і визначають характеристики таких підсилювачів. Тому, важливим є розширення робочих довжин хвилі таких підсилювачів в межах С+L вікна прозорості, а також зменшення нерівномірності смуги ВКР підсилення та, відповідно, смуги повного підсилення сигналу завдяки застосуванню не однієї, а одразу декількох накачок.

Профіль ВКР підсилення у волокні з компенсованою дисперсією експериментально спостерігається [24] як дуже складний і нерегулярний континуум, що суттєво ускладнює задачу синтезу рівномірної смуги підсилення у пристроях ВКР фотоніки. Отже, для проектування ВКРП, особливо з конфігурацією декількох накачок, потрібні спеціальні методи аналітичного опису профілів ВКР.

В ході моделювання основну увагу приділено визначенню нерівномірності смуги підсилення у С+L телекомунікаційних вікнах у волокні DCF та оптимальної кількості джерел накачки.

**Декомпозиція ВКР профілю.** Нещодавно в [25] була запропонована спектроскопічна методика багатомодової декомпозиції і було отримано відмінні результати для аналізу

профілів ВКР в кількох інших типах волокон. Тепер ми представляємо результат моделювання гаусового розкладання профілю ВКР підсилення у волокні DCF.

В основі формування профілів ВКР підсилення лежить коливна динаміка молекулярних нанокомплексів аморфної серцевини волокон, яку можна моделювати як систему гармонічних осциляторів під дією досить потужної хвилі помпування. Профіль ВКР підсилення розкладається на кілька спектральних компонент гаусового типу [26]:

$$g_R(\omega) = g_{Rmax} \cdot \sum_{i=1}^{N_m} A_i \exp \left[ -\frac{(\omega - \omega_{v,i})^2}{\Gamma_i^2} \right] = g_{Rmax} \cdot \varphi(\omega), \quad (1)$$

де  $\varphi(\omega)$  – аналітична функція від частоти  $\omega$ , яка є нормованим профілем ВКР підсилення,  $g_{Rmax}$  – максимальне значення коефіцієнта ВКР підсилення;  $N_m$  – кількість компонент;  $A_i$  та  $\omega_{v,i}$  – відповідно амплітуда та центральна частота  $i$ -ої гаусової компоненти,  $\Gamma_i = \Delta\omega_i / (2\sqrt{\ln 2}) \approx 0,6\Delta\omega_i$ , де  $\omega_i$  – повна ширина на половині від максимуму для  $i$ -ого гаусового профілю, яку звичайно використовують у спектроскопії.

**Результати моделювання та їх обговорення. ВКР профіль підсилення у аналітичній формі.** Згідно до (1), аналітичний вираз нормованої функції  $\varphi(\omega)$  профілю ВКР підсилення DCF волокна, має вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= \sum_{i=1}^N A_i \cdot \exp[-(\omega - \omega_{v,i})^2 / \Gamma_i^2] = \\ &= 0,064 \cdot \exp[-1,52 \cdot (\omega - 1,65)^2] + 0,155 \cdot \exp[-0,32 \cdot (\omega - 3,00)^2] + \\ &+ 0,241 \cdot \exp[-0,10 \cdot (\omega - 6,09)^2] + 0,594 \cdot \exp[-0,08 \cdot (\omega - 11,34)^2] + \\ &+ 0,579 \cdot \exp[-0,18 \cdot (\omega - 13,80)^2] + 0,095 \cdot \exp[-2,10 \cdot (\omega - 14,67)^2] + \\ &+ 0,173 \cdot \exp[-0,69 \cdot (\omega - 17,55)^2] + 0,170 \cdot \exp[-0,09 \cdot (\omega - 20,16)^2], \quad (2) \end{aligned}$$

причому числові коефіцієнти в цьому виразі мають найбільш компактний вигляд, якщо центральні частоти  $\omega_{v,i}$  та сталі загасання  $\Gamma_i$  в (1) задавати в одиницях ТГц.

**Багатохвильове помпування та нерівномірність підсилення ВКРП.** Багато-хвильове помпування дозволяє радикально вирішити проблему розширення смуги підсилення ВКРП, навіть починаючи із застосування  $2\lambda$  накачки волокна DCF, що вже дозволить подвоїти ширину його терагерцової робочої смуги та перекрити C+L телекомунікаційні вікна. За умови обмеження ширини смуги підсилення ВКРП величиною в 13 ТГц він може перекрити окремо або C+L телекомунікаційні вікна, або S-діапазон. Одразу ж потрібно зауважити, що передача даних на далекі відстані в S та L діапазонах довжин хвиль можлива лише при використанні ВКРП.

В межах наближення “заданої накачки” для ВКРП з багатохвильовим помпуванням загальне ВКР підсилення може бути представленим за допомогою лінійної комбінації функцій підсилення  $G_j(\lambda)$  з нормованими ваговими коефіцієнтами  $a_j$  ( $0 < a_j < 1$ ) як:

$$G_R(\lambda) = \frac{1}{G_{Rmax}} \sum_{j=1}^M a_j G_j(\lambda), \quad (3)$$

де  $M$  – кількість джерел помпування;  $G_{Rmax}$  – максимальне значення оптичного підсилення на всій області Стоксового зсуву, зокрема від 1,53  $\mu\text{m}$  до 1.625  $\mu\text{m}$ .

Функція спектру оптичного підсилення  $G_j(\lambda)$  від окремого джерела помпування на довжині хвилі  $\lambda_{p,j}$  визначається як:

$$G_j(\lambda) = \begin{cases} g_R [c(\lambda_{p,j}^{-1} - \lambda^{-1})], & \lambda > \lambda_{p,j}, \\ 0, & \lambda < \lambda_{p,j}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $g_R$  – ВКР профіль (1);  $c$  – швидкість світла.

Багатохвильове помпування дозволяє ефективно знизити нестабільність ВКР підсилення на широкому спектральному діапазоні.

На рис.2 подано смуги ВКРП на основі оптичного волокна DCF з трьома джерелами помпування в лінійній (а) та логарифмічній (б) шкалах. Нерівномірність ВКР підсилення в C+L телекомунікаційних вікнах знижено до 0.9 дБ завдяки використанню оптичного волокна DCF.

Відповідно до (3)-(4) нерівномірності підсилення  $G_R(\lambda)$  можуть бути незалежно зміненими шляхом одночасної модифікації обох параметрів  $a_j$  та  $\lambda_{p,j}$ .

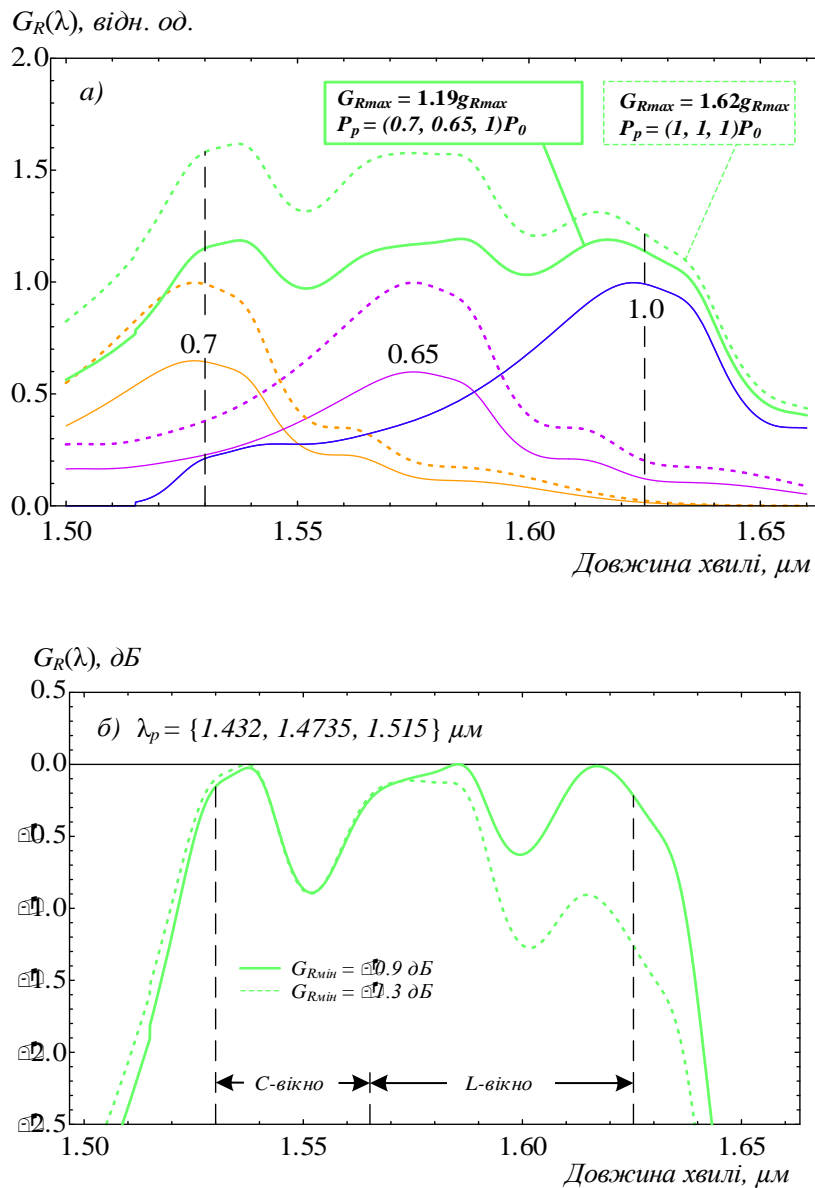


Рисунок 2 – Смуги ВКР підсилювачів з трьома джерелами помпування в лінійній (а) та логарифмічній (б) шкалах

Для ВКРП на основі оптичного волокна DCF з трьома джерелами помпування було використано наступний розподіл довжин хвиль джерел помпування –  $\lambda_p = \{1,432; 1,4735; 1,515\}$  μm

1.515}. Нерівномірність підсилення ВКРП було знижено з 1,3 дБ, як ми можемо бачити на рис. 3,б (пунктирна лінія зеленого кольору) до 0,9 дБ (суцільна лінія зеленого кольору) шляхом розподілу потужностей джерел помпування, що має вигляд  $a_j = (0,7; 0,65; 1)$ .

Результати моделювання рівномірної смуги підсилення ВКРП на основі оптичного волокна DCF з багатохвильовим помпуванням у всьому діапазоні C+L телекомунікаційних вікон показано на рис. 3, відповідно: для чотирьох (а), п'яти (б) та шести (в) джерел помпування.

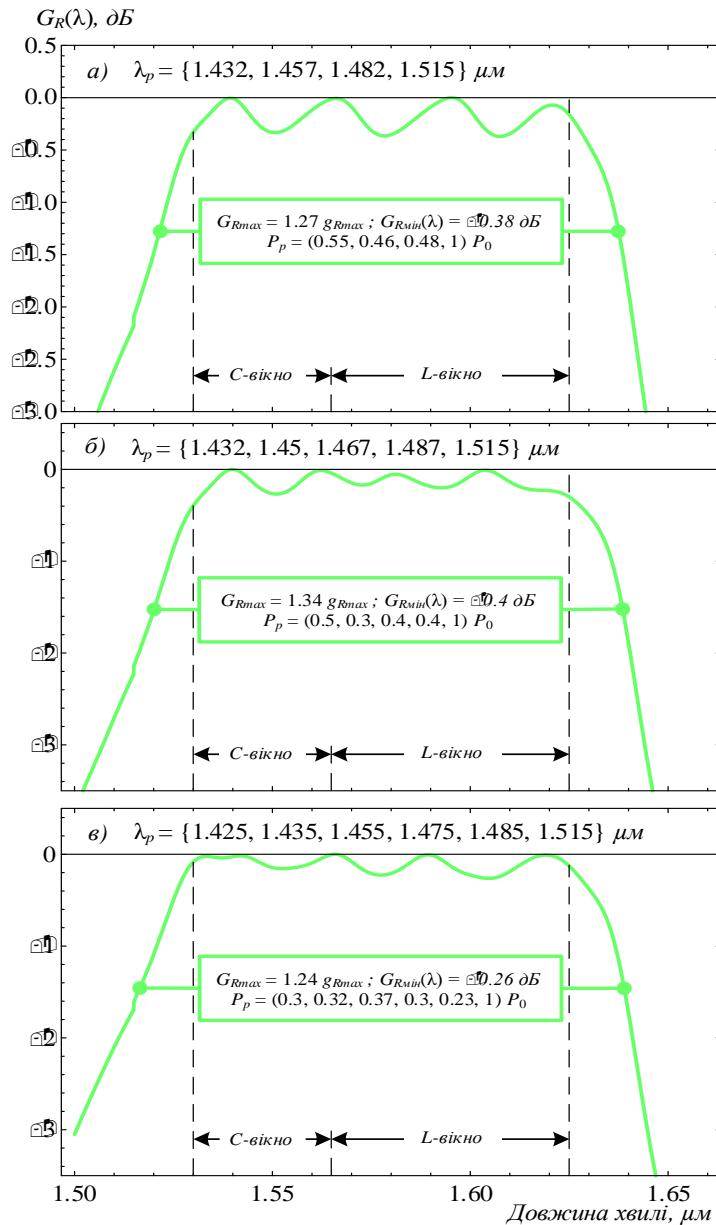


Рисунок 3 – Смуги ВКР підсилювачів з багатохвильовим помпуванням на основі оптичного волокна DCF з рівномірною смугою підсилення у всьому діапазоні C+L телекомунікаційних вікон:  
 а) чотири джерела помпування;  
 б) п'ять джерел помпування;  
 в) шість джерел помпування.

Отже, нерівномірність підсилення у всьому діапазоні, що охоплює C+L телекомунікаційні вікна має сталу тенденцію до зниження для конфігурації ВКРП на основі оптичного волокна DCF з трьома-шести джерелами помпування.

У табл. 1 подано головні параметри підсилення для ВКРП на волокні типу DCF з багатохвильовим помпуванням для 3-6 довжин хвиль джерел помпування.

Таблиця 1

Результати оптимізації нерівномірності смуги підсилення, що перекриває C+L вікна прозорості для ВКРП на волокні типу DCF

	DCF			
	$a_j$	$\lambda_{p,j}$	$G_{Rmax}$	$G_{Rmin}(\lambda)$
3 $\lambda$	0,7 0,65 1	1,432 1,4735 1,515	1,19 $g_{Rmax}$	0,9 дБ
4 $\lambda$	0,55 0,46 0,48 1	1,432 1,457 1,482 1,515	1,27 $g_{Rmax}$	0,38 дБ
5 $\lambda$	0,5 0,3 0,4 0,4 1	1,432 1,45 1,467 1,487 1,515	1,34 $g_{Rmax}$	0,4 дБ
6 $\lambda$	0,3 0,32 0,37 0,3 0,23 1	1,425 1,435 1,455 1,475 1,485 1,515	1,24 $g_{Rmax}$	0,26 дБ

З табл. 1 видно, що для ВКРП на основі оптичного волокна DCF з багатохвильовим помпуванням у всьому діапазоні C+L телекомунікаційних вікон мінімально розраховану нерівномірність підсилення у C+L телекомунікаційних вікнах на рівні  $\sim 0,26$  дБ можливо отримати для 6-ти довжин хвиль джерел помпування.

**Висновки.** Суттєві переваги ВКР підсилення роблять його доволі привабливим методом модернізації існуючих телекомунікаційних систем, що не потребує будь-яких змін у волоконній підсистемі.

Були розглянуті різні випадки моделювання ВКРП з багатохвильовим помпуванням (від трьох до шести джерел помпування) та представлено оптимальні значення параметрів джерел помпування, а саме спектрального розподілу довжин хвиль та відносної потужності всіх лазерів накачки, за яких можна отримати мінімальну нерівномірність смуги підсилення.

У підсумку, в результаті моделювання широкосмугового ВКРП в якості активного середовища якого є оптичне волокно DCF отримано мінімально розраховану нерівномірність підсилення  $\sim 0,26$  дБ на дуже широкому спектральному діапазоні, що охоплює C+L телекомунікаційні вікна, яку можливо досягти за допомогою використання шести джерел помпування. Подальше збільшення кількості лазерів в джерелі помпування можна вважати недоцільним, оскільки не досягається подальше покращення нерівномірності смуги підсилення.

Показано, що аналітичний вигляд профілю підсилення значно спрощує процедуру моделювання ВКРП з багатохвильовим помпуванням та може використовуватися для проектування інших пристроїв фотоніки із застосуванням волокна DCF.

Стаття виконана у ході виконання держбюджетної науково-дослідної теми № 19БФ052-04 “Дослідження взаємодії електромагнітних полів зі структурованими нанокompозитами,

молекулярними та анізотропними матеріалами для сучасних інформаційних технологій” (номер держреєстрації 0116U002564). Автори висловлюють окрему вдячність доктору фізико-математичних наук Фелінському Георгію Станіславовичу за допомогу в обговоренні матеріалу статті.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Galdino L. Amplification schemes and multi-channel DBP for unrepeated transmission / L. Galdino, M. Tan, A. Alvarado, et al // *J. Lightwave Technology*. – 2016. – Vol. 34, No. 9. – P. 2221-2227. DOI:10.1109/JLT.2016.2521002.
2. Andrekson P.A. Fiber-based phase-sensitive optical amplifiers and their applications / P.A. Andrekson and M. Karlsson // *Adv. Opt. Photon.* – 2020. – Vol. 12. – P. 367-428. DOI: 10.1364/AOP.382548.
3. Islam M.N. Raman amplifiers for telecommunications / M.N. Islam // *IEEE J.Select. Topics Quantum Electron.* – 2002. – Vol.8. – №3. – P.548-559.
4. Chesnoy J. Preface / J. Chesnoy // *Undersea Fiber Communication Systems (Second Edition)* /Ed. by J. Chesnoy. – Academic Press, 2016. – P. 119-164. ISBN 978-012-8042-69-4. DOI: 10.1016/B978-0-12-804269-4.00004-0.
5. Коротков П. А. ВКР підсилення світла в одномодових кварцових волокнах / П. А. Коротков, Г. С. Фелінський // *УФЖ. Огляди*. – 2009. Т. 5, №2. – С. 103-168. ISSN 2071-0194.
6. Григоруk В. І. Волоконні ВКР лазери та підсилювачі оптичного випромінювання // *Взаємодія фізичних полів з наноструктурованими матеріалами / Монографія / за ред. В. І. Григоруk, В. В. Загородній, А. В. Іванчук та ін.* – [Розділ 2]: К.: Каравела, 2018. С. 62-128.
7. Fu S. Review of recent progress on single frequency fiber lasers [Invited] / S. Fu, W. Shi, Y. Feng, et al. // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2017. Vol. 34, No. 3. – P. A49-A62. DOI: 10.1364/JOSAB.34.000A49.
8. Richardson D. J. High-power fiber lasers: current status and future perspectives / D. J. Richardson, J. Nilsson, W. A. Clarkson // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2010. Vol. 27, No. 11. – P. B63-B92. DOI: 10.1364/JOSAB.27.000B63.
9. Zervas M. N. High power fiber lasers: a review / M. N. Zervas, C. A. Codemard // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* . – 2014. Vol. 20, No. 5. – P. 219-241. DOI: 10.1109/JSTQE.2014.2321279.
10. Dianov E. M. Medium-power CW Raman fiber lasers / E. M. Dianov, A. M. Prokhorov // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* – 2000. Vol. 6, No. 6. – P. 1022–1028. DOI: 10.1109/2944.902151.
11. Григоруk В. І. Нелінійні та лазерні процеси в оптичних волокнах / В. І. Григоруk, П. А. Коротков, Г. С. Фелінський – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 576 с.
12. Shi W. Fiber lasers and their applications [Invited] / W. Shi, Q. Fang, X. Zhu et al. // *Appl. Opt.* – 2014. Vol. 53, No. 28, P. 6554–6568. DOI: 10.1364/AO.53.006554.
13. Коротков П. А. Волоконні ВКР лазери неперервної дії / П. А. Коротков, Г. С. Фелінський. // *Укр. фіз. журн. Огляди*. – 2007. Т. 4, № 1. – С. 36-60. ISSN 2071-0194.
14. Zhou P. High-power fiber lasers based on tandem pumping / P. Zhou, H. Xiao, J. Leng et al. // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2017. Vol. 34, No. 3. – P. A29-A36. DOI: 10.1364/JOSAB.34.000A29.
15. Raman amplification in fiber optical communication systems / Ed. by H. Clifford, Govind P. Agrawal. – Elsevier Academic Press, 2005. – 374 p.
16. Bromage J. Raman amplification for fiber communication systems // *IEEE Journal of Lightwave Technology*. – 2004. – Vol. 22, no.1. – P. 79–93.
17. 442 km repeaterless transmission in a 10 Gbit/s system experiment / P.B. Hansen, L. Eskildsen, S.G. Grubb [et al.] // *Electronics Letters*. – 1996. – Vol. 32, no.11. – P. 1018–1019.
18. 3.28Tb/s transmission over 3×100 km of nonzero-dispersion fiber using dual C- and L-band distributed Raman amplification / T.N. Nielsen, A.J. Stentz, K. Rottwitt [et al.] // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2000. – Vol. 12, no. 8. – P. 1079–1081.
19. 3.2Tb/s (80 × 42,7Gb/s) transmission over 20 × 100 km of nonzero dispersion fiber with simultaneous C + L-band dispersion compensation / B. Zhu, L. Leng, L.E. Nelson [et al.] // *Proc. OFS 2002. Postdeadline paper FC8*. – 2002. – P. FC8-1–FC8-3.
20. 100 Gb/s (10x10Gb/s) WDM transmission over 7200 km using distributed Raman amplification / M. Nissov, C.R. Davidson, K. Rottwitt [et al.] // *Proc. of IOOC – ECOC’1997*. –Edinburgh, Scotland, 1997. – P. 9–12.

21. 320-Gb/s single-channel pseudolinear transmission over 200 km of nonzero-dispersion fiber / B. Mikkelsen, G. Raybon, R.-J. Essiambre [et al.] // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2000. – Vol. 12, no. 10. – P. 1400–1402.
22. Comparison of Return-to-Zero Differential Phase- Shift Keying and On-Off Keying in Long-Haul Dispersion Managed Transmission / C. Xu, X. Liu, L.F. Mollenauer, X. Wei // *IEEE Photonics Technology Letters*. – 2003. – Vol. 15. – P. 617–619.
23. *Raman Amplifiers for Telecommunications 2: Sub-systems and Systems* / Edited by M.N. Islam – New York: Springer-Verlag, 2004. – 732 p.
24. Bromage, K. Rottwitt, and M. E. Lines, “A method to predict the Raman gain spectra of germanosilicate fibers with arbitrary index profiles,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 14, pp. 24–26, 2002.
25. Сердега І. В., Григоруk В. І., Фелінський Г. С. Спектроскопічні особливості профілів ВКР підсилення в одномодових волокнах на основі кварцового скла. *Український фізичний журнал*. 2018. Т. 63, № 8, С. 681–699.
26. Григоруk В.І., Загородній В.В., Іванчук А.В. та ін. Взаємодія фізичних полів з наноструктурованими матеріалами. Розд. 2. Волоконні ВКР лазери та підсилювачі оптичного випромінювання: монографія Київ: Каравела, 2018. С. 62–128.

#### REFERENCES:

1. Galdino L. Amplification schemes and multi-channel DBP for unrepeated transmission / L. Galdino, M. Tan, A. Alvarado, et al // *J. Lightwave Technology*. – 2016. – Vol. 34, No. 9. – P. 2221-2227. DOI:10.1109/JLT.2016.2521002.
2. Andrekson P.A. Fiber-based phase-sensitive optical amplifiers and their applications / P.A. Andrekson and M. Karlsson // *Adv. Opt. Photon.* – 2020. – Vol. 12. – P. 367-428. DOI: 10.1364/AOP.382548.
3. Islam M.N. Raman amplifiers for telecommunications / M.N. Islam // *IEEE J.Select. Topics Quantum Electron.* – 2002. – Vol.8. – №3. – P.548-559.
4. Chesnoy J. Preface / J. Chesnoy // *Undersea Fiber Communication Systems (Second Edition)* /Ed. by J. Chesnoy. – Academic Press, 2016. – P. 119-164. ISBN 978-012-8042-69-4. DOI: 10.1016/B978-0-12-804269-4.00004-0.
5. Korotkov P. A. VKR pidsylennia svitla v odnomodovykh kvartsovykh voloknakh / P. A. Korotkov, H. S. Felinskyi // *UFZh. Ohliady*. – 2009. Т. 5, №2. – S. 103-168. ISSN 2071-0194.
6. Hryhoruk V. I. Volokonni VKR lazery ta pidsylivachi optychnoho vprominiuvannia // *Vzaiemodiia fizychnykh poliv z nanostrukturovanymy materialamy / Monohrafiia / za red. V. I. Hryhoruk, V. V. Zahorodnii, A. V. Ivanchuk ta in.* – [Rozdil 2]: K.: Karavela, 2018. С. 62-128.
7. Fu S. Review of recent progress on single frequency fiber lasers [Invited] / S. Fu, W. Shi, Y. Feng, et. al. // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2017. Vol. 34, No. 3. – P. A49-A62. DOI: 10.1364/JOSAB.34.000A49.
8. Richardson D. J. High-power fiber lasers: current status and future perspectives / D. J. Richardson, J. Nilsson, W. A. Clarkson // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2010. Vol. 27, No. 11. – P. B63-B92. DOI: 10.1364/JOSAB.27.000B63.
9. Zervas M. N. High power fiber lasers: a review / M. N. Zervas, C. A. Codemard // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* . – 2014. Vol. 20, No. 5. – P. 219-241. DOI: 10.1109/JSTQE.2014.2321279.
10. Dianov E. M. Medium-power CW Raman fiber lasers / E. M. Dianov, A. M. Prokhorov // *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* – 2000. Vol. 6, No. 6. – P. 1022–1028. DOI: 10.1109/2944.902151.
11. Hryhoruk V. I. Neliniini ta lazerni protsesy v optychnykh voloknakh / V. I. Hryhoruk, P. A. Korotkov, H. S. Felinskyi – K.: VPTs “Kyivskiy universytet”, 2008. – 576 s.
12. Shi W. Fiber lasers and their applications [Invited] / W. Shi, Q. Fang, X. Zhu et al. // *Appl. Opt.* – 2014. Vol. 53, No. 28, P. 6554–6568. DOI: 10.1364/AO.53.006554.
13. Korotkov P. A. Volokonni VKR lazery neperervnoi dii / P. A. Korotkov, H. S. Felinskyi. // *Ukr. fiz. zhurn. Ohliady*. – 2007. Т. 4, № 1. – S. 36-60. ISSN 2071-0194.
14. Zhou P. High-power fiber lasers based on tandem pumping / P. Zhou, H. Xiao, J. Leng et al. // *J. Opt. Soc. Amer. B.* – 2017. Vol. 34, No. 3. – P. A29-A36. DOI: 10.1364/JOSAB.34.000A29.
15. *Raman amplification in fiber optical communication systems* / Ed. by H. Clifford, Govind P. Agrawal. – Elsevier Academic Press, 2005. – 374 p.
16. Bromage J. Raman amplification for fiber communication systems // *IEEE Journal of Lightwave Technology*. – 2004. – Vol. 22, no.1. – P. 79–93.



17. 442 km repeaterless transmission in a 10 Gbit/s system experiment / P.B. Hansen, L. Eskildsen, S.G. Grubb [et al.] // Electronics Letters. – 1996. – Vol. 32, no.11. – P. 1018–1019.
18. 3.28Tb/s transmission over 3×100 km of nonzero-dispersion fiber using dual C- and L-band distributed Raman amplification / T.N. Nielsen, A.J. Stentz, K. Rottwitt [et al.] // IEEE Photonics Technology Letters. – 2000. – Vol. 12, no. 8. – P. 1079–1081.
19. 3.2Tb/s ( $80 \times 42,7\text{Gb/s}$ ) transmission over  $20 \times 100$  km of nonzero dispersion fiber with simultaneous C + L-band dispersion compensation / B. Zhu, L. Leng, L.E. Nelson [et al.] // Proc. OFS 2002. Postdeadline paper FC8. – 2002. – P. FC8-1–FC8-3.
20. 100 Gb/s ( $10 \times 10\text{Gb/s}$ ) WDM transmission over 7200 km using distributed Raman amplification / M. Nissov, C.R. Davidson, K. Rottwitt [et al.] // Proc. of IOOC – ECOC'1997. –Edinburgh, Scotland, 1997. – P. 9–12.
21. 320-Gb/s single-channel pseudolinear transmission over 200 km of nonzero-dispersion fiber / B. Mikkelsen, G. Raybon, R.-J. Essiambre [et al.] // IEEE Photonics Technology Letters. – 2000. – Vol. 12, no. 10. – P. 1400–1402.
22. Comparison of Return-to-Zero Differential Phase- Shift Keying and On-Off Keying in Long-Haul Dispersion Managed Transmission / C. Xu, X. Liu, L.F. Mollenauer, X. Wei // IEEE Photonics Technology Letters. – 2003. – Vol. 15. – P. 617–619.
23. Raman Amplifiers for Telecommunications 2: Sub-systems and Systems / Edited by M.N. Islam – New York: Springer-Verlag, 2004. – 732 p.
24. Bromage, K. Rottwitt, and M. E. Lines, “A method to predict the Raman gain spectra of germanosilicate fibers with arbitrary index profiles,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 14, pp. 24–26, 2002.
25. Serdeha I. V., Hryhoruk V. I., Felinskyi H. S. Spektroskopichni osoblyvosti profiliv VKR pidsvylenia v odnomodovykh voloknakh na osnovi kvartsovoho skla. Ukrainskyi fizychnyi zhurnal. 2018. T. 63, № 8, S. 681–699.
26. Hryhoruk V. I., Zahorodnii V. V., Ivanchuk A. V. ta in. Vzaiemodiiia fizychnykh poliv z nanostrukturovanymy materialamy. Rozd. 2. Volokonni VKR lazery ta pidsvylyuvachi optychnoho vyprominiuvannia: monohrafiia Kyiv: Karavela, 2018. S. 62–128.

**Korchak O.V., Krutin Y.V.**

**FEATURES OF SIMULATION OF A RAMAN AMPLIFIER  
BASED ON A DISPERSION COMPENSATING FIBER WITH UNIFORM GAIN BAND  
IN C+L TELECOMMUNICATION WINDOWS**

*The results of the modeling of a broadband optical fiber Raman amplifier (FRA) with a multi-wavelength pumping and a uniform gain band covering C+L telecommunication windows in an active fiber with compensation of dispersion type DCF are presented. It has been demonstrated that the SRS gain profile, that is, the distribution of the optical radiation gain over the frequency range of the Stokes shift in Raman scattering, is the main characteristic of the FRA. Optimum values of the parameters of the pump sources are presented, namely spectral distribution of wavelengths and relative power of all pump sources, at which it is possible to obtain a minimum non-uniformity of the gain band. Based on the results of the calculations, a minimum non-uniformity of the SRS gain profile on almost the whole operating range was obtained for 6 pumping sources. It is shown that the analytical form of the gain profile greatly simplifies the procedure of modeling of the main gain parameters for FRA with multi-wavelength pumping for 3-6 wavelengths of pump sources. Furthermore, the proposed simplified analytical model makes it possible to quickly obtain theoretical estimates of the main parameters of the operating wavelength band of FRA with an arbitrary number of pumping lasers in the multiwave pump source.*

**Keywords:** *stimulated Raman scattering (SRS), fiber Raman amplifier (FRA), Raman gain profile, multiwavelength pumping, uneven gain.*

## АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЛАЗЕРНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПОБУДОВА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ЇХ ЗАХИСТУ

*У роботі проведено аналіз особливостей різноманітних систем зв'язку насамперед кабельних, оптоволоконних з використанням радіоканалу та лазерного зв'язку. Показані переваги та слабкі властивості цих систем. Собівартість цих чотирьох реалізацій порівняно однакові, час на розгортання у лазерної системи 1-2 тижня, що в декілька разів менше ніж у інших; пропускна спроможність порівняно однакові, однак максимальна діяльність зв'язку коротша – всього до 1200м. Показано, що суттєва перевага лазерних систем полягають у тому, що вони мають прозорість для більшості протоколів; швидкість передачі даних у анонсованому обладнанні до 1 Гбіт/с; висока якість зв'язку; відсутність необхідності дотримання спеціального дозволу; відносно низька собівартість обладнання тощо.*

*Крім того, в статті ставиться за основну мету узагальнення процесу імітаційного моделювання для створення захищеного лазерного каналу зв'язку за окремими етапами з формулюванням задач на кожному з них. Це дозволяє підвищити якість проведення досліджень та дає можливість створення нової конкурентоспроможної продукції. Під імітацією розуміється досягнення суті явища, не прибігаючи до експериментів на реальному об'єкті. При створенні концептуальної моделі практично паралельно формується область вихідних даних (інформаційний простір). На даному етапі виявляються кількісні характеристики (параметри) функціонування об'єкта і його елементів, чисельні значення яких складають вихідні дані для моделювання. Звично, що значна частина параметрів системи – це ймовірні величини. Тому особливе значення при формуванні вихідних даних має вибір законів розподілу ймовірних величин, апроксимація функцій тощо.*

*Ключові слова: лазерний зв'язок, обмін інформацією, швидкість передачі даних, захищений лазерний канал зв'язку, імітаційне моделювання, модель, параметри системи.*

**Вступ та аналіз останніх досліджень.** Сьогодні у світі існує велика кількість мереж, що виконують різноманітні функції та вирішують багато технічних, соціальних, військових та безпекових завдань. Слід відзначити, що постійно існує низка проблем подальшого розвитку зв'язку, одним з найважливіших з них є підвищення пропускної здатності і особливо захисту від несанкціонованого проникнення [1].

Лазерний зв'язок на відміну від GSM дозволяє здійснювати з'єднання типу «точка - точка» зі швидкістю передачі інформації до 155 Мбіт/с. У комп'ютерних та телефонних мережах лазерний зв'язок забезпечує обмін інформацією в режимі повного дуплексу. Разом з тим, що не потрібна надвисока швидкість наприклад у системах управління, технологічного та охоронного телебачення, є можливість включати в канал декілька потоків інформації. Захищеність лазерного каналу також є найвищий рівень серед інших, насамперед кабельного, оптоволоконного та з використанням радіоканалу. Собівартість цих чотирьох реалізацій порівняно однакові, час на розгортання у лазерної системи 1-2 тижня, що в декілька разів менше ніж у інших; пропускна спроможність порівняно однакові, однак максимальна дія зв'язку коротша – всього до 1200м.

Іншими переваги лазерних систем є наступні [2]:

- прозорість для більшості протоколів;
- швидкість передачі даних у анонсованому обладнанні до 1 Гбіт/с;

- висока якість зв'язку;
- відсутність необхідності дотримання спеціального дозволу;
- відносно низька собівартість обладнання тощо.

У самої технологічно розвинутої країни світу США використовуються три провідних найбільш популярних лазерних систем – Loo, OmniBeam – 2000 та Omni Beam – 4000. Сімейство Loo є базовим і дозволяє передачу даних і голосових повідомлень на відстані до 1000м. Сімейство Omni – Beam – 2000 має такі ж характеристики, але дозволяє передачу на 1200м і дозволяє передавати відеозображення і комбінації його з голосом. Сімейство Omni Beam – 4000 високоскоросне 34 – 52 Мбіт/с на відстані 1200м та 100 – 155 Мбіт/с до 1000м і має великі спроможності до модернізації [3]. Якість та надійність роботи лазерних систем та приладів залежать від властивостей основних функціональних матеріалів, особливостей конструкцій та технології їх виготовлення [4].

В статті ставиться за основну мету узагальнення процесу імітаційного моделювання для створення захищеного лазерного каналу зв'язку за окремими етапами з формулюванням задач на кожному з них. Це дозволить підвищити якість проведення досліджень та дасть можливість створення нової конкурентоспроможної продукції. Під імітацією розуміється досягнення суті явища, не прибігаючи до експериментів на реальному об'єкті. Частіше за все під імітаційною моделлю розуміється логіко-математичний опис об'єкта, який може бути використаний для експериментування на комп'ютері з метою проектування, аналізу й оцінки функціонування об'єкта [5]. Імітаційне моделювання – техніка чисельних експериментів, за допомогою яких можливо отримати емпіричні оцінки ступеня впливу різноманітних факторів, які точно не визначені, на залежні від них результати. Мета імітаційного моделювання складається з відтворення поведінки досліджуваної системи на підставі результатів аналізу найбільш важливих взаємозв'язків між її елементами.

**Основні результати досліджень.** Для моделювання необхідно створити модель і провести її дослідження. Процес створення моделі проходить декілька стадій. Він починається з дослідження реальної системи, її внутрішньої структури і змісту взаємозв'язків між її елементами. В укрупненому плані імітаційне моделювання припускає наявність наступних етапів:

- розробка концептуальної моделі;
- підготовка вихідних даних;
- вибір засобів моделювання;
- розробка програмної моделі;
- перевірка адекватності моделі і її коригування;
- планування імітаційних експериментів;
- проведення імітаційних експериментів;
- 1. аналіз результатів моделювання.

Побудова імітаційної моделі звично починають з представлення об'єкта в вигляді «чорного» ящика з множиною входів  $X$  і виходів  $Y$  (рис.1).

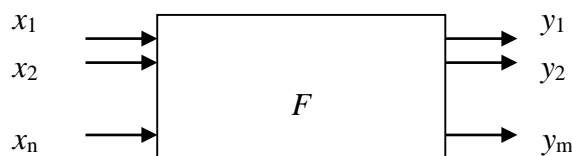


Рисунок 1 – Формальне представлення об'єкта

Під входами розуміється будь-які впливи на об'єкт, наприклад, натискування кнопки «пуск», атмосферні впливи, сигнали генератора тактової частоти і т.ін. реакцію об'єкта досліджують на виходах  $Y$ , які можуть буди зміни форми сигналу, значення коефіцієнту готовності тощо. Для побудови моделі необхідно описати сукупність вхідних (незалежних) змінних  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , задати закон змін – функціональну залежність  $F$  і визначити вихідні данні (показники)  $Y$ . Тоді математична модель системи або процесу має вигляд:

$$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

По мірі вивчення логіки функціонування пристрою його структурну модель деталізують різноманітними блоками і взаємозв'язками між ними. Для одного і того ж самого об'єкта можливо скласти велику множину таких моделей. Вони будуть відрізнятися ступеню деталізації і урахування той чи іншої особливості режимів функціонування об'єкта. Тому всі етапи імітаційного моделювання пронизані наперед сформульованою метою досліджень. Метою досліджень може бути визначення вірогідності приймання сигналу, визначення показника похибки вимірювання, дослідження впливу показників середовища розповсюдження сигналу і т.ін.

Після визначення мети моделювання будується концептуальна модель досліджуваного об'єкта. Концептуальна модель – це абстрактна модель, яка визначає склад і структуру об'єкта, властивості елементів і причинне - наслідкові зв'язки, які притаманні об'єкту і суттєві для досягнення мети моделювання. Так, наприклад, суттєвими елементами лазерного каналу зв'язку є лазерний випромінювач та приймач лазерного випромінювання, які повинні бути обов'язково пов'язані між собою за основними параметрами. В концептуальній моделі звичайно в словесної формі доводяться відомості про природу і параметри (характеристики) елементарних явищ (властивостей) об'єкта дослідження, про вид та ступень взаємодії між ними, про місце і значення кожного елементарного явища в загальному процесі функціонування об'єкта. Елементарними явищами для цього прикладу є: пряmolінійність розповсюдження лазерного випромінювання, спектральні та імпульсні характеристики передавача та приймача лазерного випромінювання повинні співпадати тощо. Наступним кроком на шляху створення концептуальної моделі є вибір рівня деталізації моделі (стратифікація). Модель об'єкта уявляється у вигляді сукупності частин (елементів). В цю сукупність включаються всі частини, які забезпечують досягнення мети моделювання. Звісно, що для оцінки максимальної протяжності каналу зв'язку обов'язково потрібно врахувати параметри оптичної системи як передавача та і приймача випромінювання.

При створенні концептуальної моделі практично паралельно формується область вихідних даних (інформаційний простір). На даному етапі виявляються кількісні характеристики (параметри) функціонування об'єкта і його елементів, чисельні значення яких складають вихідні дані для моделювання. Звично, що значна частина параметрів системи – це ймовірні величини. Тому особливе значення при формуванні вихідних даних має вибір законів розподілу ймовірних величин, апроксимація функцій тощо.

Так, в загальному випадку будь-яка система зв'язку може бути подана наступним набором елементів (рис. 2). При цьому для моделі лазерної системи зв'язку потрібна більша деталізація (рис. 3).

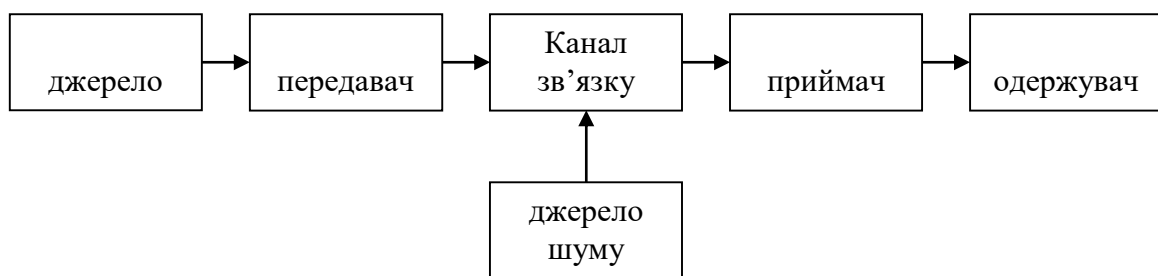


Рисунок 2 – Спрощене представлення системи зв'язку

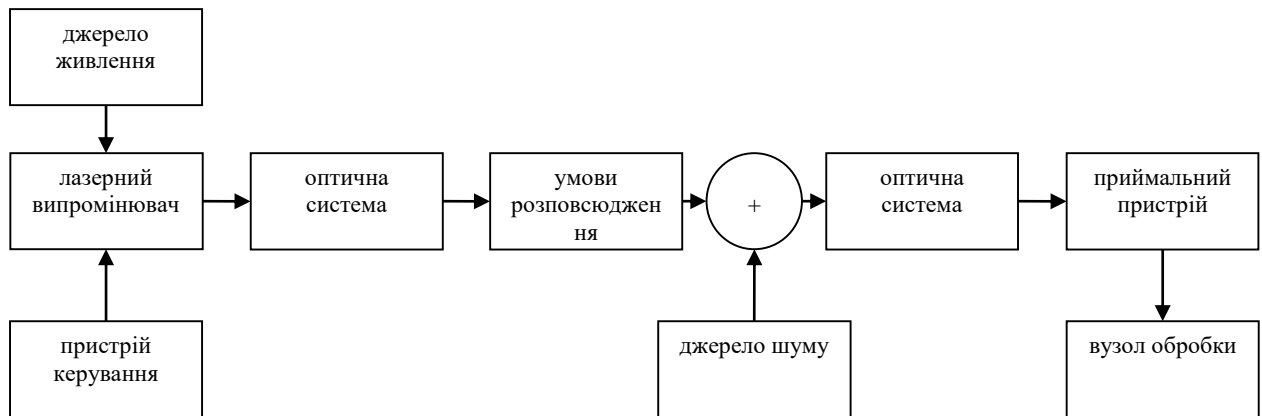


Рисунок 3 – Представлення моделі лазерної системи зв'язку

Поодиноким випадком лазерного каналу зв'язку може бути вимірювальний канал лазерного далекоміра (рис. 4), де передавачем відображеного лазерного сигналу є сама ціль з характеристиками, які залежать від її розміру, покриття, взаємного розташування та її оточення.

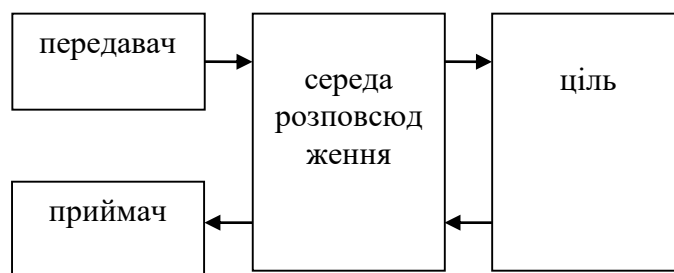


Рисунок 4 – Структура вимірювального каналу лазерного далекоміру

Програмні і технічні засоби моделювання вибираються з урахуванням ряду критеріїв. Неодмінна умова при цьому – достатність і повнота засобів для реалізації концептуальної моделі. Серед інших критеріїв можна назвати доступність, простоту і легкість освоєння, швидкість і коректність створення програмної моделі. Якщо вибір технічних засобів в дійсний час не викликає особливих забруднень, то вибір програмних засобів достатньо складний. В наступний час відомо більш 500 мов моделювання: Simulink, ИМИТАК [8], Triad.net, AnyLogic, Aimsun [9], Arena [10], GPSS, simuLab [11] та інші. Автори статті вивчили низку мов моделювання та мають підстави стверджувати, що найбільш зручною мовою для моделювання каналів зв'язку є система MATLAB з пакетом Simulink [12]. Пакет Simulink дозволяє здійснювати моделювання поведінки динамічних нелінійних систем. Користувач здійснює графічну збірку будь-якої системи з окремих блоків, які зберігаються в бібліотеках Simulink. В результаті такої збірки утворюється модель системи (S-модель), яка зберігається в файлі з розширенням .mdl. Наприклад, систему зв'язку (див. рис.2) в Simulink [13] можливо представити наступним чином (рис. 5).

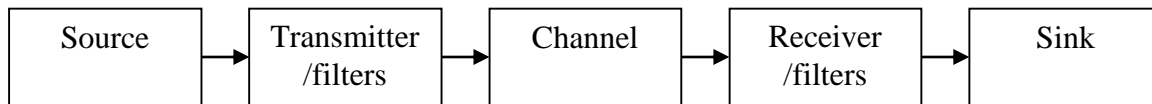


Рисунок 5 – Представлення системи зв'язку у пакеті Simulink

Прикінцеві етапи побудови моделі не менш важливі за ступенем відповідальності. Частіше за все їх визначають, як оцінку адаптації розробленої системи, і часто не враховують, що тут мають місце дві різноманітні по суті проблеми. Перша – верифікація, тобто наскільки створена модель близька реально існуючому явищу. Друга – наскільки дана модель придатна для дослідження нових, ще не спробуваних значень аргументів і параметрів системи. Перша проблема вирішується ретроспективним методом або методом контрольних точок. Звично в системі задаються такі значення параметрів і початкових значень, в які вона повинна прийти через визначену кількість кроків модельного часу до стану, яке звісно досліднику. Імітаційне моделювання має особливі труднощі при рішенні проблеми адекватності моделі, оскільки багатий інформаційний фонд і сама модель:

- сукупність великої кількості моделей;
- методи зовнішньої оцінки, де експерт оцінює входи, виходи, структуру, приблизні результати;

- необхідна трасування моделі, де аналізується логіка моделювання;
- внутрішня оцінка, де використовуються статистичні критерії типу критерію Фішера;
- можливе використання історичних підходів.

При плануванні імітаційних експериментів припускається рішення наступних проблем:

- визначення обсягу вибірки;
- визначення кількості факторів впливу;
- багатокomпонентність функції реалізації.

Проведення імітаційних експериментів здійснюється відповідно до вибраного плану. Особливо значення відводиться підготовці вихідних даних і діалогової системі [14]. Якісну діалогову структуру визначає повністю зв'язаний граф. Скорочення часу моделювання систем може бути досягнуте за рахунок використання більш точних методів оцінювання. Як звісно з математичної статистики, найбільшу точність при заданому обсязі вибірки мають ефективні оцінки. Оптимальна фільтрація і метод максимального правдоподібності дають загальний метод отримання таких оцінок.

### Висновки

1. В роботі показано переваги лазерних систем зв'язку перед провідниковими кабельними, оптоволоконними та з радіоканалом.

2. Проведено аналіз результатів моделювання заснований на математичній обробці отриманих результатів. Тут використовуються методи математичної статистики: параметричне і непараметричне оцінювання, перевірка гіпотез тощо, прикладом параметричної оцінки є вибіркове середнє показника ефективності.

3. Серед непараметричних методів оцінки найбільш розповсюдженим є метод гістограм.

4. Результати моделювання доцільно представляти у вигляді чисельних значень, графіками, гістограмами.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Методы и средства защиты информации. Несанкционированное получение информации. Монография / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко. – Харьков: ТОВ «Фактор-Друк», 2008. – Том 1. – 464 с.

2. Ленков С.В., Сєлюков О.В. Історія і тенденції розвитку спеціальної техніки лазерної далекометрії // Журнал «Сучасна спеціальна техніка». – К., 2010. - №4(23). – С.– 47 – 53.

3. Кулик Т.К., Прохоров Д.В. Методика сравнительной оценки работоспособности лазерных линий связи // *Технология и средства связи*, 2000, №6, С. 8 – 18.
4. Напівпровідникові лазери з електронним накачуванням. Том 2. Активні середовища. Розробка приладів. Монографія / О.С. Гаркавенко, С.В. Ленков, В.А. Мокрицький, В.В. Видолоб. – Одеса, Поліграф, 2006. -456 с.
5. Хемди А. Иммитационное моделирование.-М.: «Вильямс», 2007., 216 с.
6. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Иммитационное моделирование.-М.: МГТУ им. Баумана, 2008., 172 с.
7. Ленков С.В., Джулій В.М., Мірошніченко О.В., Бойко Б.О. Метод передачі прихованої інформації без спотворення растрового зображення // *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. – К., 2017. – № 58. – С.115 – 123.
8. <http://imitak.ru>
9. <http://www.aimsun.com>
10. <http://www.arenasimulation.com>
11. <http://www.simulab.ru>
12. SIMULINK. Dynamic System Simulation formatlab/Version 2.2. Math works Inc., 2006/
13. Математическое моделирование систем связи: методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Математическое моделирование каналов и систем телекоммуникаций».-Ульяновск, УЛГТУ, 2007.-24 с.
14. Методы и средства защиты информации. Информационная безопасность. Монография / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко. – Харьков: ТОВ «Фактор-Друк», 2008. – Том 2. – 342 с.

#### REFERENCES:

1. Lenkov S.V., Peregudov D.A. and Horoshko V.A. (2008). *Metody i sredstva zashhity informacii. Nesankcionirovannoe poluchenie informacii*. Har'kov: Faktor-Druk», vol. 1, 464 p.
2. Ljenkov S.V., Sjeljukov O.V. (2010). *Istorija i tendencii' rozvytku special'noi' tehniky lazernoi' dalekometrii'*. *Suchasna special'na tehnika*. Kyiv, no. 4(23), pp. 47 – 53.
3. Kulik T.K., Prohorov D.V. (2000). *Metodika sravnitel'noj ocenki rabotosposobnosti lazernyh linij svjazi. Tehnologija i sredstva svjazi*, no. 6, pp. 8 – 18.
4. Garkavenko O.S., Ljenkov S.V., V.A. Mokryc'kyj and Vydolob V.V. (2006). *Napivprovodnykovi lazery z elektronnyim nakachuvannjam*. Vol. 2. *Aktyvni sere dovys'ha. Rozrobka prykladiv*. Odesa, Poligraf, 456 p.
5. Hemdi A. (2007). *Immitacionnoe modelirovanie*. M.: «Vil'jams», 216 p.
6. Strogalev V.P., Tolkacheva I.O. (2008). *Immitacionnoe modelirovanie*. Moscow: MG TU im. Baumana, 172 p.
7. Ljenkov S.V., Dzhulij V.M., Mirosnichenko O.V. and Bojko B.O. (2017). *Metod peredachi pryhovanoi' informacii' bez spotvorennja rastrovogo zobrazhennja*. *Zbirnyk naukovyh prac' Vijs'kovogo instytutu Kyi'vs'kogo nacional'nogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. Kyiv, no. 58, pp. 115 – 123.
8. *Imitacionnoe modelirovanie jekonomicheskikh sistem*, available at :<http://imitak.ru>.
9. *Modelirovanie i II dlja mobil'nosti budushhego*, available at: <http://www.aimsun.com>
10. *Programmnoe obespechenie dlja modelirovanija areny*, available at: <http://www.arenasimulation.com>
11. available at : <http://www.simulab.ru>.
12. SIMULINK. Dynamic System Simulation formatlab/Version 2.2. Math works Inc., 2006.
13. *Matematicheskoe modelirovanie sistem svjazi: metodicheskie ukazanija k laboratornym rabotam po discipline “Matematicheskoe modelirovanie kanalov i sistem telekommunikacij»*. Ul'janovsk, UIGTU, 2007, 24p.
14. Lenkov S.V., Peregudov D.A and Horoshko V.A. (2008). *Metody i sredstva zashhity informacii. Informacionnaja bezopasnost'*. Har'kov: Faktor-Druk, vol. 2, 342 p.

**D.Sci. Tech., prof. Lienkov S.V., PhD Pampukha I.V., Ryaba L.O., Miroshnichenko K.O.  
ANALYSIS OF FEATURES OF LASER SYSTEMS CONNECTION AND CONSTRUCTION  
OF SIMULATION MODEL OF THEIR PROTECTION**

*The analysis of features of various communication systems first of all cable, fiber-optic with use of a radio channel and laser communication is carried out in work. The advantages and disadvantages of these systems are shown. The cost of these four implementations is relatively the same, the time for deployment in the laser system is 1-2 weeks, which is several times less than in the others; bandwidth is relatively the same, but the maximum communication activity is shorter - only up to 1200m. It has been shown that a significant advantage of laser systems is that they have transparency for most protocols; - data transfer rate in the announced equipment up to 1 Gbps; - high quality of communication; - no need to comply with a special permit; - relatively low cost of equipment, etc.*

*In addition, the main goal of the article is to generalize the process of simulation to create a secure laser communication channel in separate stages with the formulation of tasks on each of them. This improves the quality of research and enables the creation of new competitive products. Simulation means achieving the essence of the phenomenon without resorting to experiments on a real object. When creating a conceptual model, the area of source data (information space) is formed almost in parallel. At this stage, the quantitative characteristics (parameters) of the object and its elements are revealed, the numerical values of which are the initial data for modeling. It is usual that a significant part of the system parameters are probable values. Therefore, the choice of the laws of distribution of probable quantities, approximation of functions, etc. is of special importance in the formation of the initial data.*

**Keywords:** *Methods and means of information protection. Information security.*



## АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ЗБРОЙНИМИ СИЛАМИ УКРАЇНИ

*Зростаюча динаміка ведення збройної боротьби та великий обсяг інформації, яка підлягає аналізу, призводить до того, що людина вже не в змозі за дуже короткий час провести аналіз необхідного обсягу інформації та прийняти зважене рішення. За таких обставин виникає необхідність застосування сучасних технологій управління силами та засобами збройних сил для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися, та, які б ефективно поєднували простір та час зі значними за обсягом супутніми даними у вигляді атрибутивної інформації щодо об'єктів оперативної обстановки, довідкової інформації про театр (район) ведення бойових дій, кліматичних умов, даних розвідки тощо.*

*Широке впровадження засобів електронно-обчислювальної техніки в системи управління Збройних Сил зумовлює необхідність розроблення нових підходів щодо автоматизації процесів обробки геопросторової інформації, вдосконалення організації, технологій і технічних засобів отримання інформації про місцевість, її опрацювання та передачі користувачам. Тому для підвищення ефективності прийняття рішень та вирішення військово-прикладних задач до прийняття рішень на всіх ланках військового управління необхідно залучити геоінформаційні системи в якості складової Автоматизованої системи управління Збройних Сил України (АСУ ЗСУ). Геоінформаційні системи дозволяють сформувати єдину картину ситуаційної обізнаності, розробити сучасні методи контролю і управління засобами збройної боротьби, включаючи безпілотні і роботизовані комплекси, підвищити прозорість і оперативність роботи штабів та інших органів управління.*

*Актуальність та необхідність створення і впровадження геоінформаційних підсистем військового призначення як складової інформаційного забезпечення АСУ обумовлена загальним підвищенням вимог до оперативності, повноти і якості інформаційного забезпечення процесу управління військами (силами).*

*Ключові слова: геоінформаційне забезпечення, геоінформаційні технології, геоінформаційна підсистема, геопросторові дані, Автоматизована система управління, Збройні Сили України.*

**Вступ.** Сучасні тенденції розвитку та реформування Збройних Сил України зумовлюють обов'язкове залучення геоінформаційних технологій у військову сферу. Геоінформаційне забезпечення військ є вважливою складовою при прийнятті рішень на всіх ланках військового управління та при вирішенні військово-прикладних задач.

Широке впровадження засобів електронно-обчислювальної техніки в системи управління Збройних Сил країни зумовлює необхідність розроблення нових підходів щодо автоматизації процесів обробки геопросторової інформації, вдосконалення організації, технологій і технічних засобів отримання інформації про місцевість її опрацювання й передачі користувачам.

Аналіз напрямків використання геоінформаційних систем для військової сфери свідчить про необхідність розробки єдиної технології підготовки геопросторових даних для застосування в геоінформаційних підсистемах АСУ Збройних Сил України.

Актуальність та необхідність створення і впровадження геоінформаційних систем військового призначення як складової інформаційного забезпечення АСУ обумовлена загальним підвищенням вимог до оперативності, повноти і якості інформаційного забезпечення процесу управління військами (силами).

**Мета** статті полягає в аналізі використання геоінформаційних підсистем у складі автоматизованої системи управління Збройних Сил України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування інформаційних технологій у військовій сфері має свою специфіку, внаслідок чого технології, що використовуються, повинні відповідати ряду вимог, серед яких особливо важливою є підтримка безпечної роботи у повсякденній діяльності та при виконанні бойових завдань.

Сучасні інформаційні та мережеві технології у військовій справі є основою для інтеграції органів управління, засобів розвідки, спостереження, ураження, цілевказання, а також угруповань військ у високоадаптивну глобальну систему [1-4].

Геоінформаційні технології дозволяють сформувати єдину картину ситуаційної обізнаності, розробити сучасні методи контролю і управління засобами збройної боротьби, включаючи безпілотні і роботизовані комплекси, підвищити прозорість і оперативність роботи штабів та інших органів управління.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Застосування інформаційних технологій у військовій сфері має свою специфіку, внаслідок чого технології, що використовуються, повинні відповідати ряду вимог, серед яких особливо важливою є підтримка безпечної роботи у повсякденній діяльності та при виконанні бойових завдань.

Сучасні інформаційні та мережеві технології у військовій справі є основою для інтеграції органів управління, засобів розвідки, спостереження, ураження, цілевказання, а також угруповань військ у високоадаптивну глобальну систему [1, 2].

Геоінформаційні технології дозволяють сформувати єдину картину ситуаційної обізнаності, розробити сучасні методи контролю і управління засобами збройної боротьби, включаючи безпілотні і роботизовані комплекси, підвищити прозорість і оперативність роботи штабів та інших органів управління.

На сучасному етапі розбудови Збройних Сил важливою особливістю розвитку систем управління є надбання цими системами властивості наскрізного масштабування – від систем стратегічного рівня до систем управління безпосередньо окремими підрозділами (та навпаки). В той же час, склад та зміст інформаційного забезпечення для вирішення завдань управління діями військ (сил) на різних рівнях ієрархії органів військового управління має відмінності.

В цьому сенсі не становить виключення і геоінформаційне забезпечення.

Для усвідомлення вимог до геоінформаційного забезпечення розглянемо деякі аспекти роботи систем управління діями військ (сил) на різних рівнях [3, 4].

На стратегічному рівні система управління повинна збирати, обробляти і поширювати інформацію, тим самим дозволяючи військам (силам) оперативно і адекватно реагувати на постійні зміни оперативної обстановки.

Забезпечення постійної актуальності відображення загальної оперативної обстановки підвищує ситуаційну обізнаність командирів всіх рівнів, дозволяючи приймати зважені рішення. Основні можливості, необхідні при відтворенні оперативної обстановки у реальному часі, включають в себе можливість інтегрувати координати і зображення від датчиків різного типу, проводити аналіз співвідношення цих даних з метою усунення дублювань, обумовлених перекриттям поля зору датчиків. Датчики різного типу мають різні формати передачі інформації, періодичність та типи помилок, а також інші параметри. Крім того, важливу роль відіграє координатна прив'язка місця знаходження датчиків. Для забезпечення однозначного та точного отримання координат необхідно, щоб усі виміри базувалися на одному і тому ж картографічному матеріалі, або мали однозначні методи перетворення координат. Іншими словами, система управління повинна використовувати єдиний координатний простір. Реалізація цієї вимоги дозволяє створювати якомога точніше представлення оперативної обстановки, яка інтегрується з інформацією із різних джерел.

Автоматизований аналіз ситуації передбачає здатність використовувати можливості визначення напрямку розвитку подій безпосередньо в системі управління, в тому числі на основі просторового аналізу поведінки об'єктів оперативної обстановки. Такі системи надають додатковий рівень аналізу для прийняття рішень органами управління. Існує кілька підходів аналізу ситуації, включаючи аналіз кінематичних характеристик об'єктів оперативної обстановки на географічних мережах, просторово-часовий аналіз змін території в районі

проведення операцій військами (силами), аналізу інших просторово пов'язаних даних. Приклади таких підходів включають ідентифікацію загроз на основі автоматичного відстеження характеристик та інших кінематичних даних таких, як наближення або проникнення на обмежені території, перевищення конкретної висоти / швидкості для певних типів траєкторій руху об'єктів оперативної обстановки, виявлення маневрів об'єктів, перешкод, що унеможливають рух тощо.

Властивість генералізації просторово розподіленої інформації для відображення на інформаційних екранах і табло в органах управління різного рівня в межах єдиного геоінформаційного простору дає змогу надавати інформацію про об'єкти оперативної обстановки в обсязі, необхідному для певного рівня. Наприклад, данні розвідки про нові кулеметні вогневі точки внесені в систему одразу відображаються на операційних табло (екранах портативних комп'ютерів) командирів тактичних підрозділів і в той же час приховані (невідображені) на операційних екранах стратегічного рівня.

Якщо органам управління вищого рівня знадобиться провести додатковий аналіз дій тактичних підрозділів, то повинна бути можливість отримати всю інформацію, яку використовує командир тактичної ланки.

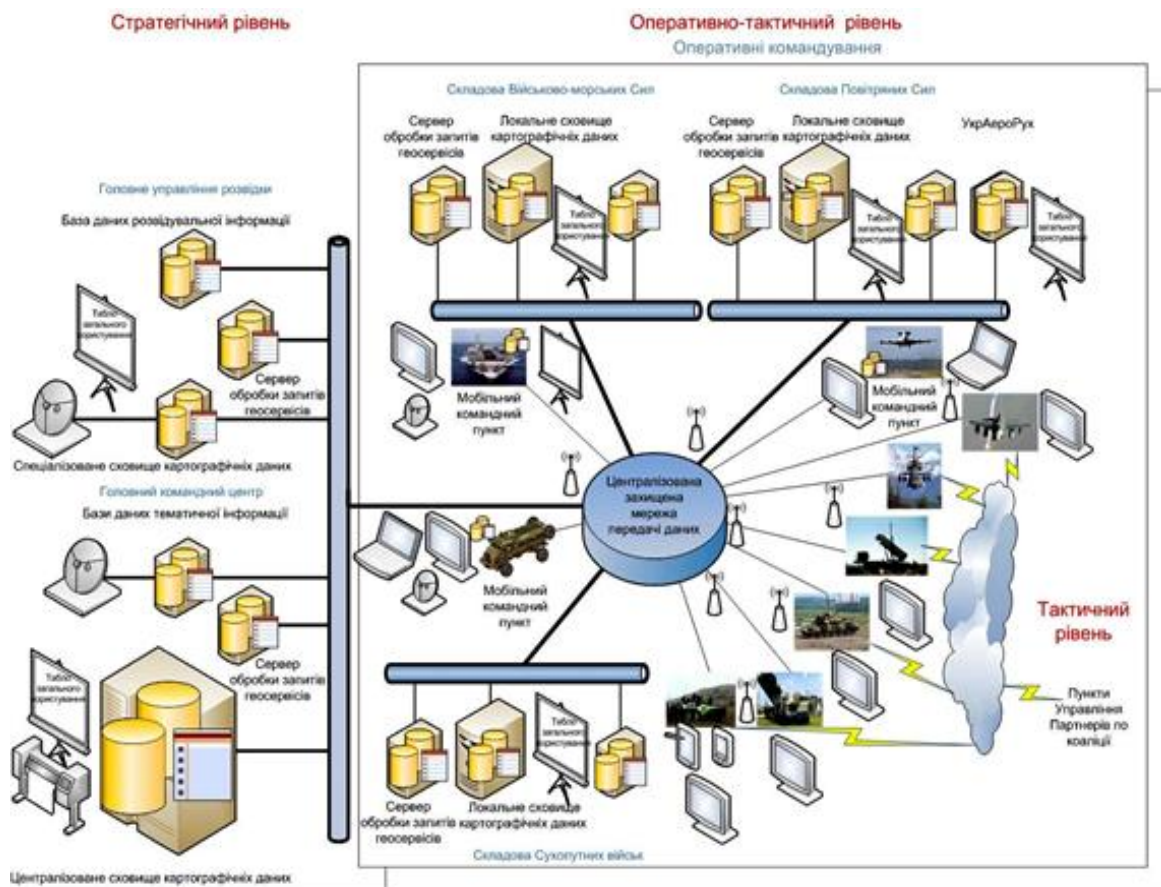


Рисунок 1 – Геоінформаційне забезпечення системи управління

При проведенні планування застосування військ (сил) та в ході ведення бойових дій важливу роль має оперативне затвердження плануючих та бойових документів у вигляді рішень командирів всіх рівнів. Однією з особливостей геоінформаційного забезпечення повинна бути функція видання та збереження бойових графічних документів в електронній формі з можливістю колективної роботи з ними. В той же час система управління повинна підтримувати процес розгляду та затвердження електронних документів, у тому числі графічних на основі електронних карт.

Така автоматизація скорочує час відгуку для виконання завдання, гарантує, що завданням було надано офіційне затвердження, і знімає навантаження з координації процесу прийняття рішень, надаючи більше часу для оперативної діяльності персоналу органів управління [5,6].

В процесі планування застосування військ (сил) бере участь певна кількість осіб, відповідальних за окремі напрямки оперативного забезпечення. Зрозуміло, що вимоги до представлення інформації для вирішення завдань окремого виду оперативного забезпечення різні. В даній ситуації від геоінформаційного забезпечення вимагається можливість створювати потрібне інформаційне оточення для кожної окремої посадової особи, не втративши при цьому властивостей системи управління щодо узгодженості та синхронізації всіх її елементів. Реалізація такої вимоги досягається використанням єдиного ядра геоінформаційного забезпечення, яке надає розробникам програмного забезпечення і користувачам базові геоінформаційні сервіси та інструментарій для їх спільного використання при вирішенні спеціалізованих завдань. При цьому ядро геоінформаційного забезпечення має діяти в просторово розподіленому середовищі, бути захищеним від зовнішнього втручання і бути максимально доступним для внутрішніх користувачів згідно встановленого розподілу повноважень.

Використання такого підходу дає змогу забезпечити єдиний (уніфікований) підхід до використання просторово розподіленої інформації, гнучкого масштабування елементів системи від тактичного рівня до стратегічного рівня (і навпаки), та дозволяє зосередитися на вирішенні прикладних завдань.

Геоінформаційне забезпечення системи управління повинне складатися з окремих предметно-орієнтованих модулів в рамках загальної сервісно-орієнтованої архітектури (рис. 1).

Геоінформаційне забезпечення системи управління повинне використовувати функціональні компоненти, які вбудовуються у відкриту, розширювану програмно-апаратну платформу для досягнення інтеоперабельності використання просторово розподіленої інформації, використовуючи стандартні правила в рамках базових послуг, які підтримують обмін повідомленнями, перетворення даних задля подальшого їх поширення (розповсюдження) шляхом публікації та підписки на стандартні і спеціально створені шаблони проектування.

Процес планування підготовки та застосування військ (сил) включає оперативне планування в рамках одного виду оперативного забезпечення для різних рівнів, яке повинне бути узгоджене з іншими видами оперативного забезпечення за місцем та послідовністю в часі. Отже, геоінформаційне забезпечення цього процесу повинне забезпечити сумісну роботу між різними органами управління (ланками та службами) Збройних Сил України, не втративши при цьому єдності підходів до використання просторово розподіленої та іншої інформації [7].

При цьому за актуальність та достовірність тематичної інформації в межах окремого виду оперативного забезпечення відповідає її власник (ініціатор). Це інформація про стан систем зв'язку, озброєння та військової техніки, обладнання інженерних позицій, стан логістичного забезпечення, наявність та стан особового складу, дані розвідки тощо, тобто вся інформація, яка може бути введена в систему управління та використана в процесі підготовки та застосування військ (сил).

Система відображення оперативної обстановки та супутніх даних повинна забезпечувати графічне представлення інформації у робочій зоні перегляду, дозволяючи включати відео, графіки, таблиці та інші нетипові для геоінформаційного забезпечення види зображення інформації, які відносяться до просторово-розподілених об'єктів [8].

Будь-які зміни оперативної обстановки або рішень щодо виконання завдань військами (силами) одразу повинні з'являтися у відповідних місцях та у відповідних посадових осіб.

Для більш детального ознайомлення з місцевістю та всебічного вивчення її властивостей застосовуються тривимірні моделі. Ці моделі місцевості генеруються на основі даних про

рельєф, закладених в базі даних електронних карт, та уточнюються за даними аеро-, фото- та космічної зйомки [9].

Тривимірні моделі місцевості використовують при аналізі оперативної обстановки, в задачах моделювання бойових дій військ (сил), в комплексних розрахункових задачах за напрямками оперативного забезпечення в ході проведення навчань особового складу та посадових осіб органів військового управління.

Як відомо, операції військ (сил) за типом поділяються на операції сухопутних військ (сил), повітряних військ (сил), ППО, військово-морських сил та міжвидових угруповань військ (сил). Отже, геоінформаційне забезпечення повинно враховувати особливості процесу планування та проведення операцій кожного з наведених типів.

В реальних умовах підготовка операцій, як правило, здійснюється органами військового управління відповідних видів збройних сил та узгоджується з силами забезпечення і органами військового управління вищого рівня. Бойове застосування військ (сил) здійснюється виключно органами військового управління за належністю [10]. В такій ситуації геоінформаційне забезпечення повинне надати заздалегідь налаштовані шаблони сервісів та технологій взаємодії між ними [8].

Останнім часом паралельно з фазами планування та проведення операцій військ (сил) проводяться інформаційні операції. Для підвищення ефективності такого роду дій, як правило, використовується просторовий аналіз на основі геоінформаційного забезпечення. Для цього використовується інформація з баз картографічних даних та інших джерел про райони проживання етнічних груп населення, умови їх життя, наявність корисних копалин, промислових підприємств, об'єктів культурної та соціальної сфери.

Для досягнення тактичної переваги на полі бою необхідно забезпечити постійну ситуаційну обізнаність командирів тактичної ланки управління. В цьому сенсі завданнями геоінформаційного забезпечення є забезпечення командирів детальними картами, планами та знімками району ведення бойових дій, відображеннями об'єктів оперативної обстановки на портативних пристроях в умовах суттєвих обмежень пропускної здатності ліній передачі даних.

З цією метою для успішного проведення операцій завчасно створюються і доводяться до військ топографічні карти масштабу 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, а також карти масштабу 1:10 000 та 1:25 000. У зв'язку з тим, що тактичні підрозділи діють на невеликих територіях, дані карти є більш зручними, вони надають більш детальну інформацію про місцевість. На них більш точно відображаються промислові, господарські та військові об'єкти, дорожні шляхи, лінії електропередач, ріки та озера, гірські перевали тощо [11]. Досвід застосування інженерних топографічних підрозділів під час проведення миротворчих операцій продемонстрував, що найбільш ефективним є виготовлення топографічних карт, карт району цілей, різних видів спеціальних карт, фотокарт, різних видів довідок про місцевість безпосередньо в районі проведення операцій військ (сил) [12].

ГІС дає можливість створювати інформаційні продукти, точно відповідають вимогам користувача, дають можливість візуалізації картографічної інформації, недоступної для паперових карт. Тривимірний показ місцевості з конкретної точки місцезнаходження спостерігача або віртуальний огляд місцевості дають повнішу картину команду, ніж паперова карта з нанесеною на ній обстановкою.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Таким чином, зростаючі можливості використання перспективних інформаційних технологій у військовій сфері змушують переглянути традиційні підходи до використання засобів та методів сумісного аналізу наявної інформації щодо дій військ (сил). Зростаюча динаміка ведення збройної боротьби та великий обсяг інформації, яка підлягає аналізу, призводить до того, що людина вже не в змозі за дуже короткий час провести аналіз необхідного обсягу інформації та прийняти зважене рішення. За таких обставин виникає необхідність застосування нових технологій управління силами та засобами збройних сил для аналізу та прийняття рішень, відображення ситуацій, що склалися. Вони дають можливість прогнозувати можливі варіанти

розвитку подій та пропонувати командирам будь-якого рівня різні шляхи досягнення оптимального результату.

Для вирішення таких завдань необхідно використовувати технології, які ефективно поєднують простір та час зі значними за обсягом супутніми даними у вигляді атрибутивної інформації щодо об'єктів оперативної обстановки, довідкової інформації про театр (район) ведення бойових дій, кліматичні умови, дані розвідки тощо. Саме для вирішення подібних завдань в арміях багатьох держав світу використовуються геоінформаційні технології.

Геоінформаційні підсистеми в складі АСУ Збройних Сил України забезпечать наступне:

- формування єдиного геоінформаційного простору в межах театру воєнних дій військ (сил);
- відображення оперативної обстановки на картографічному фоні з використанням загальноприйнятої символіки;
- генералізацію (масштабування) картографічної інформації в залежності від завдань, які вирішуються;
- постачання картографічних даних для забезпечення постановки завдань щодо реалізації рішень командирів всіх рівнів ієрархії підпорядкованості;
- обробку координатної та растрової інформації від всіх видів розвідки (аеро-, фото-космічні знімки);
- поєднання просторово розподіленої інформації з інформацією з тематичних баз даних, довідковою та іншою інформацією;
- надання технологій для автоматизованого аналізу оперативної обстановки з метою отримання вихідних даних для виявлення загроз та прогнозування їх розвитку, проведення моделювання і надання рекомендацій командирам відповідних рівнів;
- геоінформаційну підтримку автоматизованого вирішення завдань стосовно видів оперативного забезпечення Збройних Сил України (комплекси розрахункових задач);
- автоматизоване видання бойових графічних документів;
- сумісність автоматизованих систем та засобів автоматизації АСУ ЗС України з іншими подібними системами, в частині просторово розподіленої інформації, за умов виконання завдань у складі коаліції військ (сил).

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Цифровий вимір ЗСУ. За яких умов це можливо? 2019. URL: <http://opk.com.ua/%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80-%D0%B7%D1%81%D1%83-%D0%B7%D0%B0-%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%85-%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2-%D1%86%D0%B5-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D0%BB/>.
2. Організація автоматизованих систем управління військами (силами) Збройних Сил України: навч. посіб. / Київ: НУОУ, 2010. 192 с.
3. Фролов В.С. Структурно-логічна схема Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України. Наука і оборона. Київ, 2012. № 1. С. 15-23.
4. Федченко О., Литвиненко Н. Підвищення ефективності управління військами за рахунок автоматизації геоінформаційної складової. Зб. наук. праць ВІКНУ. Київ, 2019. № 63. С. 47-53.
5. Присяжнюк С.П., Филатов В.Н., Федоненков С.П. Геоинформационные системы военного назначения: учебник / СПб.: БГТУ, 2009. 210 с.
6. Пермяков О.Ю., Солонников В.Г., Прибилев Ю.Б. та ін. Використання інформаційних технологій та застосування космічних систем в інтересах військ (сил). Київ: НУОУ ім. Івана Черняховського, 2014. 208 с.
7. GIS in Defense and Intelligence Communities, 2011. URL: <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/brochures/pdfs/gis-in-defense-vol3.pdf>.
8. Geospatial Service-Oriented Architecture (SOA), 2011. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/SOA-Approach-to-Integration%3A-XML%2C-Web-services%2C-and-Juric/a879c98143cb10adbfb6161011244f9706fb0cf6>.

9. Військовий стандарт 01.110.013 Видання 1. «Топогеодезичне і навігаційне забезпечення. Стандарти масштабів для сухопутних карт та аеронавігаційних морських карт (STANAG 3677) IGEO (Edition 3), IDT)».

10. Військовий стандарт 01.110.020 Видання 1. «Топогеодезичне і навігаційне забезпечення. Формат обміну цифрової картографічної інформації».

11. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. Київ, 2002.

12. 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: 2015. С. 253-255.

#### REFERENCES:

1. "Tsyfrovyy vymir ZSU. Za yakykh umov tse mozhlyvo?" [Digital Measurement of the Armed Forces. Under What Conditions Is This Possible?], [www.opk.com.ua/%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80-%D0%B7%D1%81%D1%83-%D0%B7%D0%B0-%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%85-%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2-%D1%86%D0%B5-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D0%BB/](http://www.opk.com.ua/%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9-%D0%B2%D0%B8%D0%BC%D1%96%D1%80-%D0%B7%D1%81%D1%83-%D0%B7%D0%B0-%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%85-%D1%83%D0%BC%D0%BE%D0%B2-%D1%86%D0%B5-%D0%BC%D0%BE%D0%B6%D0%BB/) (accessed 15 October 2021).

2. "Orhanizatsiia avtomatyzovanykh system upravlinnia viiskamy (sylamy) Zbroinykh Syl Ukrainy" [Organization of Automated Control Systems of Troops (Forces) of the Armed Forces of Ukraine], Kyiv: NUDU, 2010, 192 p.

3. Frolov, V.S. (2012), "Strukturno-lohichna skhema Yedynoi avtomatyzovanoi systemy upravlinnia Zbroinykh Syl Ukrainy" [Structural and Logical Scheme of the Unified Automated Control System of the Armed Forces of Ukraine], Science and Defense, No. 1, pp. 15-23.

4. Fedchenko, O., Lytvynenko, N., Pryshepa S. (2019), "Pidvyshchennia efektyvnosti upravlinnia viiskamy za rakhunok avtomatyzatsii heoinformatsiinoi skladovoi" [Improving the Efficiency of Troop Management Through Automation of Geoinformation Component], Collection of Scientific Papers of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv, No. 63, pp. 47-53.

5. Prisyazhnyuk, S.P., Filatov, V.N., Fedonenkov, S.P. (2009), "Geoinformatsionnyie systemyi voennogo naznacheniya" [Military geographic information systems], BSTU, 210 p.

6. Permyakov, O.Y., Solonnikov, V.G., Pribylev, Y.B., etc. (2014), "Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii ta zastosuvannia kosmichnykh system v interesakh viisk (syl)" [Use of Information Technologies and Application of Space Systems in the Interests of Troops (Forces)], Kyiv, 208 p.

7. GIS in Defense and Intelligence Communities, <https://www.esri.com/content/dam/esrisites/sitecore-archive/Files/Pdfs/library/brochures/pdfs/gis-in-defense-vol3.pdf> (accessed 16 October 2021).

8. Geospatial Service-Oriented Architecture (SOA), <https://www.semanticscholar.org/paper/SOA-Approach-to-Integration%3A-XML%2C-Web-services%2C-and-Juric/a879c98143cb10adbf6161011244f9706fb0cf6> (accessed 17 October 2021).

9. "Viiskovyi standart 01.110.013 Vydannia 1. "Topoheodezychne i navihatsiine zabezpechennia. Standarty masshtabiv dlia sukhoputnykh kart ta aeronavhatsiinykh morskykh kart (STANAG 3677) IGEO (Edition 3), IDT)" [Military Standard 01.110.013 Edition 1. "Topogeodesic and Navigation Support. Scale Standards for Land Charts and Aeronautical Charts (STANAG 3677) IGEO (Edition 3), IDT)"]

10. "Viiskovyi standart 01.110.020 Vydannia 1. "Topoheodezychne i navihatsiine zabezpechennia. Format obminu tsyfrovoyi kartohrafichnoi informatsii)" [Military Standard 01.110.020 Edition 1. "Topogeodesic and Navigation Support. Format for the Exchange of Digital Cartographic Information"]

11. "Klasyfikator informatsii, yaka vidobrazhaetsia na topohrafichnykh kartakh masshtabiv 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000" [Classifier of Information Displayed on Topographic Maps at Scales of 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1: 100 000, 1: 200 000, 1: 500 000, 1: 1 000 000], Kyiv, 2002.

12. Petlyuk, I.V., Vlasenko, S.G. (2015), "Vykorystannia heoinformatsiinykh system viiskovoho pryznachennia v myrotvorchykh tsiliakh" [Use of Military Geographic Information Systems for Peacekeeping Purposes], Kyiv, pp. 253-255.

**PhD Fedchenko O.P., PhD Lytvynenko N.I, PhD Lytvynenko O.I, Pryschepa S.V.  
THE ANALYSIS OF THE USING OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE  
MANAGEMENT OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE**

*The growing dynamics of the armed struggle and the large amount of information to be analyzed, leads to the fact that a person is no longer able in a very short time to analyze the required amount of information and make an informed decision. In such circumstances, there is a need to use modern technologies for managing forces and means of the armed forces to analyze and make decisions, reflect current situations, and which would effectively combine space and time with significant accompanying data in the form of attributive information about operational objects, situation, background information about the theater (area) of hostilities, climatic conditions, intelligence data, etc.*

*The widespread introduction of electronic computing in the control systems of the Armed Forces necessitates the development of new approaches to automate the processing of geospatial information, improve the organization, technology and technical means of obtaining information about the area, its processing and transmission to users. Therefore, in order to increase the efficiency of decision-making and solving military-applied tasks, it's necessary to involve geographic information systems in decision-making at all levels of military management as a component of the Automated Control System (ACS) of the Armed Forces of Ukraine. The geographic information systems allow to form a unified picture of situational awareness, to develop modern methods of control and management of means of armed struggle, including unmanned and robotic systems, to increase transparency and efficiency of staffs and other management bodies.*

*The relevance and necessity of creating and implementing geographic information subsystems for military purposes as a component of information support of the ACS is due to the general increase in requirements for efficiency, completeness and quality of information support of the troop management (forces) process.*

*Keywords: geoinformation support, geoinformation technologies, geoinformation subsystem, geospatial data, Automated control system, Armed Forces of Ukraine.*



## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ МІСТА

*Стаття присвячена застосуванню новітньої технології проведення екологічного моніторингу міста на основі ідентифікації та оцінки стану рослинних насаджень з використанням супутникових знімків. На основі застосування такої технології забезпечується розроблення інформаційних систем екологічного моніторингу в містах та в районах розташування потенційно екологічно небезпечних виробництв, що вимагає ведення постійного моніторингу довкілля. Сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним. Мета досліджень полягає у розробці методичних засад ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень із супутникових знімків мегаполісів для системи екологічного моніторингу.*

*Виходячи з того, що габарити рослин для супутникової зйомки замалі, екологічний моніторинг здійснювався на основі зеленої маси дерев, габарити яких достатні для їх ідентифікації та визначенні спектральних індексів рослин. Дослідження проводились із застосуванням цифрових фотознімків Оболонського району у м. Києві в оптичному та інфрачервоному діапазоні з космічних апаратів. Вибір дослідних ділянок здійснювався засобами Microsoft Picture Manager одночасно для обох діапазонів. Розглядалися ділянки, візуально визначені як крони дерев на сонці та в тіні, газони на сонці та в тіні, асфальтований паркінг та дах будівлі. Розміри ділянок: мінімальна сторона ділянки становила від 16 пікселів. Для наочності у відображенні визначених візуально дослідних зразків та кварталу забудови вводилися додаткові коефіцієнти для отримання єдиного порядку величин. Обробка даних здійснювалась засобами MathCad. Було запропоновано для проведення екологічного моніторингу спектральні індекси, за допомогою яких враховується кілька складових кольору, необхідних при оцінці стану рослин. Результати проведених досліджень показали, що спектральні індекси, запропоновані для інфрачервоної зйомки, забезпечують ідентифікацію зеленої маси, як в тіні від споруд, так і при прямому сонячному освітленні.*

*Ключові слова: екологічний моніторинг міста, спектральні індекси, супутникові знімки, оптичний та інфрачервоний діапазони.*

**Вступ та постановка проблеми.** Інформаційні системи екологічного моніторингу особливо необхідні в містах та в районах розташування потенційно екологічно небезпечних виробництв, що вимагає ведення постійного моніторингу довкілля. Сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним. Проблематика досліджень екологічного моніторингу навколишнього середовища потребує вивчення та удосконалення технічного обладнання екологічного контролю, яке в основному відпрацювало свій технічний ресурс, що вимагає створення нових засобів та систем моніторингу для дистанційного контролю довкілля. Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст. 20, 22) передбачено створення системи моніторингу та проведення спостережень за станом навколишнього природного середовища, рівнем його забруднення. Вирішення пов'язаних із цим напрямів завдань повинно ґрунтуватись на використанні сучасних досягнень науки і техніки та новітніх інформаційно-вимірювальних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз методів та засобів моніторингу навколишнього середовища [1-7] свідчить про необхідність пошуку нових ефективних технологій дистанційного вимірювання характеристик довкілля з використанням космічних апаратів, що дають можливість вирішувати задачі контролю, діагностики та прогнозу. В сучасних умовах актуальним є забезпечення постійного контролю характеристик довкілля, особливо в важкодоступних місцях, та за умов техногенної небезпеки. Одним із найбільш об'єктивних індикаторів екологічного стану міст є стан багаторічних насаджень, Steve M. Raciti et al (2014) [8], моніторинг яких дозволяє не лише оцінювати стан екології, а й інтерпретувати причини стресів.

Дистанційний моніторинг великої території можна здійснювати за допомогою атмосферних апаратів, насамперед БПЛА, а також супутників. БПЛА здатні давати зображення з високою здатністю розрізнення знімків, проте, є правові питання щодо їх використання в мегаполісах. Супутникові знімки з низькою розподільчою здатністю (від 10 м/піксель) можливо отримати безкоштовно від різноманітних сервісів, таких як USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Більш деталізовані знімки з розподільчою здатністю в 0.5 м/піксель можливо окремо замовити і в національних операторів (вартість біля 11 Євро/км<sup>2</sup>), проте, для оцінки динаміки змін дерев можливо використовувати і наявні архівні дані, вартість яких значно менша, тобто економічно дані супутникового моніторингу є доступними.

Проблеми державної системи екологічного моніторингу в Україні та шляхи їх подолання наведені в [9, 10]. Однак, сучасний стан вирішення проблем екологічного моніторингу міст з різних причин не можна вважати задовільним.

**Мета досліджень** полягає в розробці методичних засад ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень із супутникових знімків мегаполісів для системи екологічного моніторингу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для моніторингу стану дерев у мегаполісі використовувались цифрові фотознімки, створені оптичним та ІЧ об'єктивами Оболонського району м. Києва від 11 вересня 2018 (рис. 1). Спектральні портери місцевості було використано в роботах [11-12], де було показано необхідність передбачення впливу тіні на спектральні показники об'єктів, що необхідно враховувати для супутникових знімків, оскільки на відміну від поля в місті завжди буде тінь від споруд.



Рисунок 1 – Супутникові фотознімки Оболонського району м. Києва, зроблені оптичним і ІЧ об'єктивами

Вибір дослідних ділянок здійснювали засобами Microsoft Picture Manager одночасно на обох знімках. Розглядалися ділянки, візуально визначені як крона дерев на сонці та в тіні, газон на сонці та в тіні, асфальтований паркінг та дах будівлі. Розміри ділянок: мінімальна сторона ділянки становила від 16 пікселів. Окремо розглядали квартал забудови, що розташований між вулицями Petra Pancha str., Polyarna str., Simi Kolzenkiv str., Petra Kalnyshevskoho str. Для наочності у відображенні визначених візуально дослідних зразків та кварталу забудови вводилися додаткові коефіцієнти для отримання єдиного порядку величин. Обробка даних здійснювалась засобами MathCad.

**Отримані результати та обговорення. Оптичний діапазон** спектру. На рис. 2 представлено залежність складових кольору для дослідних об'єктів в оптичному діапазоні.

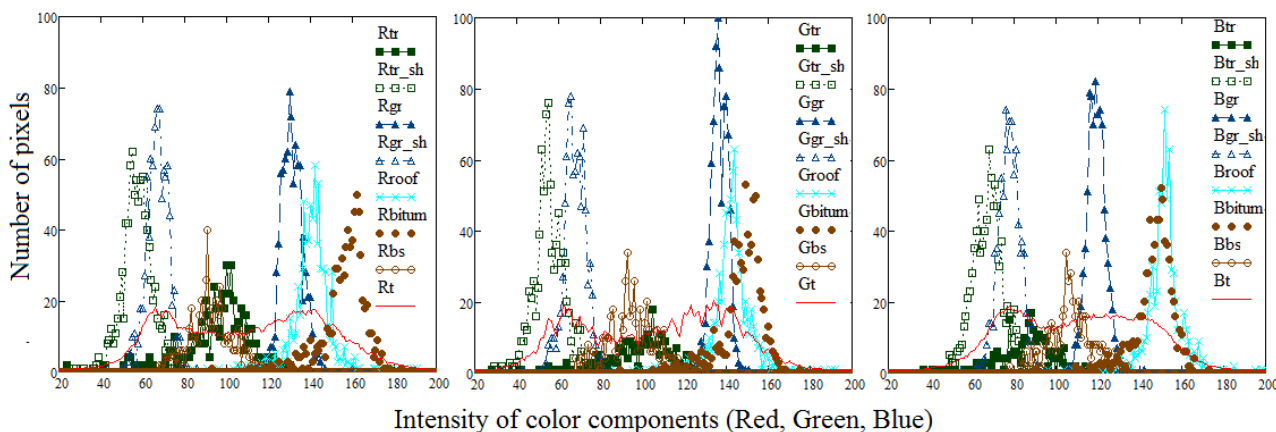


Рисунок 2 – Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від інтенсивності складової кольору: де tr - tree, tr\_sh - tree in the shade, gr - grass, gr\_sh - grass in the shade, roof - roof, bitum – asphalt, bs- asphalt in the shade, t - whole neighborhood

Для листя розглянутих дерев залежність кількості пікселів від величини інтенсивності складової кольору за RGB каналами відповідають таким діапазнам – 70..120, 80-120, 60-110, відповідно, за використання індексу  $MNVI = 2G - 2B - 2.4R$  усі пікселі будуть розпізнані як такі, що не відповідають рослині. Ймовірним поясненням цього є особливості забарвлення молодих рослин й листя дерев на початку вересня.

Використати фільтрацію за окремими монохромними каналами для ідентифікації рослин виявилось неефективним, оскільки для куполів дерев не вдалось виявити діапазон серед наявних каналів. Можливим рішенням ідентифікації рослинних насаджень є попіксельна фільтрація, коли для пікселя враховуються кілька складових кольору за принципом, закладеним в індекси типу MNVI. На рис. 3 наведені результати ідентифікації при використанні запропонованого авторами індексу GBtree (1)

$$GBtree = G - B + 100, \quad (1)$$

де G та B – зелена та синя складові кольору для адитивної моделі кольороутворення.

Збільшення величини індексу на 100 одиниць було здійснено щоб отримати позитивні величини для рослинних об'єктів, що перебувають в тіні, оскільки на супутникових знімках оптичного діапазону тінь від споруд є неодмінною складовою.

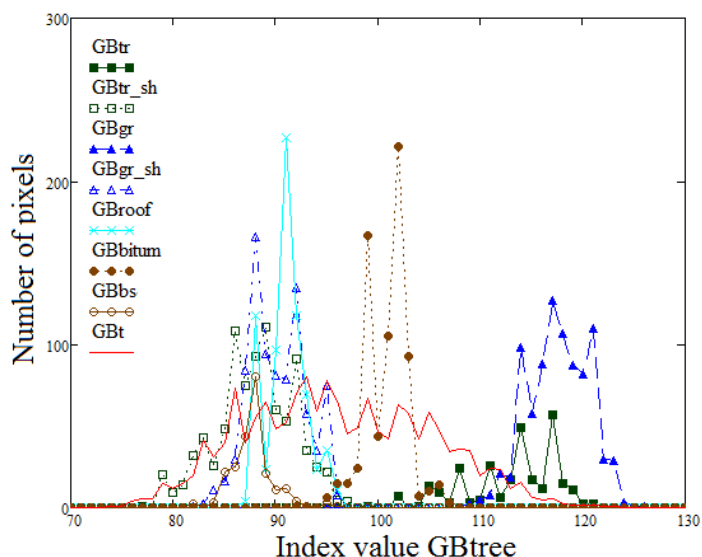


Рисунок 3 – Графік розподілу кількості пікселів для дослідних об'єктів для індексу GBtree, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

Виходячи з отриманих результатів, при перебуванні під прямим сонячним промінням деревам відповідає діапазон 104..122, газонам – 108..124, без накладання сторонніх об'єктів. У випадку затінених ділянок відбулось накладання діапазонів для дерев, газонів та тротуарів. Виходячи з цього ідентифікація рослинних насаджень на супутникових знімках в оптичному діапазоні для запропонованого індексу GBtree матиме суттєву похибку стосовно ділянок, що перебувають в тіні від будинків.

**Зйомка з інфрачервоним об'єктивом.** Так само, як і в оптичному діапазоні, ІЧ знімок складається з даних трьох окремих каналів, що відповідають різним діапазонам спектру або їх комбінації. Оскільки для отримання зображення використовувались ІЧ спектри, для адитивної моделі кольороутворення канали позначали як C1, C2 та C3, подібно до RGB. Результати моніторингу у ІЧ спектрі наведені на рис. 4.

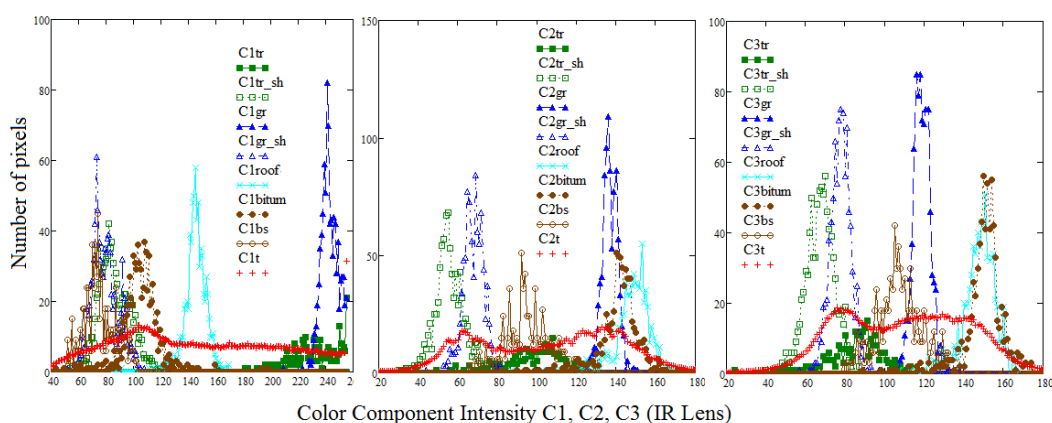


Рисунок 4 – Залежність для дослідних ділянок кількості пікселів від інтенсивності складової кольору за інфрачервоної зйомки, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

Згідно отриманих результатів, за ІЧ супутникової зйомки вибіркова ідентифікація рослинних насаджень можлива і за окремими каналами. Так за першим каналом можна виділити копули дерев та траву, а за другим ідентифікувати ці об'єкти в тіні. Оскільки жоден з наявних каналів не виявився універсальним щодо ідентифікації рослин, як і для оптичного діапазону, використали попіксельну фільтрацію по 2-х каналах. Тому пропонується застосовувати індекс для ідентифікації рослин інфрачервоною зйомкою

$$IRtree = C1 - C2 + 100, \quad (2)$$

де C1 та C2 – 1 та 2 канали в адитивній моделі кольороутверення, які в оптичному діапазоні відповідають за R та G складові кольору.

Результати ідентифікації при використанні інфрачервоної зйомки представлено на рис. 5.

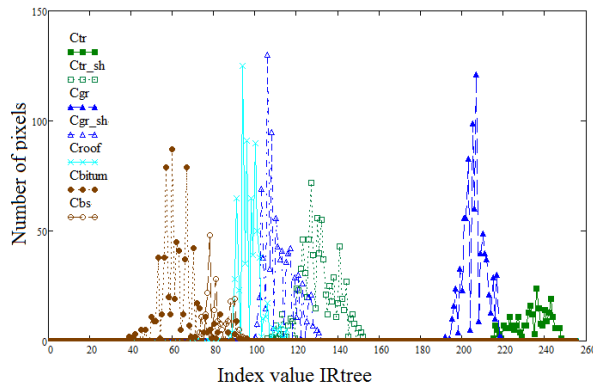


Рисунок 5 – Графік розподілу кількості пікселів для дослідних об'єктів у IR зйомці для індексу IRtree, найменування ділянок аналогічно з рис. 2

При використанні індексу IRtree вдалось виділити окремі діапазони, що належать саме кроні дерев та траві за прямого сонячного опромінення і певною мірою в тіні, чого не вдалось досягнути з індексом GBtree. Результати, що отримані при обчисленні площі листової поверхні дерев для дослідного кварталу міста, за прямого освітлення становили для індексів IRtree – 13,1 % та GBtree – 13,8 %, з урахуванням дерев у тіні – 20,5 % та 68 % відповідно. Така різниця в показниках для затінених ділянок для оптичного діапазону пояснюється фіксацією, поряд із кроною дерев і газонів, асфальтового покриття. Отже, інфрачервоні супутникові знімки показали більшу вибірковість, яка є важливою для оцінки стану насаджень.

**Напрямок подальших досліджень.** Можливість ідентифікації площі куполу дерев на ділянках за наявності позиціонування дозволить відстежувати динаміку змін їх стану і при аналізі карт виявляти можливі джерела стресу (біологічного, технологічного тощо). Наявність таких карт стресового стану рослин дозволить при використанні технологій машинного навчання відпрацьовувати методики ідентифікації характеру стресу з використанням БПЛА.

**Висновки.** Для побудови системи екологічного моніторингу розроблені методичні засади ідентифікації та оцінки стану зеленої маси рослинних насаджень зі супутникових знімків мегаполісів. Монохромні інфрачервоні та оптичні знімки виявились не придатними для ідентифікації рослин, оскільки при перебуванні об'єктів у тіні від споруд діапазони інтенсивності складових кольору рослин накладались на діапазони сторонніх об'єктів. Для інфрачервоних та оптичних супутникових знімків було запропоновано спектральні індекси, що враховують кілька складових кольору для оцінки стану рослинних насаджень. Для крон дерев під прямим сонячним освітленням для запропонованих індексів було отримано приблизно однакові результати. Проте індекси, які запропоновані для інфрачервоної зйомки, мають більшу вибірковість, оскільки для них вдалось ідентифікувати окремо крони дерев та рослин на газонах, як при прямому сонячному освітленні, так і в тіні від споруд.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Автоматизовані системи – екологічний моніторинг. [Електроний ресурс]. Режим доступу: [https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS\\_8N0838aAn2AEALw\\_wcB](https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS_8N0838aAn2AEALw_wcB)
2. Бабак В.П., Канченко А.А., Ключников В.А., Краснов В.А., Чепур Н.Л. Беспилотные авиационные комплексы как средство радиационного мониторинга АЭС и окружающей среды. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля*. Київ. 2012. Вип.19. С. 60-69.

3. Захарова В. О. Парадигмальне оновлення природоохоронної діяльності в контексті євроінтеграції України як чинник змістовного формування системи екоправового виховання. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/paradigmалnoe-obnovlenie-prirodoohrannoy-deyatelnosti-v-kontekste-evrointegratsii-ukrainy-kak-faktor-soderzhatelnogo-formirovaniya>.

4. Належне екологічне врядування в країнах Східного Партнерства: роботи непочатий край. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance\\_PB\\_15.03\\_ukr.pdf](https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance_PB_15.03_ukr.pdf).

5. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://menr.gov.ua/docs/activitydopovidi/NacDopovid2014.pdf>.

6. Концепція реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього середовища в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://menr.gov.ua/presscenter/news/123-news1/5358-kontseptsiyareformuvannia-systemy-derzhavnoho-nahliadukontroliu-u-sferi-okhorony-navkolyshnohoseredovyshcha-v-ukraini>

7. Федонюк М.А. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря [Електронний ресурс] // Державне управління: удосконалення та розвиток: електронне наукове фахове видання – 2013. – № 2. – Режим доступу: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.

8. Steve M. Raciti (2014), "Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods" / Steve M. Raciti, Lucy R. Nutyra, Jared D. Newell // Science of The Total Environment, Vol. 500–5011, pp. 72-83 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.070>

9. Потапенко В.Г., Шевчук І.В. Проблеми державної системи екологічного моніторингу в Україні та шляхи їх подолання. Аналітична записка, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1038/>.

10. Бахарев В.С., Журавська М.К., Маренич А.В. Аналіз адекватності діючої мережі та обґрунтування пропозицій щодо розміщення стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря у м. Кременчук // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2016.– Вип. 4 (99). – С. 80–87.

11. Pasichnyk, N. (2021), "Technologies for environmental monitoring of the city" / Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshетиuk, V., Oksana, B. //2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, p. 40–43, 9385213

12. Shvorov, S. (2018), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain" / Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Y., Kuznichenko S. // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), – Proceedings., pp. 68-71 <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>

#### REFERENCES:

1. Automated systems - environmental monitoring. [Electronic resource]. Access mode: [https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS\\_8N0838aAn2AEALw\\_wcB](https://ecomonitoring.hlr.ua/?gclid=Cj0KCQjwnJaKBhDgARIsAHmvz6fRYTR84hUJk4oM13hFFJbe9H7YqvAprtWWT7UdDhXRsnNS_8N0838aAn2AEALw_wcB)

2. Babak, V.P., Kanchenko, A.A., Klyuchnikov, V.A., Krasnov, V.A., Chepur, N.L. (2012) "Unmanned aerial vehicles as a means of radiation monitoring of nuclear power plants and the environment. Safety issues of nuclear power plants and Chernoby", Kiev. Issue 19. Pp. 60-69.

3. Zakharova, V.O. (2011), "Paradigmал renewal of environmental activity in the context of European integration of Ukraine as a factor in the content formation of the system of ecological education", available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/paradigmалnoe-obnovlenie-prirodoohrannoy-deyatelnosti-v-kontekste-evrointegratsii-ukrainy-kak-faktor-soderzhatelnogo-formirovaniya> (Accessed 08 February 2017).

4. Humeniuk, V. and Mischuk, Z. (2012), "Good environmental governance in the Eastern Partnership countries: the work is endless", available at: [https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance\\_PB\\_15.03\\_ukr.pdf](https://eu.prostir.ua/files/1331819362039/Environmentalgovernance_PB_15.03_ukr.pdf) (Accessed 08 February 2017).

5. National Report on the State of Environment in Ukraine (2014), available at: <http://menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/NacDopovid2014.pdf> (accessed October 1, 2016).

6. The concept of reforming the system of state supervision (control) in the sphere of environmental protection in Ukraine, available at: <http://menr.gov.ua/press-center/news/123-news1/5358->

kontseptsiyareformuvannia-systemy-derzhavnoho-nahliadukontroliu-u-sferi-okhorony-navkolyshnohoseredovyshcha-v-ukraini (accessed October 10, 2016).

7. Fedonuk, M.A. (2013), "To the question of the improvement of the state environmental monitoring of air condition", Public administration, improvement and development, no. 2, available at: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.

8. Steve M. Raciti (2014), "Mapping carbon storage in urban trees with multi-source remote sensing data: Relationships between biomass, land use, and demographics in Boston neighborhoods" / Steve M. Raciti, Lucy R. Hutyra, Jared D. Newell // Science of The Total Environment, Vol. 500–5011, pp. 72-83 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.070>

9. Potapenko, V.G., Shevchuk, I.V. (2007), "The problems of the state system of environmental monitoring in Ukraine and ways of their solution, Policy Brief. National Institute for Strategic Studies", available at: <http://www.niss.gov.ua/articles/1038/> (accessed October 20, 2016).

10. Bakharev, V.S., Marenych, A.V., Zhuravska, M.K. (2016), "The adequacy of the existing network and justification of proposals for the of stationary atmospheric air state observation posts location in Kremenchuk", Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vol. 4, no. 99, pp. 80–87.

11. Pasichnyk, N. (2021), "Technologies for environmental monitoring of the city" / Pasichnyk, N., Komarchuk, D., Opryshko, O., Shvorov, S., Reshietiuk, V., Oksana, B. //2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems, CADSM 2021 - Proceedings, 2021, сtp. 40–43, 9385213

12. Shvorov, S. (2018), "UAV Navigation and Management System Based on the Spectral Portrait of Terrain" / Shvorov, S., Komarchuk, D., Pasichnyk, N., Opryshko, O., Gunchenko, Y., Kuznichenko S. // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), – Proceedings., pp. 68-71 <http://dx.doi.org/10.1109/MSNMC.2018.8576304>

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

#### **CITY ECOLOGICAL MONITORING INFORMATION SYSTEM**

*The article is devoted to the application of the latest technology of ecological monitoring of the city on the basis of identification and assessment of the condition of plantations with the use of satellite images. Based on the application of such technology, the development of information systems for environmental monitoring in cities and areas of potentially environmentally hazardous industries is provided, which requires constant environmental monitoring. The current state of solving the problems of environmental monitoring of cities for various reasons can not be considered satisfactory. The purpose of the research is to develop methodological bases for identification and assessment of the green mass of plantations from satellite images of megacities to build an environmental monitoring system. Based on the fact that the dimensions of plants for satellite imagery are too small, ecological monitoring was carried out on the basis of green mass of trees, the dimensions of which are sufficient for their identification and determination of spectral indices of plants. The research was conducted using digital photographs of the Obolon district in Kyiv in the optical and infrared range from spacecraft. The selection of research sites was carried out using Microsoft Picture Manager simultaneously for both ranges. Areas visually identified as tree canopies in the sun and shade, lawns in the sun and shade, asphalt parking lot and the roof of the building were considered. Plot sizes: The minimum side of the plot was 16 pixels. For clarity, additional coefficients were introduced in the display of certain visually experimental samples and the building quarter to obtain a single order of magnitude. Data processing was performed using MathCad. It was proposed to conduct spectral indices for environmental monitoring, which take into account several components of color needed to assess the condition of plants. The results of the research showed that the spectral indices proposed for infrared imaging provide identification of green mass, both in the shade from buildings and in direct sunlight.*

*Keywords: ecological monitoring of the city, spectral indices, satellite images, optical and infrared ranges.*

## ДАНІ ПРО АВТОРІВ

**Банзак Геннадій В'ячеславович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Метрології та метрологічного забезпечення Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0003-1684-3785

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

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

**Джудій Володимир Миколайович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем і мереж Хмельницького національного університету, ORCID: 0000-0003-1878-4301.

**Добровольська Світлана Василівна**, старший викладач кафедри Електроніки та мікросистемної техніки Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку, ORCID: 0000-0001-6897-9022

**Кельник Олександр Ігорович**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-0476-3721.

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

**Корчак Олександр Володимирович**, аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-0801-2340

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

**Крутинь Яків Володимирович**, аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-0587-9491

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

**Ленков Сергій Васильович**, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, головний науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-7689-239X.

**Литвиненко Наталія Ігорівна**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідної лабораторії науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-2203-2746.

**Литвиненко Олександр Ігорович**, кандидат технічних наук, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-0662-6875

**Мірошніченко Карина Олегівна**, студентка 4 курсу Київського національного університету імені Тараса Шевченка, факультет кібернетики.

**Муляр Ігор Володимирович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерних систем та мереж Хмельницького національного університету, <http://orcid.org/0000-0002-6659-605X>.

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



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

**Опришко Олексій Олександрович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем, Національний університет біоресурсів і природокористування України, ORCID: /0000-0001-6433-3566.

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

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

**Пилипенко Олександр Тарасович**, аспірант, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

**Прищепя Сергій Володимирович**, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0001-6154-4018.

**Ряба Людмила Олександрівна**, науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0002-7436-4443.

**Сєлюков Олександр Васильович**, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Київський національний університет будівництва та архітектури, ORCID: 0000-0001-7979-3434.

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

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

**Федченко Олексій Петрович**, кандидат військових наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного центру, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, ORCID: 0000-0003-1343-3828.

**Шворов Сергій Андрійович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматики та робототехнічних систем, Національний університет біоресурсів і природокористування України, ORCID: 0000-0003-3358-1297.

### Алфавітний покажчик

Банзак Г.В.	5	Ленков Є.С.	32	Пасічник Н.А.	81
Бондаренко Т.В.	5	Ленков С.В.	66	Пилипенко О.Т.	25
Глуган Ф.В.	81	Литвиненко Н.І.	73	Прищеп С.В.	73
Джуні В.М.	42	Литвиненко О.І.	73	Ряба Л.О.	66
Добровольська С.В.	5	Мірошніченко К.О.	66	Сєлюков О.В.	5
Кєльнік О.І.	13	Муляр І.В.	42	Степаненко Є.О.	42
Коноваленко О.І.	20	Мясищєв А.А.	32	Толок І.В.	42
Корчак О.В.	56	Овчарук В.В.	32	Фєдченко О.П.	73
Кошовий М.Д.	25	Опришко О.О.	81	Шворов С.А.	81
Крутінь Я.В.	56	Пампуха І.В.	66		

## РЕДАКЦІЙНА ПОЛІТИКА ТА ЕТИЧНІ НОРМИ

### ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ТА ДОСТУП ДО ЗМІСТУ «ЗБІРНИКА ВІКНУ»

Редакційна політика «Збірника ВІКНУ» заснована на принципах об'єктивності та неупередженості при відборі статей для публікації; високих вимог до якості наукових досліджень; обов'язковості та конфіденційності рецензування статей; додержання колегіальності при відборі до публікації статей; доступності та оперативності у спілкуванні з авторами; суворого дотримання авторських і суміжних прав. Запобігання протизаконним публікаціям є відповідальністю кожного автора, редактора, рецензента, видавця.

До друку приймаються оригінальні рукописи, які не опубліковано раніше, не було відправлено до інших редакцій та які повністю відповідають вимогам щодо оформлення та порядку подання статей.

У «Збірнику ВІКНУ» сформовані наступні рубрики: військова техніка і технології подвійного призначення, інформаційні технології, загальні питання.

Редакція підтримує політику відкритого доступу та принципи вільного поширення наукової інформації. Примірники збірників знаходяться у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського, науковій бібліотеці ім. М. Максимовича, у бібліотеці Військового інституту та інших бібліотеках України. Електронна версія розміщена на сайті інституту, на сайтах наведених бібліотек та на сайтах «Збірника ВІКНУ»: <http://miljournals.knu.ua/index.php/zbirnuk>; <http://mil.univ.kiev.ua/page/lib/31>

### ЕТИКА ПУБЛІКАЦІЙ

Редакційна колегія журналу вимагає від авторів наслідувати формальним та етичним правилам підготовки і публікації наукових робіт, що вони подають до редакції журналу. Ці норми зумовлено стандартами якості наукових статей, прийнятими у світовому науковому співтоваристві, зокрема публікаційними принципами Publishing Ethics Resource Kit (PERK), рекомендаціями Elsevier, Комітету з етики публікацій (Committee on Publication Ethics, COPE), етичним кодексом вченого України, а також досвідом роботи іноземних та українських професіональних спільнот, наукових організацій, редколегій та редакцій видань.

### ЕТИЧНІ ЗОБОВ'ЯЗАННЯ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ ЖУРНАЛУ

Редакційна колегія у своїй діяльності:

- керується принципами неупередженості, наукової етики рецензування, захисту – інтелектуальної власності,
- несе відповідальність за рівень наукового наповнення журналу,
- виступає проти фальсифікації, плагіату, направлення автором одного рукопису до кількох журналів, багаторазового копіювання тексту статті в різних місцях, введення громадськості в оману щодо реального внеску кожного автора в опубліковану наукову роботу;
- залишає за собою право направити рукопис на розгляд сторонньому рецензенту, у тому числі ретельний відбір через «сліпе» рецензування, відхилити статтю або повернути її на доопрацювання;
- може відхилити рукопис, якщо вважає, що він не відповідає профілю журналу, чи не відповідає етиці та правилам оформлення,
- має право вилучити вже опубліковану статтю в разі виявлення порушення будь-чиїх прав або загальноприйнятих норм наукової етики, про даний факт вилучення статті редакція повідомляє як автору статті, так і організації, де було виконано дослідження та повідомляє про це у наступному номері.

Співробітники редакції не надають іншим особам інформації, пов'язаної із змістом рукописів, що перебувають на розгляді, крім осіб, які беруть участь у її фаховій оцінці

Згідно з міжнародним законодавством щодо додержання авторського права на електронні інформаційні ресурси, матеріали сайту, електронного журналу або проекту не можуть бути відтворені повністю або частково в будь-якій формі (електронній чи друкованій) без попередньої письмової згоди редакції журналу. При використанні опублікованих матеріалів у контексті інших документів обов'язково необхідними є посилання на першоджерело.

## ЕТИЧНІ ЗОБОВ'ЯЗАННЯ АВТОРА

Автор:

– несе відповідальність за новизну і достовірність наведених у статтях результатів, тактико-технічних та економічних показників, коректність висловлювань а також за те, що в матеріалах не міститься інформація з обмеженим доступом;

– повинен цитувати ті публікації, які мали визначальний вплив на суть викладеного у статті, а також ті, які можуть швидко ознайомити читача з більш ранніми працями, важливими для розуміння цього дослідження, необхідно також належним чином вказувати джерела принципово важливих матеріалів, використаних у даній роботі, якщо вони не були отримані самим автором;

– забезпечує недопустимість плагіату та подання до публікації раніше надрукованих матеріалів, у випадку виявлення зазначених фактів відповідальність несе автор поданих матеріалів.

Співавторами статті мають бути всі особи, що зробили вагомий науковий внесок у подану роботу і поділяють відповідальність за отримані результати. Автор, який подає рукопис до публікації, відповідає за те, щоб до списку співавторів були включені тільки ті особи, які відповідають критерію авторства, і бере на себе відповідальність за згоду інших авторів статті на її публікацію в журналі.

**Наукове видання**



## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**Військового інституту  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка**

**№ 72**

Усі матеріали надруковані в авторській редакції.  
Деякі статті не рецензуються, у зв'язку з пріоритетною кваліфікацією  
авторів або через сумніви редколегії у змісті.

---

Підписано до друку 31.08.21 р.  
Авт. друк. Арк. 11. Формат 60x90/8  
Безкоштовно. Замовлення № 10-2012

---

Надруковано у навчальному картографічному комплексі ВІКНУ

03189, Київ, вул. Ломоносова 81

т. 521-32-89