

# СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 2(32)  
2018

Науковий журнал

## Засновник і видавець

Національний університет оборони України  
імені Івана Черняхівського  
Журнал заснований у 2008 році

## Адреса редакції

Національний університет оборони України  
імені Івана Черняхівського  
Інститут інформаційних технологій

Повітрофлотський проспект, 28,  
Київ, 03049

sitnuou@ukr.net

http://www.sit.nuou.org.ua

телефон: (044)-271-07-31, (098)-273-48-62

факс: (044)-271-07-31

Журнал зареєстровано в Державній реєстраційній  
службі України  
(свідоцтво КВ №20490-10290ПР)

Журнал видається  
українською, російською та англійською мовами

Журнал виходить 3 рази на рік

Наказом Міністерства освіти і науки України  
від 29 грудня 2014 р. №1528 журнал включено до  
Переліку наукових фахових видань України  
в галузях “технічні науки” та “військові науки”

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного університету оборони України  
імені Івана Черняхівського  
(протокол № 11 від 24 вересня 2018 р.)

При використанні матеріалів посилання на журнал  
“Сучасні інформаційні технології  
у сфері безпеки та оборони” обов’язкове

Редакція може не поділяти точку зору авторів  
Відповідальність за зміст поданих матеріалів  
несуть автори

Журнал індексується у наукометричних базах:  
Citefactor, Google Academy, Index Copernicus,  
The Journal Impact Factor.  
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)

Журнал представлений у базах даних:  
Bielefeld Academic Search Engine (BASE),  
Directory of Open Access Journals (DOAJ),  
Research Bible, WorldCat.

Журнал внесений до каталогів бібліотек:  
Vernadsky National Library of Ukraine.

## В номері:

### Військова кібернетика та системний аналіз

Загорка О.М., Павліковський А.К., Загорка І.О. Багатокритеріальні методи прийняття рішень органами військового управління ..... 5

### Противоробство у кібернетичному просторі

Чердиченко О.Ю., Фесьоха В.В., Процюк Ю.О., Бондаренко Т.В. Аналіз існуючих підходів протидії найпоширенішим кібернетичним втручанням в інформаційно-телекомунікаційні мережі ..... 13

Шкарлат О.О., Штонда Р.М., Черниш Ю.О., Сулімовська М.В. Захист інформації в автоматизованих системах суб’єктів охоронної діяльності ..... 17

### Інтелектуальні ІТ та робототехніка у сфері безпеки та оборони

Артюшин Л.М., Бугайов М.В. Алгоритм виявлення акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів на основі аналізу фрактальної розмірності ..... 23

Воробійов О.М., Сотніков О.М., Танцюра О.Б. Моделі поточних зображень, що формуються каналами комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації безпілотного літального апарату ..... 29

Даник Ю.Г., Балицький І.І. Методика оцінки ефективності повітряного моніторингу місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів ..... 38

Майстренко О.В., Бубенищikov Р.В., Бондар Р.В., Попліський О.В. Декомпозиція процесу вогневого ураження противника за допомогою методу побудови “Дерева цілей” ..... 45

Мирненко В.И., Юфа Е.А., Журавский М.Н. Оценка эффективности поляризационной селекции цели на фоне пассивной помехи с помощью устройства, основанного на учете пространственного изменения угла фарадеевского вращения в ионизированной среде плоскости поляризации сигнала ..... 51

Пермяков О.Ю., Королюк Н.О., Шапошникова О.П. Підхід щодо формування рекомендацій для прийняття обґрунтованих рішень оператором при дистанційному управлінні безпілотним літальним апаратом ..... 57

Солонников В.Г., Войтко О.В., Полякова О.В. Особливості проведення гармонічної лінеаризації нелінійного елемента в системах управління літальних апаратів з бортовою цифровою обчислювальною машиною ..... 65

Ступницький І.В. Методичний підхід до оптимізації затрат на доставку витратних матеріально-технічних засобів споживачу з урахуванням своєчасності їх доставки. 71

### Інформаційно-аналітична діяльність у сфері безпеки та оборони

Алексеевко О.В., Челобитченко О.О. Міжлабораторні порівняльні випробування засобів колективного та індивідуального захисту для забезпечення оцінки якості продукції оборонного призначення ..... 75

Богданович В.Ю., Свіда І.Ю., Сиротенко А.М. Методика формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави ..... 81

Мазур В.Ю., Боровик О.В., Рачок Р.В. Метод кластеризації маршрутів суден в системі висвітлення надводної обстановки ..... 87

Марко І.Ю., Чернишова І. М., Череватий Т.В. Методика розподілу фінансових ресурсів між заходами розквартирування з’єднань (частин) у польових умовах ..... 93

Олексюк В.В. Методика визначення структури органу управління розвідкою оперативного рівня ..... 99

Прібилев Ю.Б. Концепція побудови контрольно-випробувальної станції ..... 103

Романченко І.С., Гвоздь В.І. Концептуальні засади обґрунтування вимог до системи інформаційного забезпечення сектору безпеки і оборони України ..... 107

Сальнікова О.Ф., Корендович В.С., Місєв П.А., Антоненко С.І. Аналіз воєнних аспектів гібридної війни: їх зміст та уроки протидії ..... 111

Тристан А.В., Осієвський С.В., Паталаха В.Г. Інформаційна технологія автоматизованого аналізу процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем ..... 119

### Розвиток теорії та практики створення інформаційно-телекомунікаційних систем

Бовда Е.М., Гук О.М., Гаврилюк О.Г. Методика оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами ..... 125

Зінченко А.О., Нестеров О.М., Зінченко К.А. До питання пропускну здатності як основного показника ефективності функціонування системи військового зв’язку ..... 135

Свіда І.Ю., Зварич А.О., Волобуєв А.П. Метод математичного моделювання радіомаскування системи радіозв’язку військового призначення із збереженням зв’язку ..... 141

Єфанова К.О., Пономаренко З.М., Масєсов М.О. Актуальність впровадження та використання мережі SDN ..... 147

### Інтерактивні моделі розвитку науково – освітнього простору

Шевченко О.В., Гусак Ю.А., Тіхонов Г.М. Аналіз можливості впровадження технологій дистанційного навчання в системі підвищення кваліфікації офіцерського складу збройних сил України ..... 151

---

## **Редакційна колегія**

### ***Головний редактор***

*Пермяков Олександр Юрійович,*  
доктор технічних наук, професор

### ***Заступник головного редактора***

*полковник Ракушев Михайло Юрійович,*  
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

### ***Члени редколегії:***

*Бутвін Борис Леонідович,*  
доктор технічних наук, професор

*генерал-майор Даник Юрій Григорович,*  
доктор технічних наук, професор

*Дробаха Григорій Андрійович,*  
доктор військових наук, професор

*Жук Сергій Якович,*  
доктор технічних наук, професор

*Загорка Олексій Миколайович,*  
доктор військових наук, професор

*полковник Катеринчук Іван Степанович,*  
доктор технічних наук, професор

*Компанцева Лариса Феліксівна,*  
доктор філологічних наук, професор

*Косевцов В'ячеслав Олександрович,*  
доктор військових наук, професор

*Кравченко Юрій Васильович,*  
доктор технічних наук, професор

*Репіло Юрій Євгенович,*  
доктор військових наук, професор

*Савченко Віталій Анатолійович,*  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

*полковник Лобанов Анатолій Анатолійович,*  
доктор військових наук, професор

*Шиміч Горан,* доктор філософії

*Пресналл Аарон,* доктор філософії

*Флурі Філіпп,* доктор філософії

*Романченко Ігор Сергійович,*  
доктор військових наук, професор

*Рубан Ігор Вікторович,*  
доктор технічних наук, професор

*Рябцев Вячеслав Віталійович,*  
кандидат технічних наук, доцент

*Сбітнев Анатолій Іванович,*  
доктор технічних наук, професор

*Семон Богдан Йосипович,*  
доктор технічних наук, професор

*Серватюк Василь Миколайович,*  
доктор військових наук, професор

*Солонніков Владислав Григорович,*  
доктор технічних наук, професор

*Телелим Василь Максимович,*  
доктор військових наук, професор

*Шемаєв Володимир Миколайович,*  
доктор військових наук, професор

*Потій Олександр Володимирович,*  
доктор технічних наук, професор

*Ковбасюк Сергій Валентинович,*  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

*Шевченко Віктор Леонідович,*  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

*генерал-майор Ристаєв Асхат Науризбайович,*  
кандидат військових наук

*Гавлічек Пьотр,* доцент

### ***Відповідальний секретар***

*полковник Войтко Олександр Володимирович*  
кандидат військових наук

# MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE SPHERE OF SECURITY AND DEFENCE

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 2(32)  
2018

Scientific journal

## Founder and Publisher

National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovsky  
The journal was founded in 2008

## Address:

National Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovsky,  
Information Technology Institute

Povitroflotskiy ave. 28, Kyiv, 03049  
sitnuou@ukr.net  
http://www.sit.nuou.org.ua

Telephone: (044)-271-07-31, (098)-273-48-62  
Fax: (044)-271-07-31

The journal is registered  
in the State Registration Service of Ukraine  
(certificate KB №20490-10290IIP)

The journal is published  
in Russian, Ukrainian and English

The journal is published thrice a year

According to the Document of the Ministry of  
Education and Science of Ukraine  
issued on December 29, 2014 (№ 1528) the journal  
was included into the Ukrainian list of specialized  
scientific publications in engineering sciences and  
military sciences

*Recommended to publication  
by the Scientific Council of the National  
Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovsky  
(Protocol No.11, 24 september 2018)*

When using the materials, the reference to the journal  
"Modern Information Technologies  
in the Sphere of Security and Defence" is mandatory

The editorial board can have a different viewpoint  
than that of the authors  
The content of the materials is the authors' responsibility

The journal is indexed in the scientometric bases:  
*Citefactor, Google Academy, Index Copernicus,  
The Journal Impact Factor.  
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)*

The journal is presented in the databases:  
*Bielefeld Academic Search Engine (BASE),  
Directory of Open Access Journals (DOAJ),  
Research Bible, WorldCat.*

The journal is added to the libraries:  
*Vernadsky National Library of Ukraine.*

## Contents:

### *Military cybernetics and system analysis*

*Zagorka O., Pavlikovsky A., Zagorka I.* Multicriterion methods of decision-making by the military authorities ..... 5

### *Confrontation in the cybernetic space*

*Cherednychenko O., Fesokha V., Protsiuk Y., Bondarenko T.* Analysis of existing approaches to counter the most common cybernetic interventions in information and telecommunications network ..... 13

*Shkarlat O., Shtonda R., Chernish Y., Sulimovska M.* Protection of information in automated systems of security activity subjects ..... 17

### *Intelligent IT and robotics in the field of security and defense*

*Artushin L., Buhaiov M.* Algorithm of unmanned aerial vehicles acoustic signals detection based on analysis of fractal dimension ..... 23

*Vorobiov O., Sotnicov A., Tansiura A.* Models of current images that are formed by the combined correlation-extremal navigation system of a non-flammable aircraft ..... 29

*Danyk Y., Baleckuy I.* Evaluation method of terrain monitoring efficiency by means of unmanned aerial vehicles ..... 38

*Majstrenko O., Bubenshchikov R., Bondar R., Poplinskiy O.* Determination of constituents of fire defeat of opponent by the method of construction "tree of aims" ..... 45

*Mirnenko VI, Yufa E., Zhuravskij M.* Evaluation of the objectives polarization discrimination against passive hindrances with the device, based on consideration of the spatial variation of the faraday rotation angle in the plane of polarization is ionized medium signal ..... 51

*Permyakov O., Korolyuk N., Shaposhnikova O.* Approach on forming of recommendations for acceptance of reasonable decisions operator at remote control by pilotless aircraft ..... 57

*Solonikov V., Voitko O., Polykova E.* Features of harmonic linearization of nonlinear element in control systems of aerial vehicles with the digital computer onboard ..... 65

*Stupnytskyi I.* Methodical approach to the cost optimization for delivery of expected material-technical means to consumer with taking account their opportuneness of delivery.. 71

### *Information and analytical activities in the field of security and defense*

*Alekseenko O., Chelobitchenko O.* Interlaboratory comparative testing of collective and individual protection equipment to ensure the assessment of the quality of defence products ..... 75

*Bohdanovych V., Svyda I., Syrotenko A.* The method of formation and control of intergated counteraction potential against military threats to provide a certain level of state military security ..... 81

*Mazur V., Borovyk O., Rachok R.* Method of clasterization of vessels routes in the system of covering the situation at sea ..... 87

*Marco I., Chenyshova I., Cherevatyi T.* Methodology of distribution the financial resources between activities of housing units (parts) in the field conditions ..... 93

*Oleksiyu V.* The method for substantiating the rational structure of intelligence management..... 99

*Pribyliev Y.* Concept of construction of control and test station ..... 103

*Romanchenko L., Hvoz V.* Conceptual principles of provision of a rationale for the requirements for the information support for the security and defense sector of Ukraine .... 107

*Salnikova O., Korendovych V., Antonenko S., Minieiev P.* Military aspects hybrid warfare's countering: content and lessons learned ..... 111

*Tristan A.V., Osiyevskiy S.V., Patalaha V.G.* Information technology for automated analysis of degradation and restoration processes of complex organizational and technical system..... 119

### *Development of the theory and practice of creating information and telecommunication systems*

*Bovda E., Gavriluk O., Guk O.* Method of evaluation of the efficiency of telecommunication network management system ..... 125

*Zinchenko A., Nesterov O., Zinchenko C.* To the question of local capacity as the basic indicator of the efficiency of the functioning of the military communication system ..... 135

*Svida I., Zvarich A., Volobuiev A.* The mathematical modeling method of tactical radiosystem radiomasking with keeping radiocommunication in same time ..... 141

*Yefanova K., Ponomarenko Z., Masesov M.* Relevance of implementation and using SDN network ..... 147

### *Interactive models of development of scientific and educational space*

*Shevchenko O., Gusak Y., Tikhonov G.* Analysis of the possibility of introducing distance learning technologies in the system of advanced training of officers of the armed forces of Ukraine ..... 151

---

## Editorial Board

### *Chief Editor*

*Permiakov Oleksandr Yuriiiovych*  
doctor of technical sciences, professor

### *Deputy Chief Editor*

colonel *Rakushev Mykhailo Yuriiiovych*,  
doctor of technical sciences, senior research fellow

### *Editorial Board members:*

*Butvin Borys Leonidovych*,  
doctor of technical sciences, professor

major general, *Danyk Yurii Hryhorovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Drobakha Hryhorii Andriiovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Zhuk Serhii Yakovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Zahorka Oleksii Mykolaiovych*,  
doctor of military sciences, professor

colonel *Katerynychuk Ivan Stepanovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Kompantseva Larysa Feliksivna*,  
doctor of philological sciences, professor

*Kosevtsov Viacheslav Oleksandrovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Kravchenko Yurii Vasylovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Repilo Yurii Yevhenovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Savchenko Vitalii Anatoliiovych*,  
doctor of technical sciences,  
senior research fellow

colonel *Lobanov Anatolii Anatoliiovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Shimic Goran*, doctor of philosophy

*Presnall Aaron*, doctor of philosophy

*Fluri Philip*, doctor of philosophy

*Romanchenko Ihor Serhiiiovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Ruban Ihor Viktorovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Riabtsev Viacheslav Vitaliiiovych*,  
candidate of technical sciences,  
associate professor

*Sbitniev Anatolii Ivanovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Semon Bohdan Yosypovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Servatiuk Vasyl Mykolaiovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Solonnikov Vladyslav Hryhorovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Telelym Vasyl Maksymovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Shemaiev Volodymyr Mykolaiovych*,  
doctor of military sciences, professor

*Potii Oleksandr Volodymyrovych*,  
doctor of technical sciences, professor

*Kovbasjuk Serhii Valentinovych*,  
doctor of technical sciences,  
senior research fellow

*Shevchenko Viktor Leonidovych*,  
doctor of technical sciences,  
senior research fellow

major general *Ryspaiev Askhat Nauryzbaiovych*,  
candidate of military sciences

*Gawliczek Piotr*, associate professor

### *Executive Secretary*

colonel *Vojtko Oleksandr Volodymyrovych*  
candidate of military sciences



*Олексій Миколайович Загорка (доктор військ. наук, професор)*

*Анатолій Казимирович Павліковський (канд. військ. наук, доцент)*

*Ірина Олексіївна Загорка*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНІ МЕТОДИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОРГАНАМИ ВІЙСЬКОВОГО УПРАВЛІННЯ

*У статті показана необхідність використання багатокритеріальних методів аналізу при виробленні органами військового управління рішення на операцію (бій) угруповання військ (сил). Сформульовані вимоги до таких методів. Розглянути особливості використання складених критеріїв, методів аналізу ієрархій, таксономії, теорії ігор і нечітких множин для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) при виробленні рішення на операцію (бій). Проведена експертна оцінка відповідності застосування перелічених методів встановленим вимогам (урахування невизначеності застосування противником способів бойових дій, обґрунтованість прийняття рішення на операцію (бій), випробуваність методу, адекватність процесу прийняття рішення інтелектуальної діяльності командира (командувача)). Запропоновано для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) в умовах невизначеності обстановки застосовувати методи теорії ігор і нечітких множин.*

**Ключові слова:** рішення на операцію (бій), спосіб бойових дій, угруповання військ (сил), багатокритеріальний метод.

### Вступ

Відповідно до теорії воєнного мистецтва рішення, які приймаються органами військового управління (ОВУ) як при підготовці, так і в ході бойових дій є основою управління військами (силами). Рішення на операцію (бій) виробляється на підставі обраного замислу застосування військ (сил). Під замислом операції (бою) розуміється головна ідея способу виконання угрупованням військ (сил) покладеного бойового завдання; основа рішення на операцію (бій) [1].

**Постановка проблеми.** При обґрунтуванні замислу операції (бою) звичайно розглядається декілька або безліч способів бойових дій угруповання військ (сил). Для вибору раціонального способу бойових дій угруповання військ (сил) можуть використовуватися різні методи аналізу, які відрізняються вихідними даними для розв'язання задачі і технологією застосування. Від правильного вибору методу залежить обґрунтованість прийняття рішень ОВУ. Тому аналіз методів прийняття рішень має як теоретичне, так і практичне значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Прийняття рішень ОВУ в ході підготовки і ведення бойових дій в основному здійснюється в умовах невизначеності обстановки. На теперішній час при виробленні рішень, зокрема для визначення способу бойових дій угруповання військ (сил), застосовуються багатокритеріальні методи. Найбільш широко застосовуються складені (узагальнені) критерії [2-4], методи аналізу ієрархій (МАІ) [5, 6], таксономії [7-10], теорії ігор [2, 11, 12], нечітких множин [13-15].

У перелічених працях достатньо повно

розкрито сутність багатокритеріальних методів аналізу і порядок їх застосування. У той же час потрібно урахувати особливості застосування цих методів під час вироблення рішень ОВУ. Необхідно також визначити переваги застосування того або іншого методу під час прийняття рішень ОВУ, зокрема в умовах обмеженості та невизначеності вихідної інформації

**Метою статті** є порівняльне оцінювання переваги застосування окремих багатокритеріальних методів прийняття рішень ОВУ в конкретних умовах обстановки.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

У ході вироблення рішення на застосування угруповання військ (сил) для кожного способу бойових дій, що аналізуються, звичайно оцінюються: математичні сподівання величин відносних втрат, які можуть бути завдані військам противника; математичні сподівання величин відносних втрат, які можуть бути завдані противником нашому угрупованню військ (сил); витрати ресурсів на ведення бойових дій; часові параметри ведення бойових дій. Зазначені показники застосовуються під час вибору раціонального способу бойових дій з використанням багатокритеріальних методів аналізу.

Перевагу використання того або іншого методу при виробленні рішення доцільно визначати за чинниками, які характеризують:

можливість урахування невизначеності застосування противником способів бойових дій в операції (бою);

можливість однозначного вибору раціонального способу бойових дій угруповання військ (сил);

повноту урахування показників, що характеризують застосування способу бойових дій;

можливість отримання ОВУ даних для розв'язання задачі з використанням конкретного методу багатокритеріального аналізу;

адекватність процесу застосування методу, що розглядається, інтелектуальної діяльності командира (командуючого) під час вироблення рішення.

Ступінь задоволення перелічених вище методів багатокритеріального аналізу наведеним чинникам визначається експертами.

Узагальнені (складені) критерії отримуються шляхом використання адитивних або мультиплікативних перетворень над обраною сукупністю часткових показників.

У випадку використання адитивних перетворень узагальнений критерій  $E_j$  для  $j$  – го способу бойових дій угруповання військ (сил)

$$E_j = \sum_i v_i x_{ij}, \sum_i v_i = 1; i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де  $x_{ij}$  – нормована (безрозмірна) величина  $i$  –го показника при застосуванні  $j$  – го способу бойових дій;

$v_i$  – коефіцієнт, який характеризує цінність (корисність)  $i$  –го показника при виборі способу бойових дій;

$n$  – кількість часткових показників;

$m$  – кількість способів бойових дій, що розглядаються.

Якщо раціональний спосіб бойових дій обирається за  $\max_j E_j$ , то коефіцієнт  $v_i$  для

показника, який бажано максимізувати, приймає позитивне значення, для показника, який бажано мінімізувати – відмінне значення.

При використанні мультиплікативних перетворень над сукупністю часткових показників узагальнений критерій

$$E_j = \prod_i \lambda_i^{x_{ij}}, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – дійсне число.

Недоліком адитивних і мультиплікативних перетворень є те, що існує необмежена можливість компенсації. Недостачу ефективності за одним показником завжди можна скомпенсувати за рахунок іншого показника. Наприклад, у нашому випадку значення показника, який характеризує завдання втрат противнику, може компенсуватися часовими параметрами ведення бойових дій.

Адитивний показник базується на принципі справедливої абсолютної поступки за окремими показниками, а мультиплікативний – на принципі справедливої відносної поступки [14]. Останнє полягає у тому, що справедливим вважається компроміс, коли сумарний рівень відносного зниження одного чи кількох показників не перевищує сумарного рівня відносного збільшення інших показників.

Застосування такого узагальненого критерію не дає можливості урахувати невизначеність застосування противником способів бойових дій військ (сил). Узагальнений (складений) критерій є штучною кількісною мірою, тому процес його застосування під час вироблення рішення не може відповідати інтелектуальної діяльності командира (командуючого).

Метод аналізу ієрархій (Сааті) [5] полягає у декомпозиції проблеми (її ієрархічному зображенні) на простіші складові частини та у подальшій обробці послідовності суджень експертів попарним порівнянням. Цей метод може застосовуватися для рейтингування альтернативних рішень, а саме способів бойових дій угруповання військ (сил), і містить такі етапи:

визначення альтернатив – способів бойових дій угруповання військ (сил), що аналізуються під час вироблення рішення на операцію (бій);

визначення сукупності показників, які характеризують застосування способів бойових дій;

ієрархічне зображення задачі, починаючи з вершини (мети – визначення доцільності застосування способів бойових дій); через проміжний рівень ієрархії – показники до нижнього рівня (перелік альтернатив) (рис.1);

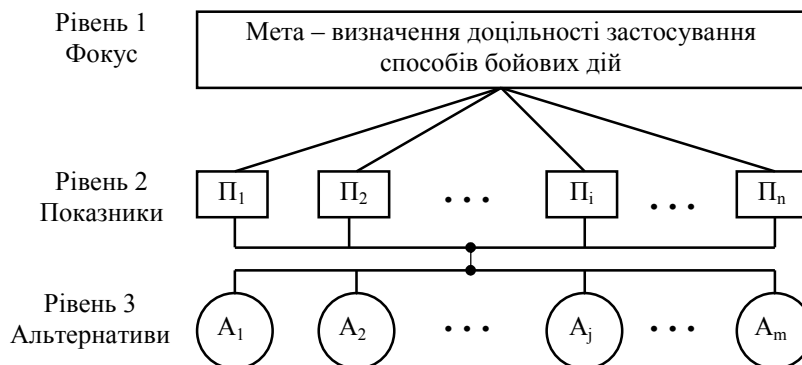


Рис. 1. Ієрархічне зображення задачі визначення доцільності застосування способів бойових дій



показників  $x_{ij}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$  трансформуються в стандартизовані значення  $z_{ij}$ , які мають нульове значення математичного сподівання, одиночне значення середнього квадратичного відхилення і водночас є безрозмірними величинами.

За еталонний приймається спосіб бойових дій, якому відповідають такі значення стандартизованих показників:

$$\text{де } z_{i0} = \max_j z_{ij}, \text{ коли } i \in S; \quad (6)$$

$$z_{i0} = \min_j z_{ij}, \text{ коли } i \in D;$$

$S, D$  – множини стимуляторів і дестимуляторів відповідно.

Для порівняння способів бойових дій розраховуються таксономічні відстані

$$C_{0j} = \left[ \sum_i \lambda_i^2 (z_{ij} - z_{i0})^2 \right]^{1/2}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт важливості  $i$  – го показника (визначається експертним шляхом).

Ступінь переваги способів бойових дій угруповання військ (сил) визначається за формулою

$$d_j = 1 - C_{0j} / C_0, \quad (8)$$

де  $C_0 = \overline{C_0} + 2S_0$ ;

$$\overline{C_0} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m C_{0j}; \quad S_0 = \left[ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (C_{0j} - \overline{C_0})^2 \right]^{1/2}.$$

Чим ближче значення таксономічного показника  $d_j$  до одиниці, тим доцільніше застосовувати  $j$  – ий спосіб бойових дій.

Методи таксономії не мають обмежень за кількістю альтернатив, що порівнюються. Їх застосування, як і МАІ, під час прийняття рішення ОВУ на операцію (бій) не дозволяє урахувати невизначеність бойових дій військ противника. Показники, які характеризують застосування способів бойових дій, при використанні методів таксономії можуть визначатися за допомогою аналітичних методик, математичних моделей, методів експертного оцінювання.

Під час вироблення рішення на операцію (бій) угруповання військ (сил) звичайно ураховуються і можливі (прогнозовані) рішення протилежної сторони, тобто має місце ігрова ситуація на підставі “суворого конфлікту” двох “рівноправних сторін” [16]. У цьому випадку для визначення доцільного способу бойових дій угруповання військ (сил) може бути використано методи теорії ігор. Для рішення гри складається матриця гри  $k \times m$ , де  $k$  – кількість способів бойових дій військ противника,  $m$  – кількість способів бойових дій наших військ. Умовою об’єктивності аналізу гри є однакова ступінь

подробіці відображення ходу прогнозованих бойових дій сторін. Така умова може бути виконана при використанні у матриці гри співвідношення математичних сподівань величин відносних втрат наших військ і противника, які визначаються за допомогою математичної моделі і є достатньо представницькими показниками оцінки ефективності бойових дій сторін. Є очевидним, що противник намагатиметься максимізувати це співвідношення, а наші війська – його мінімізувати.

Рішення гри може здійснюватися в “чистих” або “змішаних” стратегіях. У нашому випадку під стратегією розуміються правила, які визначають способи бойових дій наших військ і противника.

Послідовність визначення доцільного способу бойових дій угруповання військ (сил) з використанням методів теорії ігор наведено на рис. 2.

Типовим для “суворого конфлікту” є рішення гри у “змішаних стратегіях”, яке може здійснюватися з використанням методів ітерацій або лінійного програмування. За результатами рішення гри зі “змішаними стратегіями” визначаються частоти застосування способів бойових дій сторонами. Вважається, що сторони застосовуватимуть той спосіб бойових дій, якому відповідають максимальні значення частот стратегій.

Застосування ігрових методів під час вироблення рішення на операцію (бій) дозволяє урахувати невизначеність способів бойових дій військ противника. Для побудови матриці гри необхідно визначити математичні сподівання величин відносних втрат протидіючих сторін. Сам процес підготовки до застосування ігрових методів і отримання кінцевих результатів відповідає процесу інтелектуальної діяльності командира (командуючого) під час вироблення рішення на операцію (бій).

При рішенні гри у “змішаних стратегіях” випадково варіюється застосування способів бойових дій сторін. У той же час рішення на операцію (бій) приймається один раз, тому не можна повністю покладатися на випадковий вибір способу бойових дій угруповання військ (сил).

В умовах невизначеності вихідних даних для розв’язання задач різного призначення часто застосовуються методи нечітких множин [14, 15]. У нашому випадку при виробленні замислу операції (бою) розглядається множина способів бойових дій військ противника

$$B = /B_1, B_2, \dots, B_l, \dots, B_k/,$$

множина бойових дій наших військ

$$A = /A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_m/,$$

множина показників, які характеризують застосування способів бойових дій

$$\Pi = /Pi_1, Pi_2, \dots, Pi_l, \dots, Pi_n/,$$

$$l = \overline{1, k}; j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}.$$

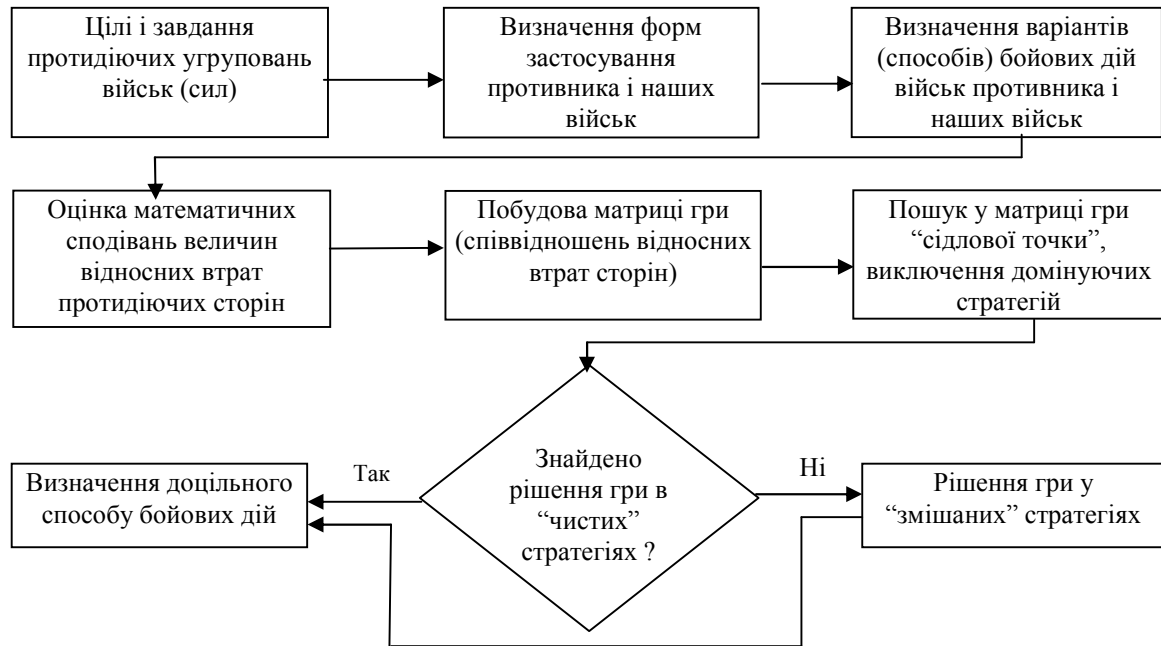


Рис. 2. Послідовність визначення доцільного способу бойових дій угруповання військ (сил) з використанням методів теорії ігор

Для застосування методу нечітких множин будуються функції належності  $\mu(A_j/B_l, \Pi_1)$ , які характеризують ступінь доцільності застосування  $j$ -го способу бойових дій наших військ за  $i$ -м показником за умовою застосування військами противника  $l$ -го способу бойових дій. Усього необхідно збудувати  $n \times k$  дискретних функцій належності. Для цього може бути використано попарне порівняння способів бойових дій  $A_j$  за шкалою Саати. Для кожного показника  $i = \overline{1, n}$  експертами складається транзитивна, діагональна матриця попарних порівнянь способів бойових дій

наших військ (сил)  $A_j$  за умовою протидії  $l$ -му способу бойових дій військ противника, вигляд якої наведено у табл. 1. Така матриця може бути інтерпретована як матриця попарних порівнянь рангів. Для побудови функцій належності може бути використаний метод О.П. Ротштейна, який ґрунтується на ідеї розподілу ступеня належності елементів універсальної множини згідно їх рангам.

Відповідно до праці [14] дискретні значення функцій належності за умовою протидії першому способу бойових дій військ противника за першим показником визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} \mu^*(A_1/B_1, \Pi_1) &= 1 + \frac{\omega_1}{\omega_2} + \dots + \frac{\omega_1}{\omega_j} + \dots + \frac{\omega_1}{\omega_m}; \\ \mu^*(A_2/B_1, \Pi_1) &= \frac{\omega_2}{\omega_1} + 1 + \dots + \frac{\omega_2}{\omega_j} + \dots + \frac{\omega_2}{\omega_m}; \\ &\dots \dots \dots \\ \mu^*(A_m/B_1, \Pi_1) &= \frac{\omega_m}{\omega_1} + \frac{\omega_m}{\omega_2} + \dots + \frac{\omega_m}{\omega_j} + \dots + 1. \end{aligned} \quad (9)$$

Далі значення функції  $\mu^*(A_j/B_1, \Pi_1)$  нормуються діленням їх на найбільшу ступінь належності

$$\mu(A_j/B_1, \Pi_1) = \frac{\mu^*(A_j/B_1, \Pi_1)}{\max \mu^*(A_j/B_1, \Pi_1)}. \quad (10)$$

Аналогічно визначаються інші функції належності.

Для розв'язання задачі щодо вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) можна

використати критерій Гурвіця [17]. Для цього визначаються суми зважених дискретних значень функцій належності

$$C_{jl} = \sum_i \mu(A_j/B_l, \Pi_i) \cdot q_i; \quad (11)$$

$j = \overline{1, m}, l = \overline{1, k}; i = \overline{1, n},$

де  $q_i$  - коефіцієнт важливості  $i$ -го показника.

Якщо не ураховувати схильності до оптимізму або песимізму у особи, яка приймає рішення,

спосіб бойових дій угруповання військ (сил) за критерієм Гурвіця обирається відповідно виразу

$$\max_j \left[ 1/2 \left( \max_l C_{jl} + \min_l C_{jl} \right) \right]. \quad (12)$$

Використання методу нечітких множин дозволяє частково урахувати невизначеність способів бойових дій військ противника при виробленні рішення на операцію (бій), не ураховується імовірність застосування противником способів бойових дій. При формуванні функцій належності  $\mu(A_j/V_l, \Pi_i)$  можуть використовуватися як результати моделювання бойових дій, аналітичних розрахунків, так і експертні оцінки.

Процес визначення способу бойових дій частково відповідає інтелектуальній діяльності особи під час вироблення рішення.

Відповідність застосування розглянутих методів багатокритеріального аналізу певним вимогам, виконання яких доцільно при виробленні рішення на операцію (бій), визначено за оцінками: “Відповідає” (В), “Відповідає частково” (ВЧ), “Не відповідає” (НВ) (табл. 2).

Найбільш повно наведеним вимогам відповідає застосування для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) (табл. 2) методів теорій ігор і нечітких множин. Застосування цих методів насамперед залежить від здатності отримання ОВУ необхідних даних, зокрема про можливі дії противника, а також наявності відповідного математичного забезпечення.

Таблиця 2

Відповідність застосування розглянутих методів певним вимогам

Вимоги до застосування багатокритеріальних методів аналізу при виробленні рішення на операцію (бій)	Багатокритеріальні методи прийняття рішень				
	Узагальнені (складені) критерії	Метод аналізу ієрархій	Методи таксономії	Методи теорії ігор	Методи нечітких множин
Урахування невизначеності застосування противником способів бойових дій	НВ	НВ	НВ	В	ВЧ
Відсутність компенсації показників (однозначність вибору способу бойових дій)	ВЧ	В	В	В	В
Повнота урахування факторів, альтернатив, що порівнюються	В	ВЧ	В	В	В
Адекватність процесу застосування методу інтелектуальної діяльності командира (командуючого)	НВ	В	ВЧ	В	ВЧ
Випробуваність методу для вироблення рішення на операцію (бій)	В	ВЧ	В	В	ВЧ
Обґрунтованість прийняття рішення на операцію (бій)	ВЧ	В	ВЧ	ВЧ	В

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Визначені вимоги до використання багатокритеріальних методів для вибору способу бойових дій угруповання військ (сил) під час вироблення ОВУ рішення на операцію (бій).

Показано, що в умовах невизначеності обстановки доцільно під час вироблення рішення на операцію (бій) застосовувати методи теорії ігор і нечітких множин. У подальшому доцільно розробити відповідне математичне забезпечення для застосування цих методів ОВУ.

### Література

1. **Военный энциклопедический словарь**. – М.: Большая Российская энциклопедия, изд-во “РИПОЛ КЛАССИК”, 2002. – С. 579. 2. **Вентцель Е.С.** Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с. 3. **Солнышков Ю.С.** Обоснование решений: (методологические вопросы). – М.: Экономика, 1980. – 168 с. 4. **Денисов А.А., Колесников Д.Н.** Теория больших систем управления: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 288с. 5. **Саати Т.** Аналитическое планирование: организация систем / Т. Саати, К. Кернс; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с. 6. **Загорка О.М.** Визначення форм і способів застосування військ (сил) у локальних війнах і збройних конфліктах: методологічний аспект / О.М. Загорка, І.О. Кириченко, //

Х.: “Честь і закон”. – 2005. – №4. – С. 17-21. 7. **Плюта В.** Сравнительный многомерный анализ в эконометрическом моделировании. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 176 с. 8. **Плюта В.** Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: методы таксономии и факторного анализа / пер. с пол. В.В. Иванова; науч. ред. В.М. Жуковской. – М.: Статистика, 1980. – 151 с. 9. **Можаровський В.М., Загорка О.М.** Основні положення методики визначення варіанта (способу) бойових дій та складу угруповання військ (сил) для відбиття агресії / В.М. Можаровський, О.М. Загорка // Наука і оборона. – 2011. – №1. – С. 3 - 6. 10. **Загорка О.М., Тимошенко Р.І., Загорка І.О.** Аналіз підходів для визначення доцільних форм і способів бойових дій угруповань військ (сил) / Зб. наук. пр.

ЦВСД НУОУ. – 2015. - № 1 (53). – С. 7 – 11. **11. Дрешер М.** Стратегические игры: теория и приложения: пер. с англ. / М. Дрешер. – М.: Советское радио, 1964. – 352 с. **12. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія** / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнова та ін. // За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова. – Х.: ХУПС, 2008. – 545 с. **13. Загорка О.М., Корецький А.А., Павліковський А.К.** Застосування нечіткої технології під час вироблення замислу операції (бою): методичний аспект // Наука і оборона. – 2016. – №3. – С. 23 – 26. **14. Герасимов Б.М., Локажук В.М., Оксіюк О.Г., Поморова О.В.** Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Навч. посібник. - К.: Вид-во Європ.

ун-ту, 2007. – 335 с. **15. Свешников С.В., Бочарников В.П.** Основы нечеткой технологии и примеры решения аналитических задач в государстве и бизнесе. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 408 с. **16. Элементы военной системологии** применительно к решению проблем оперативного искусства и тактики общевойсковых объединений, соединений и частей: Военно-теоретический труд / Под редакцией академика В.Д. Рябчука. – М.: Издание военной академии имени М.В. Фрунзе, 1995. – 228с. **17. Таха Х.** Введение в исследование операций: в 2-х кн., Кн. 2; пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 496 с.

## МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОРГАНАМИ ВОЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

*Алексей Николаевич Загорка (д-р воен. наук, профессор)  
Анатолий Казимирович Павликовский (канд. воен. наук, доцент)  
Ирина Алексеевна Загорка*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье показана необходимость применения многокритериальных методов анализа при разработке органами военного управления решения на операцию (бой) группировки войск (сил). Сформулированы требования до таких методов. Рассмотрены особенности применения составных критериев, методов анализа иерархий, таксономии, теории игр и нечетких множеств для выбора способа боевых действий группировки войск (сил) при разработке решения на операцию (бой). Проведена экспертная оценка соответствия применения перечисленных методов установленным требованиям (учет неопределенности применения противником способов боевых действий, обоснованность принятия решения на операцию (бой), опробованность метода, адекватность процесса принятия решения интеллектуальной деятельности командира (командующего)). Предлагается для выбора способа боевых действий группировки войск (сил) в условиях неопределенности обстановки применять методы теории игр и нечетких множеств.*

*Ключевые слова:* решение на операцию (бой), способ боевых действий, группировка войск (сил), многокритериальный метод.

## MULTICRITERION METHODS OF DECISION-MAKING BY THE MILITARY AUTHORITIES

*Alexey N. Zagorka (Doctor of Military Sciences, Professor)  
Anatoliy K. Pavlikovsky (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)  
Irina A. Zagorka*

*National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernykhovski, Kyiv, Ukraine*

*In the article the necessity of application of multicriterion methods of analysis is shown during development of military authorities of decision on the operation (battle) of grouping of troops (forces). Requirements are formulated to such methods. The features of application of component criteria are considered, methods of analysis of hierarchies, taxonomy, game and fuzzy sets theories for the choice of method of combat operations of grouping of troops (forces) during development of decision on an operation (battle). The expert estimation of accordance of application of the transferred methods is conducted to the set requirements (account of vagueness of application of methods of combat operations an opponent, decision-making validity on an operation (battle), method testing, adequacy of process of decision-making of intellectual activity of commander (command)). It is suggested for the choice of method of combat actions of grouping of troops (forces) in the conditions of vagueness of situation to apply the methods of game and fuzzy sets theory.*

*Key words:* decision on an operation (battle), method of combat actions, grouping of troops (forces), multicriterion method.

## References

- 1. Military encyclopaedic dictionary.** (2002), [Voennyj enciklopedicheskij slovar], Moscow, Bolshaya Rossijskaya enciklopediya, izd-vo "RIPOL KLASSIK", p. 579. **2. Ventcel E.S.** (1972), Analysis of operations. [Issledovanie operacij], Moscow, Sovetskoe radio, 552 p. **3. Solnyshkov Yu.S.** (1980), Ground of decisions : (methodological questions). [Obosnovanie reshenij: (metodologicheskie voprosy)], Moscow, Ekonomika, 168 p. **4. Denisov A.A., Kolesnikov D.N.** (1982), Theory of large control system. [Teoriya bolshih sistem upravleniya: uchebnoe posobie dlya vuzov], Leningrad, Energoizdat, 288 p. **5. Saati T.** Kerns K.(1991), Analytical planning: organization of the systems.

- [*Analiticheskoe planirovanie: organizaciya sistem*], per. s angl. R.G. Vachnadze, Moscow, Radio i svyaz, 224 p. **6. Zagorka O.M.**, Kirichenko I.O. (2005), Determination of forms and methods of application of troops (forces) in local wars and armed conflicts: methodological aspect. [*Viznachennya form i sposobiv zastosuvannya vijsk (sil) u lokalnih vijnah i zbrojnih konfliktah: metodologichnij aspekt*], Kharkiv "Chest i zakon", No. 4, pp. 17-21.
- 7. Plyuta V.** (1989), A comparative multidimensional analysis is in an ekonometricchesky design. [*Sravnitelnyj mnogomernyj analiz v ekonometriccheskom modelirovanii*], Moscow, Finansy i statistika, 176 p. **8. Plyuta V.** (1980), A comparative multidimensional analysis is in economic researches: methods of taxonomy and factor analysis. [*Sravnitelnyj mnogomernyj analiz v ekonomicheskikh issledovaniyah: metody taksonomii i faktornogo analiza*], per. s pol. V.V. Ivanova; nauch. red. V.M. Zhukovskoj, Moscow, Statistika, 151 p. **9. Mozharovskij V.M.**, Zagorka O.M. (2011), Substantive provisions of methods of determination of variant (method) of combat actions and composition grouping of troops (forces) are for the reflection of aggression. [*Osnovni polozhennya metodiki viznachennya varianta (sposobu) bojovih dij ta skladu ugrupovannya vijsk (sil) dlya vidbittya agresiyi*], Kyiv, Nauka i oborona, No. 1, pp. 3 - 6. **10. Zagorka O.M.**, Timoshenko R.I., Zagorka I.O. (2015), An analysis of approaches is for determination of expedient forms and methods of combat actions grouping of troops (forces). [*Analiz pidhodiv dlya viznachennya docilnih form i sposobiv bojovih dij ugrupovan vijsk (sil)*], Kiev, Zb. nauk. pr., CVSD NUOU, No. 1(53), pp. 7 – 11. **11. Dresner M.** (1964) Strategic games: theory and supplement. [*Strategicheskie igry: teoriya i prilozheniya: per. s angl.*], Moscow, Sovetskoe radio, 352 p. **12. Tkachenko V.I.**, Smirnov Ye.B. (2008), Theory of decision-making by the military authorities: monograph. [*Teoriya priinyattya rishen organami vijskovogo upravlinnya: monografiya*] Za red. V.I. Tkachenka, Ye.B. Smirnova, Kharkiv, HUPS, 545 p. **13. Zagorka O.M.**, Koreckij A.A., Pavlikovskij A.K. (2016), Application of unclear technology during making of project of operation (battle): methodical aspect. [*Zastosuvannya nechitkoyi tehnologiyi pid chas viroblennya zamislu operaciyi (boyu): metodichnij aspekt*], Kyiv, Nauka i oborona, No. 3, pp. 23 - 26. **14. Gerasimov B.M.**, Lokazyuk V.M., Oksiyuk O.G., Pomorova O.V. (2007), Intellectual systems of support of making decision [*Intelektualni sistemi pidtrimki priinyattya rishen: Navch. posibnik*], Kyiv, Vid-vo Yevrop. un-tu, 335 p. **15. Sveshnikov S.V.**, Bocharnikov V.P. (2014), Bases of unclear technology and examples of decision of analytical tasks are in the state and business. [*Osnovy nechetkoj tehnologii i primery resheniya analiticheskikh zadach v gosudarstve i biznese*], Moscow, DMK Press, 408 p. **16. Elements** of military sistemologii as it applies to the decision of problems of operative art and tactic/pl of common to all arm associations, connections and parts: Military theoretical work. (1995), [*Elementy voennoj sistemologii primenitelno k resheniyu problem operativnogo iskusstva i taktiki obshevojskovykh obedinenij, soedinenij i chastej: Voенno-teoreticheskij trud*], Pod redakciej akademika V.D. Ryabchuka, Moscow, Izdanie voennoj akademii imeni M.V. Frunze, 228 p. **17. Taha H.** (1985), Introduction to the analysis of operations. [*Vvedenie v issledovanie operacij*], v 2-h kn., Kn. 2; per. s angl., Moscow, Mir, 496 p.



*Олексій Юрійович Чередниченко  
Віталій Вікторович Фесьоха  
Юрій Олександрович Процюк  
Тетяна Василівна Бондаренко*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна*

## **АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ПРОТИДІЇ НАЙПОШИРЕНІШИМ КІБЕРНЕТИЧНИМ ВТРУЧАННЯМ В ІНФОРМАЦІЙНО– ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ МЕРЕЖІ**

*Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та Глобальної мережі Інтернет відкриває багато нових можливостей у всіх сферах життя людини і в країні загалом. З іншої сторони використання комп'ютерів, мобільних гаджетів та інших цифрових пристроїв сприяло розвитку нової загрози – кібернетичних втручань, під якими розуміють дії в кіберпросторі, спрямовані проти інформаційно-телекомунікаційної мережі метою впливу на неї шляхом порушення її функціонування, отримання контролю над мережею, корекції, копіювання, вилучення, пошкодження, впровадження чи знищення даних, створення умов для зміни поведінки її користувачів. В Україні в період з 2014 по 2017 роки відбулася низка кібернетичних втручань, які набули широкого розголосу як в країні так і в світі.*

*В умовах глобалізації інформаційних процесів, їх інтеграції в різні сфери суспільного життя керівництво провідних держав світу приділяє посилену увагу створенню та удосконаленню ефективних систем захисту критичної інфраструктури від зовнішніх і внутрішніх загроз кібернетичного характеру. Тому доцільним буде проаналізувати найпоширеніші кібернетичні втручання, які були здійснені на території України та розглянути існуючі методи та способи попередження кібернетичних втручань, а також запропонувати метод та схему захисту від кібернетичних втручань.*

***Ключові слова:** кібернетичні втручання, кібератака, Firewall, IPS/IDS, кібербезпека, кібероборона.*

### **Вступ**

За останні 4 роки Україна зазнала декількох масштабних кібернетичних втручань (далі – КВ) різного рівня складності та поширення. Більша їх частина була пов'язана із війною на сході України, яка розпочалась у 2014 р. Поява нових законів та прийняття нормативно-правових документів у сфері кібербезпеки держави обумовлює подальші дослідження та необхідність вирішення задачі підвищення ефективності кібербезпеки.

Аналіз сучасних кібератак в період з 2014 по 2017 роки показав слабкий рівень кібербезпеки в країні. За цей період їх жертвами були об'єкти енергетичної інфраструктури, Міністерства фінансів, Держказначейства, Пенсійного фонду. Було порушено роботу численних українських державних і приватних підприємств, зокрема аеропорту Бориспіль, Укртелекому, ЧАЕС, Укрзалізниці та інших, а також Кабінету міністрів і ряду ЗМІ [1, 2].

Серед основних атак, які були здійснені на об'єкти критичної інфраструктури, можна виділити наступні: отруєння кешу DNS та розподілена атака на відмову в обслуговуванні (DDoS-атака), ефективної протидії яким на сьогоднішній день не створено.

**Постановка проблеми.** Залучення комп'ютерних технологій до все більшої кількості сфер діяльності держави, наближає Україну не тільки до світових стандартів та тенденцій, але й

до їх негативних наслідків. Економіка, логістика та безпека країни все більше залежать від технічної інфраструктури та її захищеності. Для підвищення ефективності боротьби з КВ, доцільним буде проаналізувати найпоширеніші кібернетичні втручання, які були здійснені на території України та розглянути існуючі методи та способи попередження кібернетичних втручань, а також запропонувати надійний метод та схему захисту від кібернетичних втручань.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій** [2 – 7] показав, що існує велика кількість методів та засобів захисту від такого роду КВ. До основних методів виявлення (протидії) належать такі, що побудовані на основі сигнатурного аналізу (методи виявлення зловживань) та методи виявлення аномалій. До основних засобів належать технології IPS/IDS, антивірусні програми, мережеві екрани (Firewall). Оскільки природа кібернетичних атак є різноманітною, тому не існує єдиного підходу до захисту від всіх кібератак одночасно. У зв'язку з цим, виникає завдання пошуку ефективного рішення виявлення (протидії) КВ в інформаційно-телекомунікаційній мережі (далі – ІТМ).

**Метою статті** є вибір ефективного методу захисту від КВ та способу застосування засобів попередження КВ.

## Виклад основного матеріалу дослідження.

Методи захисту від кібернетичних втручань [2–5]. Існує дві основні групи методів аналізу подій в ІТМ для виявлення атак:

- виявлення зловживань (misuse detection);
- виявлення аномалій (anomaly detection).

Виявлення зловживань (сигнатурний метод). Детектори зловживань контролюють діяльність системи, аналізуючи подію або множину подій на відповідність заздалегідь визначеному зразку (сигнатурі), що описує відому атаку. Найбільш типова форма визначення зловживань, що здебільшого використовується у комерційних продуктах, визначає кожний зразок події, що відповідає атаці, як окрему сигнатуру. Проте існують складніші підходи для виявлення зловживань, що отримали назву технологій аналізу на основі стану (state-based), які можуть використовувати єдину сигнатуру для визначення групи атак.

Переваги й недоліки сигнатурного методу

Переваги сигнатурного методу:

детектори зловживань є дуже ефективними для визначення атак;

детектори зловживань не створюють величезного числа помилкових повідомлень;

детектори зловживань можуть швидко й надійно діагностувати використання конкретного інструментального засобу або технології атаки, це може допомогти адміністраторові скорегувати заходи для забезпечення безпеки;

детектори зловживань дозволяють адміністраторам, незалежно від рівня їхньої кваліфікації в області безпеки, почати процедури обробки інциденту.

Недоліки сигнатурного методу:

детектори зловживань можуть визначити тільки ті атаки, про які вони знають, необхідно постійно оновлювати їхні бази даних для одержання сигнатур нових атак

більшість детекторів зловживань розроблені таким чином, що можуть використовувати тільки строго певні сигнатури, а це не допускає визначення варіантів загальних атак.

Виявлення аномалій. Детектори аномалій визначають ненормальне (незвичайне) поведіння на хості або в мережі. Вони припускають, що атаки відрізняються від “нормальної” (законної) діяльності і можуть бути визначені системою, що здатна відслідковувати ці відмінності.

Детектори аномалій створюють профілі, що представляють собою нормальне поведіння користувачів, хостів або мережних з'єднань. Ці профілі створюються, виходячи з даних історії, зібраних у період нормального функціонування. Потім детектори збирають дані про події й використовують різні метрики для визначення того, що аналізована діяльність відхиляється від нормальної.

Детектори аномалій і системи виявлення

втручань (далі – СВВ), що на них засновані, часто створюють велику кількість помилкових повідомлень, тому що зразки нормального поведіння користувача або системи можуть бути дуже невизначеними. Незважаючи на цей недолік, вважається, що СВВ, засновані на виявленні аномалій, мають можливість визначити нові форми атак, на відміну від СВВ, заснованих на сигнатурах, які цілком покладаються на відповідність зразку минулих атак.

Переваги й недоліки виявлення аномалій.

Переваги виявлення аномалій:

СВВ, засновані на виявленні аномалій, фіксують несподіване поведіння і, таким чином, мають можливість визначити симптоми атак без знання конкретних деталей атаки;

детектори аномалій можуть створювати інформацію, що надалі буде використовуватися для визначення сигнатур для детекторів зловживань.

Недоліки виявлення аномалій:

виявлення аномалій звичайно створює велику кількість помилкових спрацьовувань про атаки при непередбаченому поведінні користувачів і непередбаченій мережній активності;

Виявлення аномалій часто вимагає деякого етапу навчання системи, під час якого визначаються характеристики нормального поведіння. Від якості проведення цього навчання суттєво залежить подальша ефективність СВВ.

На основі аналізу розглянутих методів можна зробити висновок, що для підвищення рівня захищеності інформаційних ресурсів ІТМ доцільно застосовувати методи на основі виявлення аномалій, оскільки саме їм притаманно виявляти кібератаки 0-day (атаки нульового дня).

Основні засоби захисту від кібернетичних втручань. До основних засобів захисту від КВ відносяться: антивірусне програмне забезпечення; система запобігання/виявлення вторгнень IPS/IDS; мережеві екрани (Firewall). Типова схема застосування засобів захисту від КВ представлена на рис. 1.

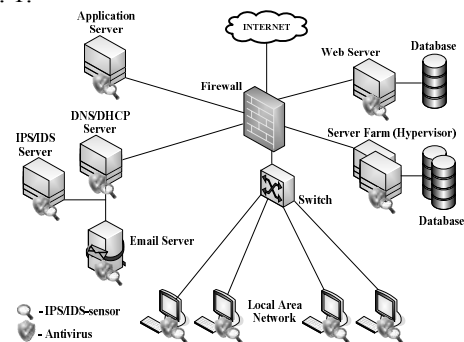


Рис. 1 Типова схема застосування засобів захисту від кібернетичних втручань.

Firewall (укр. мережевий екран) – це програма або обладнання, яке перешкоджає зловмисникам і

деяким типам шкідливих програм віддалено отримувати доступ до ІТМ. Для цього Firewall перевіряє дані, що надходять з Інтернету або по мережі, і розглядає їх на предмет блокування/дозволу передачі даних.

IDS/IPS (англ. Intrusion Detection System /Intrusion Prevention System, укр. Система виявлення вторгнення (СВВ)/Система запобігання втручання (СЗВ)). СВВ – програмний та/або апаратний засіб, призначений для виявлення фактів несанкціонованого доступу в комп'ютерну систему (мережу), або несанкціонованого управління такою системою.

Антивірусний захист – програмне забезпечення, яке здатне інтерактивно знаходити, протидіяти, блокувати, а також повністю видаляти віруси з системи.

Розглянута типова схема їх застосування (рис. 1) має суттєвий недолік: всі засоби працюють окремо та мають свою досить вузьку область застосування.

Технологія Cisco NG (next-generation) поєднує функціонал IPS та Firewall з метою покращення протидії КВ. Цей підхід себе виправдовує, проте, не включає весь спектр можливостей аналізованих засобів, що в свою чергу не надає повноможливого рівня забезпечення безпеки ресурсів сервісів ІТМ.

Тому пропонується до розглянутої схеми (рис. 1) додати координатор (рис. 2), основною метою якого буде координація дій всіх засобів. Координація функціонування цих засобів полягає в обміні командами управління та критичними даними в процесі аудиту подій в ІТМ.

Наприклад, у випадку ідентифікації IDS/IPS мережевої кібератаки на основі наявної аномалії в системі, брандмауєру надається команда від координатора на блокування ір-адреси підозрілої активності на основі даних, отриманих від IDS/IPS. В іншому випадку при наявності підозрілої активності без чіткої ідентифікації

відправлення даного процесу у карантин для атаки, координатор надає команду управління антивірусному програмному забезпеченню для подальшого дослідження.

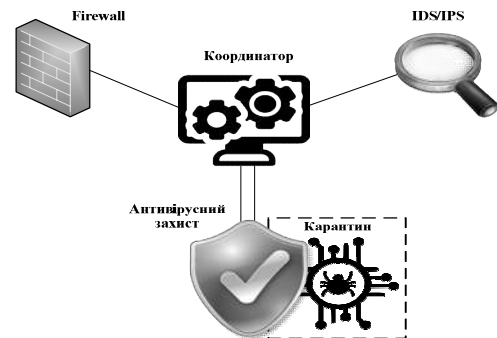


Рис. 2 Схема захисту від кібернетичних вторгнень з використанням координатора

Застосування такого підходу дозволить не тільки підвищити рівень кібернетичної захищеності ІТМ, а й може бути платформою для автоматичного створення експлойтів та сигнатур кібератак на основі наявних аномалій.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Аналіз методів та засобів показав доцільність їх застосування до виявлення кібернетичних атак. Але наразі не існує єдиного універсального методу захисту від всіх видів атак в ІТМ. Запропонований у статті підхід передбачає застосування IDS/IPS методів на основі виявлення аномалій та включення до типової схеми застосування основних програмно та/або програмно-апаратних засобів захисту ІТМ модуля-координатора, що дозволяє значно підвищити рівень захисту ІТМ шляхом гібридизації їх функціоналу. Подальшим напрямком наукових досліджень може бути вибір конкретного методу на основі виявлених аномалій.

### Література

1. Дрейс Ю.О., Мовчан М.С. “Аналіз негативних наслідків кібератак на інформаційні ресурси об’єктів критичної інфраструктури держави”, Актуальні питання забезпечення кібербезпеки та захисту інформації: третя міжнар. наук.-практ. конф., К.: Європейський університет, С. 71-74, 2017. 2. Субач І.Ю. Аналіз існуючих рішень запобігання вторгненням в інформаційно-телекомунікаційні мережі, відкритих на основі загальнодоступних ліцензій / І. Ю. Субач, В. В. Фесьоха, Н. О. Фесьоха. // Збірник наукових праць ІСЗЗІ. – 2017. – № 5 (1). 3. Басараб М.А. Обнаружение аномалий в информационных процессах на основе мультифрактального анализа / М.А. Басараб, И.С. Строганов. // Вопросы кибербезопасности. – 2014.

– №4 (5). – С. 30 – 40. 4. Kumar V. Parallel and distributed computing for cybersecurity / V. Kumar //IEEE Distributed Systems Online. – 2005. – Vol. 6, №. 10. 5. Браницкий А. А. Анализ и классификация методов обнаружения сетевых атак / А. А. Браницкий, И. В. Котенко. // Труды СПИИРАН. – 2016. – №45. – С. 207 – 244. 6. Feizollah A. Anomaly Detection Using Cooperative Fuzzy Logic Controller / [A. Feizollah, S. Shamshirband, N. Anuar та ін.]. // Communications in Computer and Information Science. – 2013. 7. Ажмухамедов И. М. Определение аномалий объема сетевого трафика на основе аппарата нечетких множеств / И. М. Ажмухамедов, А.Н. Марьянков. // Вестник АГТУ. – 2011. – № 1 (51).

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ САМЫМ РАСПРОСТРАНЕННЫМ КИБЕРНЕТИЧЕСКИМ ВМЕШАТЕЛЬСТВАМ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ.

Алексей Юрьевич Чередниченко  
Виталий Викторович Фесёха  
Юрий Александрович Процюк  
Татьяна Васильевна Бондаренко

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

*Стремительное развитие информационно-коммуникационных технологий и глобальной сети Интернет открывает много новых возможностей во всех сферах жизни человека и в стране в целом. С другой стороны использование компьютеров, мобильных гаджетов и других цифровых устройств способствовало развитию новой угрозы - кибернетических вмешательств, под которыми понимают действия в киберпространстве, направленные против информационно-телекоммуникационной сети с целью воздействия на нее путем нарушения ее функционирования, получения контроля над сетью, коррекции, копирования, удаления, повреждения, внедрения или уничтожения данных, создания условий для изменения поведения пользователей. В Украине в период с 2014 по 2017 годы прошел ряд кибернетических вмешательств, которые получили широкую огласку как в стране так и в мире.*

*В условиях глобализации информационных процессов, их интеграции в различные сферы общественной жизни руководство ведущих государств мира уделяет повышенное внимание созданию и совершенствованию эффективных систем защиты критической инфраструктуры от внешних и внутренних угроз кибернетического характера. Поэтому целесообразным будет проанализировать распространенные кибернетические вмешательства, которые были совершены на территории Украины и рассмотреть существующие методы и способы предупреждения кибернетических вмешательств, а также предложить метод и схему защиты от кибернетических вмешательств.*

**Ключевые слова:** кибернетические вмешательства, кибератака, Firewall, IPS/IDS, кибербезопасность, кибероборона.

## **ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO COUNTER THE MOST COMMON CYBERNETIC INTERVENTIONS IN INFORMATION AND TELECOMMUNICATIONS NETWORK**

*Oleksiy Y. Cherednychenko*

*Vitaliy V. Fesokha*

*Yurii O. Protsiuk*

*Tetyana V. Bondarenko*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroiv Krut, Kyiv, Ukraine*

*The rapid development of information and communication technologies and the global Internet opens up many new opportunities in all spheres of human life and in the country as a whole. On the other hand, the use of computers, mobile gadgets and other digital devices has contributed to the development of a new threat - cybernetic interventions, which are understood as actions in cyberspace directed against the information and telecommunications network with the aim of influencing it by disrupting its functioning, gaining control over the network, copy, delete, damage, insert or destroy data, create conditions for changing user behavior. In Ukraine, from 2014 to 2017, a number of cybernetic interventions were carried out, which were widely publicized both in the country and in the world.*

*In the context of the globalization of information processes and their integration into various spheres of public life, the leadership of the leading states of the world pays special attention to the creation and improvement of effective systems for protecting critical infrastructure against external and internal cyber threats. Therefore, it will be expedient to analyze the widespread cybernetic interventions that have been carried out on the territory of Ukraine and to consider existing methods and methods of preventing cybernetic interventions, as well as to offer a method and scheme for protection from cybernetic interventions.*

**Key words:** cybernetic interventions, cyberattack, firewall, IPS/IDS, cybersecurity, cyberdefense.

### **References**

- 1. Dreys Y.O., Movchan M.S.** "Analysis of the negative effects of cyber attacks on information resources of critical infrastructure of the state", Topical issues of cyber security and information security: third international. science-practice Conf., K.: European University, pp. 71-74, 2017.
- 2. Shubach I.Y.** An analysis of existing decisions to prevent intrusion in information and telecommunication networks open on the basis of public licenses / I. Yu. Zubach, V.V. Fesoha, N.O. Fesioha. // Collection of scientific works of the Institute for Scientific Research. - 2017 - No. 5 (1).
- 3. Basarab M.A.** Detection of anomalies in information processes on the basis of multifractal analysis. Basarab, I.S. Stroganov. // Issues of cybersecurity. - 2014. - No. 4 (5). - P. 30 - 40.
- 4. Kumar, V.** Parallel and distributed computing for cybersecurity / V. Kumar //IEEE Distributed Systems Online. - 2005. - Vol. 6, №. 10.
- 5. Branitsky A.A.** Analysis and classification of methods for detecting network attacks / A.A. Branitsky, I.V. Kotenko. // Proceedings of SPIIRAS. - 2016. - No. 45. - P. 207 - 244.
- 6. Feizollah A.** Anomaly Detection Using Cooperative Fuzzy Logic Controller / [A. Feizollah, S. Shamshirband, N. Anuar та ін.]. // Communications in Computer and Information Science. - 2013.
- 7. Azhmukhamedov I.M.** Determination of anomalies in the volume of network traffic on the basis of an apparatus of fuzzy sets / IM Azhmukhamedov, A.N. Mariyankov. // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. - 2011. - No. 1 (51).

Олег Олександрович Шкарлат<sup>1</sup>  
 Роман Михайлович Штонда<sup>2</sup>  
 Юлія Олександрівна Черниш<sup>2</sup>  
 Марія Володимирівна Сулімовська<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Асоціація охоронно-юридичних фірм “Паладін”, Київ, Україна

<sup>2</sup> Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

<sup>3</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМАХ СУБ'ЄКТІВ ОХОРОННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Інформаційна безпека суб'єкта охоронної діяльності, полягає в захищеності інтересів суб'єкту охоронної діяльності, пов'язаних із захистом від несанкціонованого доступу до тих відомостей, які є важливими в роботі суб'єкту охоронної діяльності. Критичні відомості можуть бути представлені сукупністю інформації, що здатна задовольняти інтерес власника, і його дії, спрямовані на оволодіння інформацією або приховування інформації. Ці відомості і захищаються від зовнішніх і внутрішніх загроз. У разі, коли суб'єкт охоронної діяльності не бачить необхідності в захисті своїх дій, наприклад, в зв'язку з тим, що це не окупується, зміст інформаційної безпеки може бути зведений до захищеності конкретної інформації, розкриття якої може принести помітний збиток в діяльності. Конфіденційна для суб'єкта охоронної діяльності інформація входить до сфери підвищеного інтересу конкуруючих компаній. Для недобросовісних конкурентів, корупціонерів та інших зловмисників особливу цікавість має інформація про склад менеджменту організації, її статус та діяльність. Подібна інформація зазвичай відноситься до комерційної таємниці. В деяких випадках навіть забезпечення викрадення 1/5 конфіденційної інформації може мати критичні наслідки для фінансової безпеки.

**Ключові слова:** автоматизована система, інформаційна безпека, засоби захисту інформації, система інформаційної безпеки, суб'єкт охоронної діяльності.

### Вступ

Система захисту інформації, яка в автоматизованих системах суб'єктів охоронної діяльності функціонує у формі електронних документів, охоплює всі етапи розробки, впровадження й експлуатації програмного забезпечення, що застосовується в автоматизованих системах. Створення надійної та ефективної системи захисту інформації в організаціях відбувається в декілька етапів:

аналіз можливих загроз та втрат для автоматизованої системи полягає у виборі з безлічі можливих впливів на систему лише тих, які можуть реально виникати і наносити значні збитки системі;

розробка (планування) політики безпеки і системи захисту у вигляді єдиної сукупності заходів різного плану (правових, морально-етичних, адміністративних, технічних) для протидії можливим загрозам;

реалізація системи захисту з використанням організаційних і програмно-технічних засобів захисту інформації;

супроводження системи захисту під час експлуатації платіжної системи.

Усі етапи нерозривно пов'язані між собою. У процесі впровадження та експлуатації автоматизованих систем необхідно постійно аналізувати достатність системи захисту та можливість виникнення загроз, які не були

враховані на попередніх етапах. Тому процес створення системи захисту інформації є постійним і потребує уваги та безперервного ретельного аналізу функціонування автоматизованої системи.

**Постановка проблеми.** В даний час відсутня будь-яка універсальна методика, що дозволяє чітко віднести ту чи іншу інформацію до категорії комерційної таємниці. Можна тільки порадити виходити з принципу економічної вигоди і безпеки підприємства – надмірна “засекреченість” призводить до необґрунтованого подорожання необхідних заходів щодо захисту інформації та не сприяє розвитку бізнесу, в той же час відкритість інформації може привести до великих фінансових втрат або розголошення комерційної таємниці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми захисту інформації в автоматизованих системах суб'єктів господарювання і не тільки розглядали в своїх працях такі автори як Нашинець-Наумова А., Благодарний А.М., Пількевич І.А., Клеха О.В., Гавловський В. [1-5].

**Метою статті** є аналіз існуючих математичних моделей та методів для подальшого їх застосування в побудові систем захисту інформації в автоматизованих системах суб'єктів охоронної діяльності.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Конкретний зміст зазначених заходів для кожної окремої взятої організації може бути

різним за масштабами та формами. Це залежить в першу чергу від фінансових можливостей організації, від обсягів інформації і ступеня її важливості. Суттєвим є те, що весь перелік зазначених заходів обов'язково повинен плануватися і виконуватися з урахуванням особливостей функціонування автоматизованої системи організації.

В обґрунтуванні витрат на систему захисту інформації організації, існує два основні підходи.

Перший підхід полягає в тому, щоб освоїти, а потім і застосувати на практиці необхідний інструментарій вимірювання рівня захисту інформації. Для цього необхідно залучити керівництво організації (як її власника) до оцінки вартості інформаційних ресурсів, визначення оцінки потенційних збитків від порушень в області захисту інформації. Від результатів цих оцінок буде багато в чому залежати подальша діяльність керівників в області захисту інформації. Якщо інформація нічого не варта, істотних загроз для інформаційних активів компанії немає, а потенційний збиток мінімальний (керівництво це підтверджує), проблемою забезпечення захисту інформації можна не займатися. Якщо інформація має певну вартість, та існують загрози і потенційна шкода, тоді постає питання про внесення в бюджет організації витрат на систему захисту інформації. У цьому випадку виникає необхідність заручитися підтримкою керівництва компанії в усвідомленні проблем захисту інформації і побудові корпоративної системи захисту інформації.

Другий підхід, полягає в наступному: можна спробувати знайти варіант розумної вартості корпоративної системи захисту інформації. Адже існують аналогічні варіанти в інших областях, де значущі для бізнесу події носять імовірнісний характер. Наприклад, на ринку автострахування оцінка вартості цієї послуги становить - 5-15% від ринкової вартості автомобіля в залежності від локальних умов його експлуатації, стажу водія, інтенсивності руху, стану доріг тощо.

За аналогією, захистом інформації в компанії можна взагалі не займатися, і не виключений такий варіант, що прийнятий ризик себе цілком виправдає. А можна витратити на створення корпоративної системи захисту інформації чимало грошей, і при цьому залишиться деяка вразливість, яка рано чи пізно призведе до витоку інформації.

Ефективність захисту інформації в автоматизованих системах досягається застосуванням засобів захисту інформації (далі □ ЗЗІ). Під ЗЗІ розуміються технічні, програмні засоби або технічно-програмні засоби, які призначені для захисту інформації.

На даний момент часу на ринку представлена велика різноманітність ЗЗІ, які умовно можна розділити на декілька груп:

засоби, що забезпечують розмежування доступу до інформації в автоматизованих системах;

засоби, що забезпечують захист інформації при передачі її по каналах зв'язку;

засоби, що забезпечують захист від витоку інформації по різним технічним каналам під час функціонування автоматизованих систем;

засоби, що забезпечують захист від впливу програм-вірусів;

засоби, що забезпечують безпеку зберігання, транспортування носіїв інформації і захист їх від копіювання.

Основне призначення ЗЗІ першої групи – розмежування доступу до інформації в автоматизованих системах полягає в:

ідентифікації та аутентифікації користувачів автоматизованої системи;

розмежування доступу зареєстрованих користувачів до інформаційних ресурсів;

реєстрації дій користувачів;

захисті завантаження операційної системи;

контролі цілісності ЗЗІ та інформаційних ресурсів.

Розмежування доступу зареєстрованих користувачів до інформаційних ресурсів здійснюється ЗЗІ відповідно до встановлених для користувачів повноважень. Як правило, ЗЗІ забезпечують розмежування доступу до гнучких, жорстких дисків, портів та пристроїв. Повноваження користувачів встановлюються за допомогою спеціальних налаштувань ЗЗІ.

По відношенню до інформаційних ресурсів ЗЗІ можуть встановлюватися наступні повноваження: читання, запис, створення тощо. Системи захисту інформації передбачають ведення журналу, в якому реєструються певні події, пов'язані з діями користувачів, наприклад редагування (модифікацію) файлів, запуск програми, виведення на друк і інші, а також спроби несанкціонованого доступу до ресурсів.

Особливо варто відзначити наявність в ЗЗІ функції захисту інформації завантаження операційної системи з флеш-накопичувачів і CD-ROM, що дозволяє захистити систему від злому з використанням спеціальних технологій.

У різних ЗЗІ існують програмні та апаратно-програмні реалізації цього захисту, проте практика показує, що програмна реалізація не завжди та в повній мірі забезпечує необхідний захист.

Контроль цілісності файлів, які підлягають захисту полягає в підрахунку і порівнянні контрольних сум файлів. При цьому використовуються різної складності алгоритми підрахунку контрольних сум.

Оскільки на ринку представлена велика різноманітність ЗЗІ, вибір певного ЗЗІ залежить від наступних критеріїв:

умовами функціонування (операційне середовище, апаратна платформа, автономні персональні обчислювальні машини та обчислювальні мережі);

складністю налаштування і управління параметрами засобів захисту інформації;

типами ідентифікаторів, що використовуються;

переліком подій, що підлягають реєстрації; вартістю засобів захисту.

З розвитком мережевих технологій з'явився новий тип ЗЗІ – міжмережеві екрани (firewalls), які забезпечують рішення таких задач, як захист підключень до зовнішніх мереж, розмежування доступу між сегментами корпоративної мережі, захист корпоративних потоків даних.

Захист інформації при передачі її по каналах зв'язку здійснюється засобами криптографічного захисту (далі – засіб КЗІ). Характерною особливістю цих засобів є те, що вони потенційно забезпечують найвищий захист переданої інформації від несанкціонованого доступу до неї. Крім цього, засоби КЗІ забезпечують захист інформації від модифікації.

Як правило, засоби КЗІ функціонують в автоматизованих системах як самостійний засіб, проте в окремих випадках засоби КЗІ можуть функціонувати в складі засобів розмежування доступу як функціональна підсистема для посилення захисних властивостей останніх.

Забезпечуючи високу ступінь захисту інформації, в той же час застосування засобів КЗІ спричиняє ряд незручностей:

стійкість засобів КЗІ є потенційною, тобто гарантується при дотриманні ряду додаткових вимог, реалізація яких на практиці здійснюється досить складно (створення і функціонування ключової системи, розподіл ключів, забезпечення збереження ключів, планування та організація заходів при компрометації ключової системи);

відносно висока експлуатаційна вартість таких засобів.

В організаціях для забезпечення фізичного захисту носіїв інформації встановлюються, як правило, наступні організаційні заходи: охорона приміщень, доступ до цих приміщень, встановлення порядку користування носіями інформації, а також закріплення технічних засобів за співробітниками та їх ремонт.

Вимоги щодо встановлення організаційних заходів в організаціях, установах тощо оформлюються у вигляді організаційно-розпорядчих документів і доводяться для ознайомлення до співробітників організації.

Обмеження доступу до інформації яка підлягає захисту сприяє створенню найбільш ефективних умов для її збереження. Необхідно чітко визначати коло співробітників організації, яким дозволено користуватися зазначеною інформацією.

Експерти-практики в галузі захисту інформації знайшли оптимальне рішення, при якому можна відчувати себе відносно впевнено – вартість системи захисту інформації повинна складати приблизно 10-20% від вартості автоматизованої системи. Це і є та сама оцінка на основі практичного досвіду (best practice), якою можна впевнено оперувати, якщо не відпрацьовувати детальні розрахунки.

Цей підхід, очевидно, не позбавлений недоліків. В даному випадку, швидше за все, не

вдасться залучити керівництво в глибоке усвідомлення проблем захисту інформації. Але можливо обґрунтувати обсяг бюджету на захист інформації шляхом посилення на зрозумілі більшості власників інформаційних ресурсів загальноприйняті вимоги до забезпечення режиму інформаційної безпеки, формалізовані в ряді стандартів, наприклад ISO 17799.

Для ефективного функціонування системи захисту інформації підприємства її необхідно оснастити оптимальним комплексом апаратних і програмних засобів захисту від різних інформаційних загроз таким чином, щоб оптимізувати деякий критерій оптимальності створення системи захисту інформації. При цьому вважається, що інформаційні загрози між собою не пов'язані.

Нижче розглядаються моделі вирішення проблеми створення систем захисту інформації організації.

У загальному випадку вважаємо, що задано безліч інформаційних загроз (ІЗ), які можуть виникнути в автоматизованій системі організації і безліч апаратних і програмних засобів захисту (ЗЗ), за допомогою яких ці загрози можуть бути нейтралізовані. Причому для кожного поєднання ІЗ – ЗЗ визначено число  $r_1(ij)$  – ефективність нейтралізації і-м ЗЗ j-й ІЗ. Для побудови математичної моделі введемо змінну  $y(i, j)$ , що дорівнює 1, якщо j-а ІЗ нейтралізується за допомогою і-го ЗЗ, і нулю - в іншому випадку.

Для кращого розуміння дамо змістовну і формальну постановку завдань вибору оптимальної системи захисту інформації в термінах теорії графів, а також методи їх вирішення. Для цього побудуємо двочасткові графи  $G(X, U)$ , ( $X = uX_i, i = 1,2$ ) такий, що вершини безлічі в  $X_1$  відповідають апаратним і програмним засобам захисту, а вершини множин в  $X_2$  - відповідним інформаційним загрозам. Кожен елемент (вершина) безлічі  $X_1$  характеризується ціною і ефективністю по нейтралізації інформаційних загроз. Кожній вершині безлічі  $X_1 \times X_2$  присвоюється вага, рівна вартості, що відповідає ЗЗ, а кожній дузі –  $(i,j) \in U$  вага,  $z(i, j) = 1,0$ . Тоді завдання вибору оптимальної системи захисту інформації полягатиме в максимізації ефективності нейтралізації безлічі інформаційних загроз різними засобами захисту при обмеженнях на обсяг витрат  $Q$ . Формальна постановка задачі має наступний вигляд [6]:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_1(ij)y(ij) \rightarrow \max$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n r_2(i) * \sum_{x_i \in X_2} y(ij) \leq Q \quad (1)$$

$$\forall x_i \in X_2, \sum_{x_i \in X_1} y(ij) = 1;$$

$$\forall (ij) \in U, y(ij) = 1,0$$

де  $r_2(i)$  – витрати на купівлю  $i$ -го ЗЗ.

Якщо необхідно мінімізувати витрати на засоби захисту від інформаційних загроз в автоматизованих системах організацій при обмеженні на заданий рівень ефективності  $P$ , то формальна постановка задачі буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^n r_2(i) * \text{sing} \sum_{j=1}^m y(ij) \rightarrow \min$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_1(ij)y(ij) / \sum_{i=1}^n (\max r_1(ij)) \leq P \quad (2)$$

$$\forall x_i \in X_2, \sum_{x_i \in X_1} y(ij) = 1$$

$$\forall (ij) \in U, y(ij) = 1,0$$

У моделі (2) передбачається, що найвищий рівень ефективності системи захисту інформації буде тоді, коли для нейтралізації кожної загрози буде обрано засіб захисту з максимальною ефективністю. Найвищий рівень ефективності системи захисту інформації дорівнює сумі максимальних елементів в кожному стовпці матриці  $r_1(ij)$ .

До найбільш загальних закономірностей безпеки відноситься властивість, яка говорить про те, що “ступінь безпеки системи визначається ступенем безпеки її самого слабкого елемента”. Якщо перефразувати цю властивість, то для нашого випадку рівень інформаційної безпеки буде визначатися ЗЗ з найменшою ефективністю, обраного нами з усієї безлічі засобів захисту. В цьому випадку формальна постановка задачі буде мати вигляд:

$$\min \sum_{i=1}^n r_1(ij)y(ij) \rightarrow \max$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n r_2(i) * \text{sing} \sum_{x_i \in X_2} y(ij) \leq Q$$

$$\forall x_i \in X_2, \sum_{x_i \in X_1} y(ij) = 1; \quad (3)$$

$$\forall (ij) \in U, y(ij) = 1,0$$

У тому випадку, коли інформаційні загрози не є незалежними, тобто поява однієї ІЗ є джерелом для іншої, то, позначаючи  $X_i$  з  $X_1$  – підмножина вершин “лівої” частки, що відповідають ЗЗ, використання яких передуює появі  $i$ -ї ІЗ, то (1) перетвориться до виду:

$$\sum_{x_k \in X_{2,l}(ij) \in L(s,t_k)} r_1(ij) * z(ij) \rightarrow \max$$

$$\sum_{i=1}^n r_2(i) * \text{sing} \sum_{x_i \in X_2} y(ij) \leq Q \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n r_2(i) * \text{sing} \sum_{x_i \in X_2} y(ij) \leq Q$$

$$\forall x_i \in X_2, \sum_{x_i \in X_1} y(ij) = 1;$$

$$\forall (ij) \in U, y(ij) = 1,0$$

В моделі (3) вважаємо, що для отримання інформації, необхідної для виконання  $j$ -ї загрози досить появи однієї з ІЗ, що відповідають  $X_i$ .  $L(s, t_k)$  – шлях з фіктивної вершини - джерела, дуги з якого заходять в усі вершини - джерела підмножини  $X_2$ , в вершину  $x_{tk} \in X_2$ .

Запропоновані вище формальні моделі відносяться до класу задач дискретного програмування для їх вирішення можуть бути використані різні типи алгоритмів.

Методи, що гарантують оптимальне рішення задачі. Як приклад візьмемо алгоритми Балаша і метод гілок і меж. Для того, щоб поєднати позитивні якості цих алгоритмів використовуємо побудову змішаних стратегій. Для аналізу змішаних стратегій введемо граф  $G(X, U)$ , що визначає дерево рішень задачі, де  $X$  - безліч вершин і  $U$  - безліч дуг. Дерево рішень, побудоване алгоритмом типу гілок і меж, позначимо  $G_1(X_1, U_1)$ , а дерево, побудоване за допомогою алгоритму Балаша, позначимо  $G_2(X_2, U_2)$ . Справедливе наступне твердження. Дерево  $G_1(X_1, U_1)$  є підпунктом дерева  $G_2(X_2, U_2)$ .

На основі наведеної теореми може бути побудований наступний алгоритм.

Крок 1. Визначаємо безліч висячих вершин першого ярусу дерева рішень  $X_1$ , де  $|X_1| = 2$ , і обчислюємо їх оцінки.

Крок 2. На безлічі отриманих оцінок виділяємо ліпшу і найближчу до неї.

Крок 3. Якщо базис вектора змінних, відповідний ліпшій оцінці, містить всі компоненти вектора змінних, то переходимо до кроку 15, якщо ні - то до кроку 4.

Крок 4. Рекорду  $R$  присвоюємо значення, рівне оцінці, найближчої до ліпшої.

Крок 5. Розширюємо базис, відповідний вершині з ліпшою оцінкою, і обчислюємо оцінку нового базису.

Крок 6. Якщо нова оцінка ліпшого рекорду, то переходимо до кроку 7, в іншому випадку – до кроку 9.

Крок 7. Якщо в базис введені всі змінні, то переходимо до кроку 8, в іншому випадку - до кроку 5.

Крок 8. Рекорду присвоюється значення, рівне ліпшій оцінці.

Крок 9. Замінюємо значення останньої змінної базису на зворотне і обчислюємо нову оцінку.

Крок 10. Якщо оцінка нового часткового плану ліпшого рекорду, то переходимо до кроку 7, якщо немає, то переходимо до кроку 11.

Крок 11. Базис піддається стиску, відповідну оцінку запам'ятовуємо і переходимо до кроку 12.

Крок 12. Якщо подальше стиснення базису неможливо, так як він відповідає вершині, що мала ліпшу оцінку на кроці 3 останньої ітерації, то



переходимо до кроку 13, в іншому випадку – до кроку 9.

Крок 13. Вершину дерева рішень, якій відповідає оцінка, рівна рекорду, вважаємо ліпшою.

Крок 14. На безлічі інших вершин дерева рішень вибираємо оцінку найближчу до ліпшої і переходимо до кроку 3.

Крок 15. Роздруковуємо вектор змінних. Закінчення дій алгоритму.

Перевагою методів типу гілок і меж в порівнянні з алгоритмом Балаша є менший обсяг перебору, за який доводиться платити жорсткими обмеженнями до пам'яті персонального комп'ютера і великим числом порівнянь. Скорочення числа операцій порівнянь можна досягти, поєднуючи спуск по дереву рішень в кращому напрямку, властивий методам типу гілок і меж, з перебором, реалізованим алгоритмом Балаша.

Експериментальна оцінка підтверджує ефективність поєднаної стратегії руху по дереву рішень.

Методи, що дають шанс на отримання оптимального рішення. Широке поширення алгоритмів пояснюється їх простотою, легкістю реалізації на персональному комп'ютері, можливістю в короткі терміни отримати досить хороші рішення, низькими вимогами до обсягу пам'яті персонального комп'ютера. Основною їх відмінністю від наведених вище детермінованих методів локальної оптимізації є випадковий вибір напрямку руху по дереву рішень на часткових планах, так і по векторній решітці на повних планах. Якщо всі напрямки вірогідні, то кажуть, що реалізується метод Монте-Карло, нас же буде цікавити підхід, при якому з великою ймовірністю вибираються ліпші напрями. Одним із способів

реалізації такого підходу є наступна процедура: для безлічі  $\{s\}$  сусідніх з  $s_0$  планів обчислюються оцінки  $\Delta(S_i) S_i \in \{S\}$  які зводяться до рівня  $q$  ( $q > 0$  для задач з максимізуючим функціоналом мети і  $q \leq 0$  для задач з мінімізуючим функціоналом мети), що називаються ступенем довіри оцінці. Потім частина числової осі від 0 до 1 розбивається на відрізки по числу обчислених оцінок, причому довжина  $i$ -го відрізка  $L_i$  дорівнює:

$$L_i = \Delta q(S_i) / \sum_i \Delta q(S_i) \quad (5)$$

Береться випадкове число  $0 < \alpha \leq 1$  (рівномірний розподіл) і вибирається той відрізок, на який це число падає. Очевидно, що чим краще оцінка, тим ширше відповідний її відрізок  $i$ , отже, тим більша ймовірність її вибору. При  $q = 0$  такий підхід полягає в методі Монте-Карло,  $q \rightarrow \infty$  - в детермінованому пошуку в кращому напрямку.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, ефективність зазначених вище алгоритмів в значній мірі визначається числом переглянутих рішень за виділений для розрахунку час, тобто їх швидкодією. Актуальність підвищення швидкодії зростає для адаптивних процедур, які потребують додаткових рішень для накопичення досвіду і адаптації. Існуючі способи підвищення швидкодії алгоритмів (вибір способу обчислення оцінки, розгалуження, ступеня і довірливості адаптивних процедур) зазвичай пов'язані зі специфікою конкретних задач. Подальші дослідження сприятимуть вирішенню нових прикладних задач, пов'язаних з оцінкою і вибором варіантів побудови систем захисту інформації.

### Література

1. **Нашинець-Наумова А.** Організація системи захисту інформації суб'єктів господарювання /А. Нашинець-Наумова// Підприємство, господарювання і право К.: КУ ім. Бориса Грінченка, 2016. – С.110-116.
2. **Благодарний А.М.** Адміністративно-правові заходи охорони інформації в автоматизованих системах /А.М. Благодарний// Інформаційна безпека людини, суспільства, держави №1(14) К.: 2014 С.70-75.
3. **Пількевич І.А.** Захист інформації в автоматизованих системах управління /І.А.Пількевич, Н.М.Лобанчикова, К.В.Молодецька// Навчальний посібник Ж.: ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2015 С. 57-102.
4. **Клеха О.В.** Основні

- проблеми при побудові моделей захисту інформації в комп'ютерній мережі автоматизованих системах /О.В.Клеха// збірник Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво №8 Л.: Луцький НТУ, 2012. – С.42-46.
5. **Гавловський В.** Інформаційна безпека захист інформації в автоматизованих системах (організаційно-правові аспекти) /[Електронний ресурс]// Режим доступу <http://pnzzi.kpi.ua> – Назва з екрану.
  6. **Росс Г., Табаков А.** Проблемы безопасности автоматизированных информационных систем на предприятиях /[Електронний ресурс]// Режим доступу <http://www.okbsapr.ru> – Назва з екрану.

### ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ СУБЪЕКТОВ ОХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Олег Александрович Шкарлат<sup>1</sup>  
Роман Михайлович Штонда<sup>2</sup>  
Юлия Александровна Черныш<sup>2</sup>  
Мария Владимировна Сулимовская<sup>3</sup>*

- <sup>1</sup>Асоціація охоронно-юридических фирм “Паладин”, Киев, Украина  
<sup>2</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина  
<sup>3</sup>Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Информационная безопасность субъекта охранной деятельности, состоит в защищенности интересов субъекта охранной деятельности, связанных с защитой от несанкционированного доступа к тем сведениям, которые являются важными в работе субъекта охранной деятельности. Критические сведения могут быть представлены совокупностью информации, которая способна удовлетворять интерес владельца, и его действия, направленные на овладение информацией или скрывание информации. Эти сведения и защищаются от внешних и внутренних угроз. В случае, когда субъект охранной деятельности не видит необходимости в защите своих действий, например, в связи с тем, что это не окупается, содержание информационной безопасности может быть сведено к защищенности конкретной информации, раскрытие которой может нанести заметный убыток деятельности. Конфиденциальная для субъекта охранной деятельности информация входит в сферу повышенного интереса конкурирующих компаний. Для недобросовестных конкурентов, коррупционеров и других злоумышленников особый интерес имеет информация о составе менеджмента организации, ее статусе и деятельности. Подобная информация обычно относится к коммерческой тайне. В некоторых случаях также обеспечение похищения 1/5 конфиденциальной информации может иметь критические последствия для финансовой безопасности.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, информационная безопасность, средства защиты информации, система информационной безопасности, субъект охранной деятельности.

### PROTECTION OF INFORMATION IN AUTOMATED SYSTEMS OF SECURITY ACTIVITY SUBJECTS

*Oleg O. Shkarlat*<sup>1</sup>  
*Roman M. Shtonda*<sup>2</sup>  
*Yulia A. Chernish*<sup>2</sup>  
*Maria M. Sulimovska*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Association of Security Law Firms "Paladin", Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Military Institute of Telecommunications and Information named after Heroiv Krut, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernykhovski, Kyiv, Ukraine

The information security of the subject of the security activity, is in the protection of the interests of the security activity subject, connected with protection from unauthorized access to those data that are important in the work of the security activity subject. Critical data can be presented by a combination of information that is able to satisfy the owner's interest, and his actions aimed at mastering information or a screen of information. These data are protected against external and internal threats. In the case when the subject of the hunting activity does not see the need to protect its actions, for example, due to the fact that this does not pay off, the content of information security can be reduced to the protection of specific information, the disclosure of which may cause a noticeable loss of activity. Confidential for the subject of security activities information is in the sphere of increased interest of competing companies. For unscrupulous competitors, corrupt officials and other intruders, information about the composition of the organization's management, its status and activities is of particular interest. Such information usually refers to trade secrets. In some cases, also ensuring the kidnapping of 1/5 of confidential information can have a critical impact on financial security.

**Key words:** automated system, information security, information security means, information security system, security activity subject.

### References

- 1. Nashinets-Naumova A.** (2016) Organization of the system of protection of information of business entities [Orghanizacija systemy zakhystu informaciji sub'ektiv ghospodarjuvannja] Kyiv, KU them. Boris Grinchenko Enterprise, management and law of, pp.110-116.
- 2. Grateful A.M.** (2014) Administrative-legal measures of protection of information in automated systems. [Administratyvno-pravovi zakhody okhorony informaciji v avtomatyzovanykh systemakh] Kyiv, Information security of a person, a society, a state №1(14) pp.70-75.
- 3. Pilkevich I.A., Lobanchikova N. M., Molodetska K. V.**(2015) Information protection in automated control systems [Zakhyst informaciji v avtomatyzovanykh systemakh upravlinnja] Zhytomyr, ZhVI im . S.P.Korolova Educational manual for pp. 57-102.
- 4. Klekha O.V.** (2012) The main problems in the construction of data protection models in a computer network of automated systems [Osnovni problemy pry pobudovi modelej zakhystu informaciji v komp'yuternij merezhi avtomatyzovanykh systemakh] Lutsk Lutsk NTU Collection Computer-integrated technologies: education, science, production No. 8 pp.42-46.
- 5. Gavlovsky V.** Information security information protection in automated systems (organizational and legal aspects) [Informacijna bezpeka zakhyst informaciji v avtomatyzovanykh systemakh (orghanizacijno-pravovi aspekty)] Electronic resource Access mode <http://pnzzi.kpi.ua> - Title from the screen.
- 6. Ross G. Tabakov A.** Security problems of automated information systems at enterprises [Problemy bezopasnosti avtomatizirovannyh informatsionnyh sistem na predpriyatiyah] Electronic resource Access mode <http://www.okbsapr.ru> - Screen name.

Леонід Михайлович Артюшин (доктор техн. наук, професор)<sup>1</sup>

Микола Вікторович Бугайов (канд. техн. наук, науковий співробітник)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

<sup>2</sup>Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Україна

## АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФРАКТАЛЬНОЇ РОЗМІРНОСТІ

У роботі проведено аналіз статистичних характеристик фрактальної розмірності (ФР) акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів (БпЛА), широкосмугового шуму та шуму вітру. Встановлено, що значення ФР для широкосмугового шуму підпорядковані нормальному закону розподілу щільності ймовірностей. Запропоновано алгоритм виявлення акустичних сигналів БпЛА на основі аналізу ФР з постійною ймовірністю хибної тривоги. Особливістю алгоритму є те, що значення порогу не залежить від потужності широкосмугового шуму. Проведено дослідження робочих характеристик запропонованого алгоритму. Встановлено залежність ймовірності правильного виявлення акустичного сигналу БпЛА при заданих значеннях ймовірності хибної тривоги від довжини вікна аналізу сигналу та мінімальної кількості інтервалів розбиття даного вікна при розрахунку ФР із використанням показника Херста. Вказано умови для досягнення оптимальних значень показників якості виявлення.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, акустичний сигнал, показник Херста, фрактальна розмірність, алгоритм виявлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У зв'язку з розширенням сфери застосування малорозмірних БпЛА та збільшенням кількості загроз, які вони можуть створювати, завдання своєчасного та достовірного виявлення таких літальних апаратів є важливим та актуальним [1 2]. Складність виявлення таких БпЛА зумовлена їх низькою помітністю в радіолокаційному, інфрачервоному та оптичному діапазонах довжин хвиль. У зв'язку з цим в останні роки зросла зацікавленість до виявлення таких БпЛА із використанням пасивних акустичних систем [3 9]. Особливостями акустичних сигналів БпЛА, що ускладнюють їх виявлення, є відносно малий рівень звукової потужності та широка смуга частот (порівняно з іншими акустичними сигналами), а також висока апіорна невизначеність відносно структури як акустичних сигналів БпЛА, так і перешкод [10 11].

Дослідження складних коливань, до яких відносяться і акустичні сигнали БпЛА, шляхом аналізу відповідних фазових портретів та ФР дає більше інформації, ніж спостереження часових реалізацій і спектрів [12]. Тому розроблення та дослідження алгоритмів виявлення акустичних сигналів БпЛА на основі аналізу ФР є актуальним завданням, вирішення якого дозволить проводити надійне виявлення БпЛА пасивними акустичними системами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню особливостей акустичних сигналів БпЛА та підходів до їх аналізу та виявлення присвячена значна кількість публікацій

вітчизняних та закордонних авторів [3 11]. Основну увагу при вирішенні завдання виявлення акустичних сигналів БпЛА дослідники зосереджують на використанні методів частотного [4, 6, 7], частотно-часового [5, 13, 14] та кореляційного аналізу [8].

Також останнім часом для виявлення та розпізнавання відбитих від лопатей БпЛА мультироторного типу радіолокаційних сигналів використовують величини ФР фазових портретів [15 16].

Невирішеними залишаються питання дослідження ФР акустичних сигналів БпЛА та оцінювання можливості її використання для виявлення БпЛА.

**Метою статті** є розроблення та дослідження алгоритму виявлення акустичних сигналів БпЛА на основі аналізу їх фрактальної розмірності.

### Методи дослідження

При проведенні досліджень було використано математичний апарат теорії ймовірностей і математичної статистики, методи математичного моделювання.

### Виклад основного матеріалу

#### дослідження

#### Дослідження фрактальної розмірності акустичних сигналів БпЛА

Зацікавленість фрактальним аналізом зумовлена тим, що такий вид обробки дозволяє оцінити інтегральні характеристики сигналів, які не залежать від моменту приходу і розраховуються для всієї довжини сигналу.

Для більшості часових рядів аналітичне знаходження ФР  $D$  є неможливим, тому її визначають чисельно, найчастіше через величини, пов'язані з нею простим співвідношенням. Одним із основних методів визначення ФР числових рядів на сьогоднішній день є обчислення показника Херста. Даний спосіб дослідження фрактальних часових рядів (RS-метод) ґрунтується на аналізі відношення розмаху параметра  $R$  (різниці між його найбільшим і найменшим значеннями на відрізку) до його середньоквадратичного відхилення (СКВ)  $S$  показника Херста  $H$ , який широко застосовують завдяки своїй стійкості. Даний показник містить мінімальні припущення про сигнал і може класифікувати часові ряди, відрізняючи випадковий ряд від не випадкового, навіть якщо значення відліків випадкового ряду розподілені не за нормальним законом [17]. Для гаусових сигналів показник Херста пов'язаний з ФР  $D$  співвідношенням  $D = 2 - H$ . Для отримання надійної чисельної оцінки ФР необхідно є значна кількість даних (порядку  $10^3 - 10^4$  значень), тому отримані результати дають уяву лише про загальні властивості ряду на великих масштабах, всередині яких часовий ряд може кілька разів змінити характер своєї поведінки. ФР, як правило, є додатнім нецілим числом і відображає складність

форми сигналу. При двовірному представленні прийнятого сигналу, величина ФР знаходиться в межах  $1 \leq D \leq 2$  [18].

В даній роботі для визначення ФР було використано показник Херста. Розрахунок ФР акустичного сигналу БпЛА з двигуном внутрішнього згорання і повітряним гвинтом, широкосмугового шуму з рівномірною спектральною щільністю потужності та шуму вітру було проведено для записів відповідних сигналів при розрядності аналого-цифрового перетворювача 16 біт і частоті дискретизації 8 кГц. Довжина реалізацій кожного із записів становила близько  $3 \times 10^5$  відліків. Обчислення ФР проводилося у сусідніх вікнах без перекриття довжиною  $10^3$  і  $2 \times 10^3$  відліків. Графіки залежностей вибірових середнього  $mD$  та СКВ  $sD$  ФР від мінімальної кількості елементів розбиття  $M$  наведено на рис. 1 (а) та (б) відповідно. Суцільною лінією показано криві для довжини вікна  $N = 2000$  відліків, а пунктирною для  $N = 1000$ . Фоновий широкосмуговий шум із рівномірною щільністю спектральної потужності та шум вітру було обрано як типові сигнали на фоні яких проводиться виявлення акустичного сигналу БпЛА.

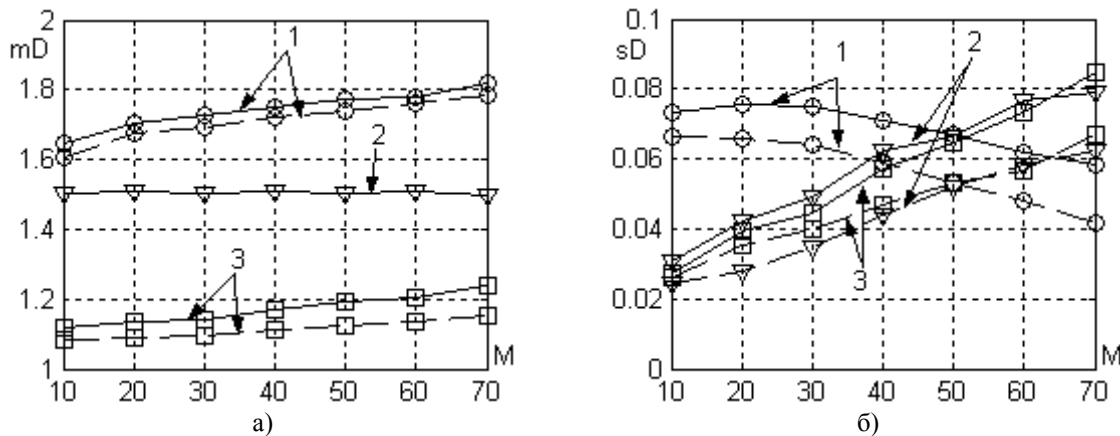


Рис. 1. Залежність вибірових середнього  $mD$  (а) та СКВ  $sD$  (б) ФР  $D$  від мінімальної кількості елементів розбиття  $M$ : 1 – сигнал БпЛА; 2 – широкосмуговий шум; 3 – шум вітру

Із наведених залежностей видно, що при збільшенні довжини вікна  $N$  і  $M = \text{const}$  для широкосмугового шуму вибірове середнє ФР залишається незмінним, а СКВ зменшується. При цьому для сигналу БпЛА і шуму вітру вибірове середнє зростає, а СКВ зменшується.

При збільшенні  $M$  і  $N = \text{const}$  для сигналу БпЛА і вітру середнє вибірове зростає, а для шуму залишається практично незмінним. При цьому для широкосмугового шуму і шуму вітру вибірове СКВ збільшується, а для сигналу БпЛА зменшується.

Виходячи з аналізу наведених залежностей можна зробити висновок, що множина значень ФР широкосмугового шуму знаходиться ближче відповідної множини сигналу БпЛА, ніж множина значень ФР шуму вітру. Тому очевидно, що при

спостереженні акустичного сигналу БпЛА на фоні вітру ймовірність його правильного виявлення  $P_D$  буде вищою, ніж при спостереженні на фоні широкосмугового шуму.

### Розроблення алгоритму виявлення акустичного сигналу БпЛА

При виявленні сигналів однією з ключових задач є задача знаходження порогу [19]. Оскільки для різних типів БпЛА значення ФР можуть відрізнятися, а для широкосмугового шуму дані значення є стійкими, тому значення порогу будемо обирати для фіксованого значення ймовірності хибної тривоги  $P_F$ .

Виходячи з аналізу алгоритму розрахунку показника Херста [20] та на основі центральної граничної теореми можна припустити, що розподіл значень ФР для широкосмугового шуму є

нормальним. Тоді значення порогу для заданого значення ймовірності хибної тривоги  $P_F$  можна знайти як правосторонній квантиль нормальної кривої розподілу щільності ймовірностей при знайдених значеннях вибіркового середнього та СКВ для заданих  $N$  і  $M$ .

В табл. 1 наведено теоретичні значення порогів

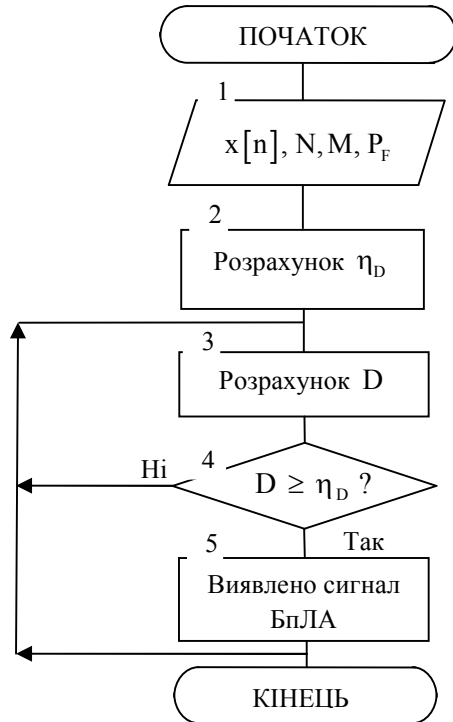


Рис. 2. Алгоритм виявлення акустичного сигналу БпЛА

для різних ймовірностей хибної тривоги  $P_F$  при  $M = 30$  та  $M = 70$ .

У результаті проведеного математичного моделювання за допомогою методу Монте-Карло було встановлено, що розраховані значення порогів забезпечують значення ймовірності хибної тривоги не вище наведених у табл. 1.

Запропонований алгоритм виявлення акустичного сигналу БпЛА наведено на рис. 2. Вхідними даними алгоритму є відліки акустичного сигналу  $x[n]$ , довжина вікна  $N$ , мінімальна кількість інтервалів розбиття вікна  $M$  та ймовірність хибної тривоги  $P_F$ . Після розрахунку значення порогу  $\eta_D$  визначають значення ФР  $D$  відліків прийнятої реалізації та порівнюють розраховане значення з порогом. У разі перевищення порогу приймається рішення про виявлення акустичного сигналу БпЛА.

### Дослідження показників якості розробленого алгоритму

Методом статистичного моделювання в середовищі MATLAB було розраховано залежності значень статистичної ймовірності правильного виявлення  $P_D$  акустичного сигналу БпЛА на фоні широкосмугового шуму від відношення сигнал-шум (ВСШ)  $q$ . Значення ВСШ змінювалося в діапазоні від -14 дБ до 34 дБ з кроком 2 дБ.

На рис. 3 (а) наведено робочі характеристики розробленого алгоритму у вигляді кривих виявлення для значень ймовірності хибної тривоги в діапазоні від  $10^{-1}$  до  $10^{-6}$  для довжини вікна аналізу 1000 відліків. Аналогічні криві виявлення для довжини вікна аналізу 2000 відліків наведено на рис. 3 (б). Мінімальна кількість інтервалів розбиття вікна  $M$  сигналу для обох випадків складає 30.

Таблиця 1

Значення порогів для заданої ймовірності хибної тривоги

$P_F$	$M = 30$					$M = 70$				
	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$
$N = 10^3$	1,56	1,62	1,64	1,69	1,71	1,61	1,69	1,76	1,81	1,86
$N = 2 \cdot 10^3$	1,55	1,57	1,62	1,64	1,65	1,58	1,64	1,68	1,72	1,75

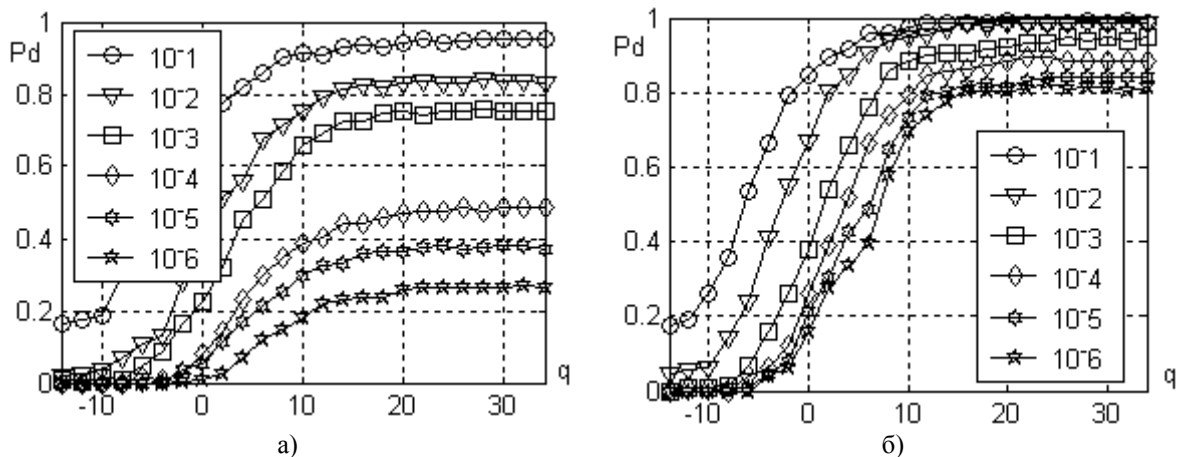
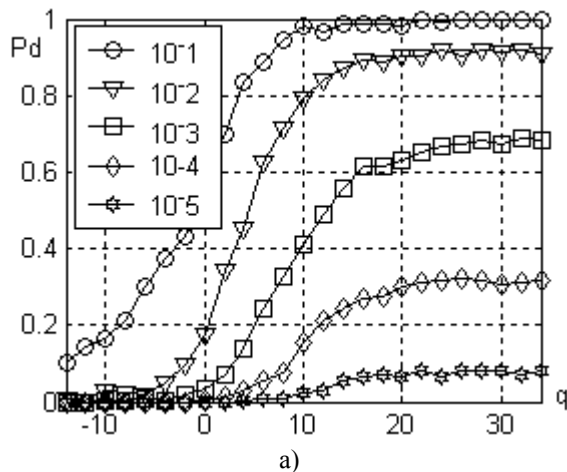


Рис. 3. Криві виявлення акустичного сигналу БпЛА для  $M = 30$  і  $N = 1000$  (а) та  $N = 2000$  (б)

На рис. 4 (а, б) наведено аналогічні криві виявлення розробленого алгоритму для



мінімальної кількості інтервалів розбиття вікна сигналу  $M = 70$ .

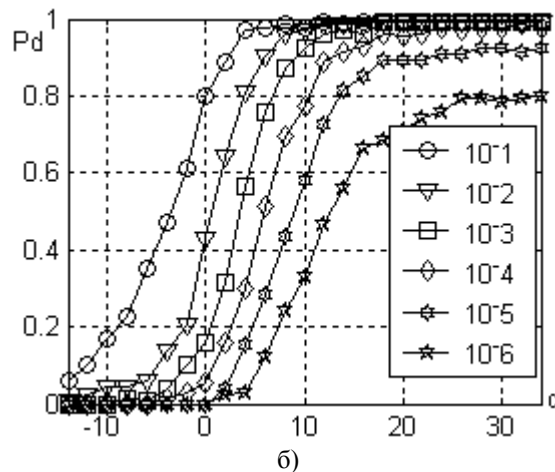


Рис. 4. Криві виявлення акустичного сигналу БпЛА для  $M = 70$  і  $N = 1000$  (а) та  $N = 2000$  (б)

Особливістю отриманих кривих виявлення є те, що для деяких значень  $M$  і  $N$  при збільшенні ВСШ значення ймовірності правильного виявлення прямує не до 1, а до деякого меншого значення. Це пояснюється тим, що значення ФР, а отже і порог, не залежить від потужності шуму, а визначається його структурними особливостями.

Аналіз наведених кривих виявлення дає змогу зробити висновок, що при  $M = \text{const}$  і збільшенні  $N$  криві виявлення для однакових значень  $P_F$  будуть зсунутими вліво і рівень, до якого вони наблизяться при зростанні ВСШ також буде збільшуватися. При  $N = \text{const}$  і збільшенні  $M$  криві виявлення для однакових значень ймовірності хибної тривоги будуть зсунутими вправо.

Як бачимо, підвищення ймовірності правильного виявлення можна досягти за рахунок збільшення довжини вікна  $N$ , або зменшення мінімальної кількості інтервалів розбиття вікна сигналу  $M$ . Проте при зменшенні  $M$  вибіркове середнє ФР акустичного сигналу БпЛА наближається до аналогічної величини широкопasmового шуму і, крім того, збільшується СКВ ФР акустичного сигналу БпЛА. Тому для конкретного акустичного сигналу БпЛА існує таке оптимальне мінімальне значення кількості інтервалів розбиття сигналу  $M_{\text{opt}}$ , що при заданих значеннях  $N$ ,  $P_F$  і  $q$  забезпечує найвище значення ймовірності правильного виявлення. В даному випадку методом перебору було встановлено, що  $M_{\text{opt}} \approx 30$ .

Таким чином, для підвищення ймовірності

правильного виявлення акустичного сигналу БпЛА на фоні широкопasmового шуму при заданих ймовірності хибної тривоги і ВСШ необхідно збільшувати довжину вікна аналізу сигналу при оптимальній мінімальній кількості інтервалів його розбиття при обчисленні показника Херста.

### Висновки

Відмінність у значеннях фрактальних розмірностей акустичного сигналу БпЛА, широкопasmового шуму та шуму вітру може бути використана при розробленні алгоритмів виявлення акустичних сигналів БпЛА. Значення ймовірності хибної тривоги при фіксованому значенні порогу не залежить від потужності широкопasmового шуму. Підвищити ймовірність правильного виявлення акустичного сигналу БпЛА на фоні широкопasmового шуму при заданих ймовірності хибної тривоги і відношенні сигнал-шум можливо за рахунок збільшення довжини вікна аналізу сигналу. Запропонований алгоритм може бути використаний у пасивних акустичних системах виявлення БпЛА.

До переваг запропонованого алгоритму можна віднести простоту реалізації та інваріантність значення порогу до потужності широкопasmового шуму. Недоліком підходу є те, що роботу алгоритму в оптимальному режимі можна забезпечити лише для відомого акустичного сигналу БпЛА.

**Перспективи подальших досліджень** у даному напрямку пов'язані з удосконаленням розробленого алгоритму для виявлення акустичних сигналів БпЛА на фоні інших акустичних сигналів.

### Література

1. Артюшин Л. М. Аерокосмічна розвідка в локальних війнах сучасності: досвід проблемні питання і тенденції. Монографія. Київ: НАОУ, 2002. 208 с. 2. Counter-Unmanned Aircraft System Techniques: Techniques Publication ATP 3-01.81. Headquarters Department of the Army Washington, DC, 2017. 48 p. 3. Minas B., Goldman G. H. Acoustic detection and tracking of a class I

UAS with a small tetrahedral microphone array. Adelphi, MD 20783-1138, ARL-TR-7086 Report, 2014. 34 p. 4. Бугайов М. В. Алгоритм виявлення акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. Житомир: ЖДТУ, 2015. № 74 (3). С. 46-53. 5. Bougaiov N., Danik Yu. Hough transform for UAV's acoustic signals detection // The

Advanced Science Journal. Scribers Corporation, United States. Volume 2015 ISSUE 6. P. 65–68. **6. Harvey B., O'Young S.** Acoustic Detection of a Fixed-Wing UAV // MDPi Drones, 2018. 18 p. **7. Bernardini A., Mangiatori F., Pallotti E.** et al. Drone detection by acoustic signature identification // IS&T International Symposium on Electronic Imaging, 2017. P. 60–64. **8. Hauzenberger L., Ohlsson E. H.** Drone Detection using Audio Analysis // Master's Thesis Department of Electrical and Information Technology, Faculty of Engineering, LTH, Lund University, 2015. 66 p. **9. Зінченко С. А.,** Свіжевський В. Ф. Пасивна акустична система виявлення безпілотних літальних апаратів // Інформаційна безпека України : наук.-техн. конф., 12–13 березня 2015 р. : тези доп. Київ : КНУ, 2015. С. 74–75. **10. Гордієнко Ю. О.,** Бугайов М. В., Солонець І. О. та ін. Особливості акустичних сигналів безпілотних літальних апаратів // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХУПС, 2016. № 1(22). – С. 32–35. **11. Kloet N.,** Watkins S., Clothier R. Acoustic signature measurement of small multi-rotor unmanned aircraft systems // International Journal of Micro Air Vehicles. RMIT University, Melbourne, Australia, 2017. Vol. 9(1). P. 3–14. **12. Анищенко В. С.** Сложные колебания в простых системах: Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиотехнических системах. Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 312 с. **13. Ferguson B. G.,** Quinn V. G. Application of the short-time Fourier transform and the Wigner-Ville distribution to the acoustic localization of aircraft // J.

Acoust. Soc. Am, 1994. Vol. 96, № 2. P. 821–827. **14. Даник Ю. Г.,** Бугайов М. В. Частотно-часовий аналіз акустичного випромінювання тактичних безпілотних літальних апаратів // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. Житомир : ЖВІ, 2015. Вип. 12. С. 5–17. **15. Пашенко Р. Э.,** Кортунов В. И., Цюпак Д. О. и др. Распознавание БПЛА мультироторного типа с использованием фазовых портретов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХУПС 2013. № 4(13). С. 68–72. **16. Пашенко Р. Э.,** Фатеев А. С., Цюпак Д. О. и др. Анализ величин фрактальных размерностей фазовых портретов для распознавания БПЛА мультироторного типа // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХУПС 2016. № 1(22). С. 83–87. **17. Степанов Д. В.,** Кузовников А. В., Степанов Д. В. Исследование фрактальных свойств радиосигналов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Новосибирск: ГАУ, 2010. С. 35–39. **18. Федер Е.** Фракталы. пер. с англ. Ю. А. Данилова. Москва : Мир, 1991. 261 с. **19. Акимов П. С.,** Бакут П. А., Богданович В. А. и др. Теория обнаружения сигналов. Москва : Радио и связь, 1984. 440 с. **20. Чумак О. В.** Энтропии и фракталы в анализе данных. Москва : Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. 164 с.

## АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ

*Леонид Михайлович Артюшин (доктор техн. наук, профессор)<sup>1</sup>  
Николай Викторович Бугайёв (канд. техн. наук, научный сотрудник)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев, Украина*  
<sup>2</sup>*Житомирский военный институт имени С. П. Королёва, Житомир, Украина*

*В работе проведен анализ статистических характеристик фрактальной размерности (ФР) акустических сигналов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), широкополосного шума и шума ветра. Установлено, что значение ФР для широкополосного шума подчинены нормальному закону распределения плотности вероятностей. Предложен алгоритм обнаружения акустических сигналов БПЛА на основе анализа ФР с постоянной вероятностью ложной тревоги. Особенностью алгоритма является то, что значение порога не зависит от мощности широкополосного шума. Проведено исследование рабочих характеристик предложенного алгоритма. Установлена зависимость вероятности правильного обнаружения акустического сигнала БПЛА при заданных значениях вероятности ложной тревоги от длины окна анализа сигнала и минимального количества интервалов разбиения данного окна при расчете ФР с использованием показателя Херста. Указаны условия для достижения оптимальных значений показателей качества обнаружения.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, акустический сигнал, показатель Херста, фрактальная размерность, алгоритм обнаружения.

## ALGORITHM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES ACOUSTIC SIGNALS DETECTION BASED ON ANALYSIS OF FRACTAL DIMENSION

*Leonid M. Artushin (Doctor of Technical Science, Professor)<sup>1</sup>  
Mykola V. Buhaiiov (Candidate of Technical Sciences, Researcher)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*State research institute of aviation, Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup>*Zhytomyr military institute named after S. P. Korolov, Zhytomyr, Ukraine*

*In this paper the statistical characteristics of the fractal dimension (FD) of acoustic signals of unmanned aerial vehicles (UAV), broadband noise and wind noise are analyzed. It is established that the values of FD for broadband noise are subordinated to the normal probability density distribution law. An algorithm for detecting of UAV acoustic signals based on the analysis of FD with a constant probability of false alarm is proposed. The*



feature of the algorithm is that the threshold value does not depend on the power of the broadband noise. The research of the operational characteristics of the proposed algorithm is carried out. The dependence of the probability of detection of UAV's acoustic signal with given values of the probability of false alarm, length of the window of the signal analysis and the minimum number of intervals of the partition of the given window when calculating the FD using the Hurst index is established. Specified conditions for achieving the optimal values of the probability of detection. It is shown that increasing the probability of UAV's acoustic signal detecting at the background of broadband noise at given probabilities of false alarm and the signal to noise ratio is possible by increasing the length of the window of the signal analysis. The proposed algorithm can be used in passive acoustic detection systems.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, acoustic signal, Hurst index, fractal dimension, detection algorithm.

## References

- Artiushyn L. M.,** Mosov S. P., Piaskovkij D. V., Tolubko B. V. (2002), Aerospace intelligence in local wars of the present: experience, issues and trends. Monograph. [Aerokosmichna rozvidka v lokal'nykh viynakh suchasnosti: dosvid, problemni pytannya i tendentsiyi. Monohrafiya], NDUU, Kiev, 208 p. **2.** Counter-Unmanned Aircraft System Techniques : Techniques Publication ATP 3-01.81. Headquarters Department of the Army Washington, DC, 2017, 48 p. **3. Minas B.,** Goldman G. H. (2014), Acoustic detection and tracking of a class I UAS with a small tetrahedral microphone array, Adelphi, MD 20783–1138, ARL-TR-7086 Report, 34 p. **4. Buhaiov M. V.** (2015), Algorithm of unmanned aerial vehicles acoustic signals detecting. [Alhorytm vyyavlennya akustychnykh syhnaliv bezpilotnykh lital'nykh aparativ], Visnuk ZDTU, № 74 (3), pp. 46–53. **5. Bougaiov N.,** Danik Yu. (2015), Hough transform for UAV's acoustic signals detection, The Advanced Science Journal. Scribers Corporation, United States. Volume ISSUE 6, pp. 65–68. **6. Harvey B.,** O'Young S. (2018), Acoustic Detection of a Fixed-Wing UAV, MDPI Drones, 18 p. **7. Bernardini A.,** Mangiatordi F., Pallotti E., Capodiferro L. et al. (2017), Drone detection by acoustic signature identification, IS&T International Symposium on Electronic Imaging, P. 60–64. **8. Hauzenberger L.,** Ohlsson E. H. (2015), Drone Detection using Audio Analysis, Master's Thesis Department of Electrical and Information Technology, Faculty of Engineering, LTH, Lund University, 66 p. **9. Zinchenko S. A.,** Svijevskij V. P. (2015), Passive acoustic system for unmanned aerial vehicles detection. [Pasyvna akustychna sistema vyyavlennya bezpilotnykh lital'nykh aparativ], tezy dopovidey naukovo-tekhnichnoi konferentsii Informatsiyna bezpeka Ukrainy, pp. 74–75. **10. Gordienko Y. O.,** Buhaiov M. V., Solonets O. I., Solopij I. A. (2016), Features of acoustic signals of unmanned aerial vehicles. [Osoblyvosti akustychnykh syhnaliv bezpilotnykh lital'nykh aparativ], Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy, No 1 (22), pp. 32–35. **11. Kloet N.,** Watkins S., Clothier R. (2017), Acoustic signature measurement of small multi-rotor unmanned aircraft systems, International Journal of Micro Air Vehicles., RMIT University, Melbourne, Australia, Vol. 9 (1), P. 3–14. **12. Anishchenko V. S.** (1990), complex oscillations in simple systems: mechanisms of formation, structure and properties of dynamic chaos in radiophysical systems. [Slozhnyye kolebaniya v prostykh sistemakh: Mekhanizmy vozniknoveniya, struktura i svoystva dinamicheskogo khaosa v radiofizicheskikh sistemakh], Nauka, Moscow, 312 p. **13. Ferguson B. G.,** Quinn B. G. (1994), Application of the short-time Fourier transform and the Wigner-Ville distribution to the acoustic localization of aircraft, J. Acoust. Soc. Am, Vol. 96, № 2., P. 821–827. **14. Danyk Y. G.,** Buhaiov M. V. (2015), Time-frequency-time analysis of tactical unmanned aerial vehicles acoustic signals. [Chastotno-chasovyy analiz akustychnoho vyprominyuvannya taktychnykh bezpilotnykh lital'nykh aparativ], Problemy stvorennya, vyprobuvannya, zastosuvannya ta ekspluatatsiyi skladnykh informatsiynykh system, No 12, pp. 5–17. **15. Pashchenko R. E.,** Kortunov V. I., Tsiupak D. O., Bardanova O. A. (2013), Recognition of multi-rotor UAV using phase portraits. [Raspoznavaniye BPLA mul'tirotnogo tipa s ispol'zovaniyem fazovykh portretov], Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy, No 4 (13), pp. 68–72. **16. Pashchenko R. E.,** Fatieiev A. S., Tsiupak D. O., Romantsov A. A. (2016), Analysis of fractal dimensions of phase portraits for recognition of multi-rotary UAV. [Analiz velichin fraktal'nykh razmernostey fazovykh portretov dlya raspoznavaniya BPLA mul'tirotnogo tipa], Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy, No 1 (22), pp. 83–87. **17. Stepanov D. V.,** Kyzovnikov A. V., (2010), Investigation of fractal properties of radio signals. [Issledovaniye fraktal'nykh svoystv radiosignalov], Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva, pp. 35–39. **18. Feder E.** (1991), Fractals. [Fraktaly], Mir, Moscow, 261 p. **19. Akimov P. S.,** Bakut P. A., Bogdanovich V. A. (1984), Signal detection theory. [Teoriya obnaruzheniya signalov], Radio i svyaz', Moscow, 440 p. **20. Chumak O. V.** (2011), Entropies and fractals in data analysis. [Entropii i fraktaly v analize dannykh], Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika, Moscow, 164 p.



*Олег Михайлович Воробйов (доктор техн наук, професор)<sup>1</sup>*

*Олександр Михайлович Сотніков (доктор техн наук, професор)<sup>2</sup>*

*Олександр Борисович Танцюра<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*

## МОДЕЛІ ПОТОЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО ФОРМУЮТЬСЯ КАНАЛАМИ КОМБІНОВАНОЇ КОРЕЛЯЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Здійснено уточнення моделей поточних зображень, що формуються окремими каналами комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації в залежності від просторового положення безпілотного літального апарату та його зміни. В моделях враховано вплив тримірної форми складних об'єктів поверхні візування на ефективну антенну температуру радіометричного каналу та на яскравість телевізійного каналу. Це дозволило здійснити уточнення моделей опису радіометричного та телевізійного поточного зображення поверхні візування в залежності від інформативних ознак. Визначено, що при малих висотах візування зміна просторового положення безпілотного літального апарату призводить до суттєвих перепадів радіояскравісної температури в межах одного об'єкту візування, що обумовлює розмиття та появу нових границь розділу на поточному зображенні поверхні візування. Невідповідність поточного зображення еталонному, яка виникає внаслідок появи нових границь розділу при візуванні складних тримірних об'єктів з малих висот та при зміні просторового положення і орієнтації безпілотного літального апарату призводить до формування багатоекстремальної вирішальної функції та зменшенню точності місцевизначення кореляційно-екстремальної системи навігації.

**Ключові слова:** радіояскравісна температура; тримірний об'єкт візування; поточне зображення; просторове положення; комбінована кореляційно-екстремальна система навігації; безпілотний літальний апарат.

### Вступ

Сучасний стан розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дозволяє вирішувати широкий спектр важливих задач, від ретрансляції потоків даних, до розвідки та нанесення високоточних ударів в будь яких умовах оперативного-тактичної обстановки (ОТО). Зважаючи на це, до систем навігації БПЛА висувається ряд вимог, виконання яких необхідне для успішного виконання покладених на них завдань. Основними з таких вимог є:

- висока точність навігації БПЛА в умовах складної ОТО;
- максимально можлива перешкодозахищеність;
- максимально можлива метеонезалежність;
- працездатність в різний час доби та року;
- можливість оперативної зміни траєкторії польоту в реальному вимірі часу;
- мінімальні масо-габаритні характеристики.

Для забезпечення цих вимог інерційні навігаційні системи БПЛА корегуються за допомогою супутникових навігаційних систем (СНС) або кореляційно-екстремальних систем навігації (КЕСН). Використання СНС не забезпечує виконання умов перешкодозахищеності системи, до того ж країни, що не мають власної СНС можуть бути обмежені у застосуванні БПЛА з такою системою в окремих районах [1]. Тому для корекції траєкторії польоту БПЛА все частіше застосовуються комбіновані КЕСН з

різноспектральними каналами отримання інформації про поверхню візування (ПВ), що обумовлено забезпеченням вимог до систем навігації.

У повному обсязі вимогам до систем навігації відповідають комбіновані КЕСН з телевізійним (ТВ) та радіометричним (РМ) каналами отримання інформації.

**Постановка проблеми.** В КЕСН пошук об'єктів прив'язки (ОП) на поточному зображенні (ПЗ) поверхні візування (ПВ) здійснюється шляхом порівняння його фрагментів з еталонним зображенням (ЕЗ). Однак отримання інформації РМ каналом про складні тримірні об'єкти при візуванні з малих висот, навіть при незначних змінах просторового положення БПЛА, призводить до різких перепадів радіояскравісної температури в межах одного об'єкта візування. Це обумовлює появу нових меж розділу між окремими елементами самого об'єкту, зміщення, розмиття або появу нових контурів на ПЗ ПВ. При отриманні інформації про ПВ ТВ каналом, ті ж самі фактори призводять до появи тональної перспективи. В результаті виникає невідповідність між поточним та еталонним зображеннями ПВ, що призводить до формування багатоекстремальної вирішальної функції (ВФ) і, як наслідок, до зменшення точності місцевизначення КЕСН.

Оскільки радіометр має жорстку зв'язку з корпусом БПЛА, на відміну від датчика ТВ каналу

який, як правило, встановлюється на трьохосній стабілізованій платформі, то на формування ПЗ ПВ в РМ каналі суттєво впливають випадкові зміни просторового положення БпЛА, обумовлені поривами вітру та турбулентністю атмосфери. В такому випадку виникає необхідність урахування зміни просторового положення та орієнтації БпЛА і складної тримірної форми об'єктів візування при формуванні ПЗ ПВ в РМ каналі комбінованої КЕСН з метою усунення структурної невідповідності між поточним та еталонним зображеннями ПВ, що дозволить сформувати унімодальну ВФ.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** На теперішній час відомі методи та алгоритми формування унімодальної ВФ в умовах афінних та геометричних спотворень ПЗ ПВ [2 - 4] однак в цих роботах випадок морфологічного спотворення ПЗ ПВ не розглядався. Розроблені методи синтезу ЕЗ для радіометричних КЕСН, однак у відомих роботах [5, 6], не розкриті питання структурної невідповідності поточних зображень еталонним при випадковій зміні просторового положення та орієнтації БпЛА. Відомі моделі, що описують процес формування ПЗ ПВ при застосуванні радіометричних КЕСН на ділянках місцевості зі слабкоконтрастними та малорозмірними об'єктами [7, 8]. У той же час не отримали детального дослідження питання впливу тримірності об'єктів на ПВ, що призводить до виникнення нових контурів на ПЗ та розмитості контурів між об'єктами. Особливо – це стосується випадку коли на ПВ є несиметричні різновисокі об'єкти, тіні від яких будуть суттєво відрізнятися в залежності від кутів орієнтації та просторового положення БпЛА. При цьому ситуація з формуванням ПЗ, близького до еталону, ще більш ускладнюється в умовах прив'язки БпЛА до слабкоконтрастних об'єктів та при наявності перешкод, що призводять до зменшення відношення сигнал/шум на вході датчиків КЕСН. Таким чином для формування унімодальної ВФ в умовах випадкової зміни просторового положення та орієнтації БпЛА, а також при візуванні різновисоких тримірних об'єктів, необхідно враховувати вплив цих факторів на формування ПЗ ПВ.

**Метою статті** є уточнення моделей поточних зображень, що формуються окремими каналами комбінованої кореляційно-екстремальної системи навігації, з урахуванням випадкової зміни просторового положення та орієнтації БпЛА і тримірності об'єктів візування.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Відомо, що показник точності КЕСН БпЛА у спрощеному вигляді визначається за виразом:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{пл_1}^2 + \sigma_{п_k}^2 + \sigma_{сук}^2}, \quad (1)$$

де  $\sigma_{пл_1} = f(\sigma_{ЕЗ}, \sigma_{x_i y_i z_i})$  – СКП локалізації і-го ОП на ПЗ при k-му сеансі прив'язки, яка залежить від

точності виготовлення ЕЗ  $\sigma_{ЕЗ}$  та похибок визначення просторового положення БпЛА  $\sigma_{x_i y_i z_i}$ , що виникають під впливом випадкових факторів;

$\sigma_{п_k}$  – СКП визначення координат після виконання корекції на k-му сеансі прив'язки КЕСН;

$\sigma_{сук}$  – СКП відпрацювання сигналів управління після проведення корекції траєкторії польоту БпЛА.

Уточнення моделі ПЗ, що формується окремими каналами комбінованої КЕСН будемо здійснювати з урахуванням:

- СКП БІНС;

- впливу тримірної форми об'єктів ПВ на результат виміру яскравості ТВ датчиком  $V_y$ , а також радіояскравісної температури радіометром  $\Delta T_{A_{эф}}$ ;

- випадкової зміни просторового положення БпЛА, обумовленої поривами вітру та атмосферною турбулентністю, яку не може миттєво компенсувати БІНС.

Вплив СКП БІНС в моделі врахуємо залежністю тілесного кута діаграми спрямованості антени (ДСА)  $\Omega_A$  від просторового положення БпЛА та його зміни, що визначається кутами  $\gamma', \theta', \psi'$ :

$$\Omega_A = \Omega_A(\gamma', \theta', \psi'), \quad (2)$$

де  $\gamma' = \gamma \pm \Delta\gamma$  – поточне значення кута крену;

$\theta' = \theta \pm \Delta\theta$  – поточне значення кута тангажа;

$\psi' = \psi \pm \Delta\psi$  – поточне значення кута ристання.

Вплив тримірної форми об'єктів ПВ на результат виміру яскравості ТВ датчиком  $V_y$ , а також радіояскравісної температури  $\Delta T_{A_{эф}}$  радіометром обумовлює необхідність уточнення цих параметрів шляхом урахування вкладу в їх інтегральні значення окремих сторін.

Зображення ПВ отримані окремими каналами КЕСН доцільно описувати з використанням єдиного показника якості. Таким показником може бути інформативний параметр, що вимірюється відповідним датчиком комбінованої КЕСН. В нашому випадку інформативними параметрами для ТВ зображення є яскравість та контраст, а для РМ зображень радіотеплова температура та радіотепловий контраст.

Розглянемо окремо для кожного з каналів КЕСН підхід щодо опису зображень ПВ, які формуються датчиками різної фізичної природи.

Зображення ПВ за допомогою ТВ датчика може бути представлене у кольоровому вигляді. Але, обробка таких зображень повинна здійснюватися за окремими кольоровими складовими [9, 10]. Тому для забезпечення єдності

представлення інформації про ПВ елементи ТВ зображення будемо описувати градаціями сірого через параметр яскравості.

Яскравість, що приймається ТВ датчиком КЕСН від об'єкта ПВ розміщеного в точці (i, j) у момент часу t відповідно до [2] представимо у наступному вигляді:

$$B_{\gamma}(i, j, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}) = E(i, j, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}) r_{\gamma}(i, j, \varepsilon, \mu, \bar{\omega}), \quad (3)$$

де  $E(i, j, \varepsilon, \mu, \bar{\omega})$  спектральне поле освітленості, що створюється елементом зображення (i, j) в момент часу t, який характеризується електрофізичними параметрами  $\varepsilon, \mu$  (діелектрична та магнітна проникності);  $r_{\gamma}(i, j, \varepsilon, \mu, \bar{\omega})$  спектральний коефіцієнт яскравості;

$$\bar{\omega} = \left\| \begin{matrix} \varphi & \phi & \omega & \psi \\ E_{\text{пр}} & & & \\ E_{\text{роз}} & & & \end{matrix} \right\| \quad \text{вектор умов}$$

спостереження і освітлення, який визначається наступними параметрами:

$\varphi$  та  $\phi$  кути спостереження елемента ПВ;

$\omega$  та  $\psi$  кути освітлення елемента ПВ;

$E_{\text{пр}}$  та  $E_{\text{роз}}$  випадкові поля освітленості, що створюються прямою і розсіяною радіацією.

Відповідно до обраного інформативного параметру ідеалізована модель ТВ зображення ПВ (без урахування шумів) може бути представлена у вигляді матриці:

$$S_{\text{ТВ}} = \left\| S_{\text{ТВ}_{i,j}} \right\|_{\substack{i=1 \dots M \\ j=1 \dots N}}, \quad (4)$$

де  $S_{\text{ТВ}}(i, j) = f(B_{\gamma})$ .

Відповідно ідеалізовану модель РМ зображення багатопроменевої системи представимо у матричному вигляді [2,3]:

$$S_{\text{РМ}} = \left\| S_{\text{РМ}_{i,j}} \right\|_{\substack{i=1 \dots M \\ j=1 \dots N}}, \quad (5)$$

де  $S_{\text{РМ}}(i, j) = f(T_{A_{\text{эф}}})$ .

Тоді формалізовану модель опису поточних зображень комбінованої КЕСН, що враховує фактори впливу, обумовлені як тримірною формою об'єктів ПВ, зміною просторового положення БПЛА так і похибками БІСН, в загальному вигляді представимо наступним чином. Для зображення, що сформоване РМ каналом:

$$S_{\text{РМ}} = f \left( F_{\text{РМ}} \left\{ F_{\text{СР}} \left\{ \begin{matrix} F_0(T_0 + \delta T; \chi_j(\varepsilon_j, \mu_j, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \\ + \delta \chi_j; T_{\text{атм}} + \delta T_{\text{атм}}) \\ F_{\phi}(T_0 + \delta T; \chi_i(\varepsilon_i, \mu_i, \lambda, \varphi, \phi, D, t) + \\ + \delta \chi_i; T_{\text{атм}} + \delta T_{\text{атм}}) \end{matrix} \right\} \right\} \right), \quad (6)$$

де  $F_{\text{РМ}}, F_{\text{СР}}, F_0, F_{\phi}$  – оператори, що описують радіометр, середовище розповсюдження сигналів, об'єкт прив'язки ПВ та фон;

$T_0 + \delta T$  – термодинамічна температура та її варіації;

$\chi_j + \delta \chi_j, \chi_i + \delta \chi_i$  – випромінювальна здатність об'єкту та фону;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$D$  – форма об'єкту візування;

$T_{\text{атм}} + \delta T_{\text{атм}}$  – радіотеплова температура та її варіації.

Для зображення, що сформоване ТВ каналом:

$$S_{\text{ТВ}} = f \left( F_{\text{ТВ}} \left\{ F_{\text{СР}} \left\{ \begin{matrix} F_0(B_{\gamma_0}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \\ F_{\phi}(B_{\gamma_{\phi}}(\varepsilon_j, \mu_j, \bar{\omega}, t)) \end{matrix} \right\} \right\} \right), \quad (7)$$

де  $B_{\gamma_0}, B_{\gamma_{\phi}}$  – яскравість об'єкту та фону.

Враховуючи, що у виразі (7)  $\bar{\omega} = f(\varphi, \phi)$ , зазначимо, що співвідношення (6) та (7) для опису ПЗ обох каналів, безвідносно до інформативного параметру, в загальному випадку не відрізняються. Ця обставина дозволяє здійснити уточнення опису моделей ПЗ в залежності від просторового положення БПЛА.

Не знижуючи спільності міркувань здійснимо уточнення моделі ПЗ, що формується каналами комбінованої КЕСН на прикладі РМ каналу з інформативним параметром – радіояскравістю температурою, з подальшим узагальненням на оптико-електронний канал.

Побудову моделі ПЗ будемо здійснювати з урахуванням наступних умов:

- 1) БПЛА здійснює політ рівномірно та прямолінійно зі швидкістю V під кутом  $\varphi$  до вертикалі;
- 2) ДСА апроксимується гаусівською поверхнею;
- 3) Формування кадру ПЗ здійснюється багатопроменевою (матричною) системою;
- 4) ПЗ формується відповідно до (6, 7) в кожному каналі під впливом адитивного шуму;
- 5) вплив зміни просторового положення БПЛА на ПЗ здійснюється за кутом рискання  $\psi' = \psi \pm \Delta\psi$ ;
- 6) кути тангажа та крену не змінні.

Припустимо, що БПЛА рухається в площині xz системи координат x,y,z, що пов'язана з ПВ (рис. 1 - а). Положення кожної парціальної ДСА характеризується кутами  $\beta$  і  $\alpha$ . Кути розкриття ДСА на рівні половинної потужності дорівнюється  $\theta_x$  в площині за кутом місця та  $\theta_y$  – в азимутальній площині. Для гаусівської апроксимації ДСА її перетин площиною ху представляє еліпс.

Відповідно до (5) ПЗ формується у вигляді матриці з M рядків та N стовбців. Нахил площини, в якій знаходяться ДСА за осями, заданий

кутом  $\beta_{i,j} \in \overline{1, M}$  відносно вектора швидкості  $V$ , а положення вісі кожної ДСА в рядку характеризується кутом  $\alpha_{ij}$ .

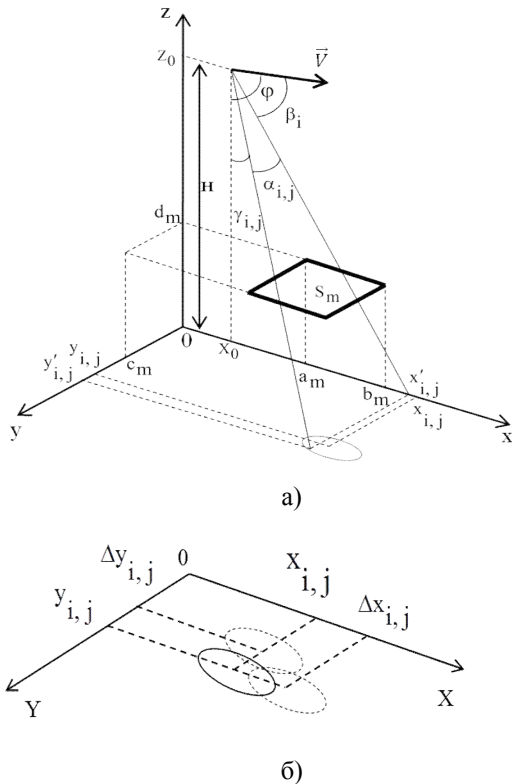


Рисунок 1 - Геометричні умови формування ПЗ КЕСН БПЛА: а) положення ДСА РМ датчика в площині хуз; б) парціальна ДСА при випадковій зміні просторового положення БПЛА

Спотворення кадру ПЗ можуть бути знайдені з рівняння руху центрів та розмірів головних півосей еліпсів половинної потужності для кожного променя ДСА.

Опускаючи проміжні викладки, отримаємо вирази які описують зсув парціальної ДСА радіометра по координатам ху при зміні просторового положення БПЛА:

$$\delta_{x_{ij}} = \frac{\Delta x_{ij}}{\sqrt{2 \ln 2}}; \delta_{y_{ij}} = \frac{\Delta y_{ij}}{\sqrt{2 \ln 2}}, \quad (8)$$

Врахуємо залежність радіояскравісної температури від часу на виході окремого каналу РМ. Для цього припустимо, що на ПЗ мають місце  $K$  зон з радіояскравісними температурами  $T_m$ , що розташовані на рівномірному фоні з температурою  $T_\phi$ . Тоді з урахуванням перехідної характеристики

радіометра виду  $h_{ij}(t) = \frac{1}{\tau_{ij}} \exp(-t/\tau_{ij})$  з постійною

часу  $\tau_{ij}$  та параметрів антенної системи  $G(x, y, x_{ij}(t), y_{ij}(t))$ , антенна температура  $i$ -го каналу радіометра після інтегрування в межах

$t_0 = t - 3\tau$  до  $t$  буде описуватися виразом:

$$T_{A_{ij}}^r(t) = T_\phi + \sum_{m=1}^K (T_m - T_\phi) \Phi\left(\frac{\xi - y_{ij}(t_0)}{\delta y}\right) \Big|_{\xi=c_m} \times \times \left[ \Phi\left(\frac{\xi - x_{ij}(t)}{\delta x}\right) - B_{ij}(t\xi) \right] \Big|_{\xi=a_m}^{b_m}, \quad (9)$$

де

$$B_{ij}(t, \xi) = \exp\left(\frac{r_{ij}^2}{2} + \frac{\xi - x_{ij}(t_0)}{\delta x} r_{ij} - \frac{t - t_0}{\tau_{ij}}\right) \times \times \left[ \Phi\left(\frac{\xi - x_{ij}(\eta)}{\delta x} + r_{ij}\right) \right]_{\eta=t_0}^t;$$

$$r_{ij} = \frac{\delta_{x_{ij}}}{V_{x_{ij}} \tau_{ij}};$$

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\xi} e^{-\theta^2/2} d\theta;$$

$i \in \overline{1, M}; j \in \overline{1, N}$ .

Вираз (9) представляє собою модель опису ПЗ, що формується РМ каналом в залежності від просторового положення БПЛА та його орієнтації без урахування шумів каналу та дає можливість здійснювати розрахунки вихідних сигналів РМ каналу.

Урахування адитивних шумів каналу призводить до моделі ПЗ у вигляді:

$$S_{PM}(i, j) = T_\phi + \sum_{m=1}^K (T_m - T_\phi) \Phi\left(\frac{\xi - y_{ij}(t_0)}{\delta y}\right) \Big|_{\xi=c_m} \times \times \left[ \Phi\left(\frac{\xi - x_{ij}(t)}{\delta x}\right) - B_{ij}(t\xi) \right] \Big|_{\xi=a_m}^{b_m} + n(t). \quad (10)$$

Відповідно вираз, що описує модель ПЗ в ТВ каналі можна представити наступним чином:

$$S_{TB}(i, j) = B_\phi + \sum_{m=1}^K (B_{\alpha_m} - B_{\alpha_\phi}) \Phi\left(\frac{\xi - y_{ij}(t_0)}{\delta y}\right) \Big|_{\xi=c_m} \times \times \left[ \Phi\left(\frac{\xi - x_{ij}(t)}{\delta x}\right) - B_{ij}(t\xi) \right] \Big|_{\xi=a_m}^{b_m} + n(t). \quad (11)$$

Вирази (10, 11) в узагальненому вигляді описують радіояскравісну температуру (яскравість) об'єкту візування без урахування роздільної здатності каналів формування зображень.

Врахуємо, що позірна радіояскравісна температура об'єкта визначається відповідно до виразу [2]:

$$T_{\alpha_{\Pi}} = \chi K(L) T_0 + (1 - \chi) K(L) T_{\alpha_H} + [1 - K(L)] T_{\alpha_{TM}}, \quad (12)$$

де  $K(L) = \exp(-0,23\alpha L)$  – коефіцієнт послаблення випромінювання на шляху розповсюдження довжиною  $L = H \sec \theta$ ;

$\alpha$  – погонний коефіцієнт послаблення [дБ/км];  
 $T_{ян}$  – радіотеплова температура неба.

Вираз (12) описує позірну радіояскравісну температуру для умов, коли тілесний кут об'єкта перевищує ширину головного пелюстка ДСА.

Умови візування, а саме співвідношення висоти  $H$ , з якої здійснюється візування об'єкта до його розмірів  $S_0$ , обумовлюють необхідність уточнення виразу для удаваної радіояскравісної температури об'єкта. Це стосується умов застосування БпЛА, коли висота польоту БпЛА може бути менше 1 км, а розмір об'єкта прив'язки десятки метрів. В цьому випадку, відповідно до результатів робіт [2, 3], позірна радіояскравісна температура  $T_{яп}$  повинна визначатися температурами окремих видимих поверхонь об'єкта візування з урахуванням впливу радіояскравісної температури стовпа атмосфери  $T_{атм}$  відбитої видимими ділянками поверхні візування:

$$T_{яп} = \frac{T_0 \sum \chi_i S_{i(\chi)} + T_{атм} \sum k_j S_{i(k)}}{S_0}, \quad (13)$$

де  $S_0 = \sum_{i=1}^n S_{i(\chi)} + \sum_{j=1}^m S_{j(k)}$  – площа видимих ділянок поверхні об'єкта, що характеризуються випромінювальною та відбивною здатністю;  
 $k_j$  – коефіцієнт відбиття.

Вплив на формування радіояскравісної температури відбивної поверхні об'єкта здійснює його орієнтація відносно небесної півсфери та кута візування РМ каналу КЕСН. Для урахування цих факторів припустимо, що плоский елементарний відбивач знаходиться в центрі просторової прямокутної системи координат  $0, x, y, z$  (рис.2).

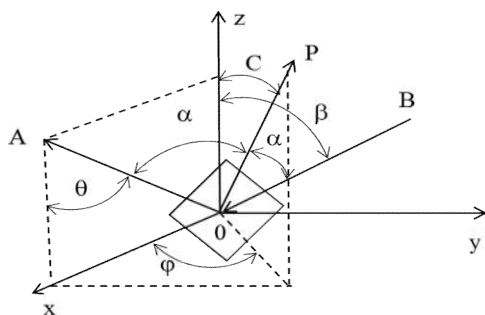


Рисунок 2 - Геометричні умови випромінювання стовпа атмосфери з напрямку  $BO$ , відбитого елементарним відбивачем з нормаллю  $OP$  в напрямку РМ датчика КЕСН

Радіотеплове випромінювання атмосфери, що падає під зенітним кутом  $\beta$  з напрямку  $OB$ , відбивається в напрямку  $OA$  під кутом  $\alpha$ . Зенітний

кут випромінювання атмосфери  $\beta$ , кути падіння і відбиття  $\alpha$ , кут орієнтації елементарного відбивача  $C$  та  $\varphi$ , а також кут візування РМ датчика, відповідно до результатів робіт [2, 3], пов'язані наступними аналітичними виразами:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos \varphi C \sin \theta + \cos \theta \cos C, \\ \cos \beta &= 2 \cos \alpha \cos C - \cos \theta. \end{aligned} \quad (14)$$

Скористаємось результатами досліджень, що наведені в роботі [2] для визначення впливу тримірної форми об'єкта на визначення його радіояскравісної температури. Відомо, що характеристики випромінювання ПВ визначаються метеоумовами, при зміні яких з'являються варіації радіояскравісної температури. Тоді на підставі методу малих збільшень ці варіації можна представити таким чином:

$$\delta T_{я} = \frac{\partial f}{\partial T_0} T_0 + \frac{\partial f}{\partial \chi} \chi + \frac{\partial f}{\partial T_{атм}} T_{атм}, \quad (15)$$

де  $\delta T_0, \delta \chi, \delta T_{атм}$  – варіації, обумовлені зміною метеоумов, відповідно термодинамічної температури, випромінювальної здатності та температури неба.

З урахуванням виразів (13, 14) вираз (15) запишемо:

$$T_{яп} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i (\chi_i + \delta \chi_i) (T_0 + \delta T_0) + k_i (T_{я_{атм}} + \delta T_{я_{атм}})}{S_0}, \quad (16)$$

Для визначення  $T_{яп}$  об'єкта дослідження складної тримірної форми, його розбивають на елементарні частини у вигляді паралелепіпедів і визначають їх вклад в формування радіояскравісної температури окремо, а потім в цілому.

Відповідно до рис. 3 у горизонтально розташованого паралелепіпеда зі сторонами  $a, b, c$ , при орієнтації щодо системи координат  $x, y, z$  відносно спостерігача одночасно буде видно не більше трьох площин паралелепіпеда –  $S_2, S_5, S_6$ .

Видима поверхня його буде мати площу:

$$S_B = \sum_{i=1}^3 S_i \cos \theta_i, \text{ де } S_1 = S_4 = ab, S_2 = S_5 = ac, S_3 = S_6 = bc.$$

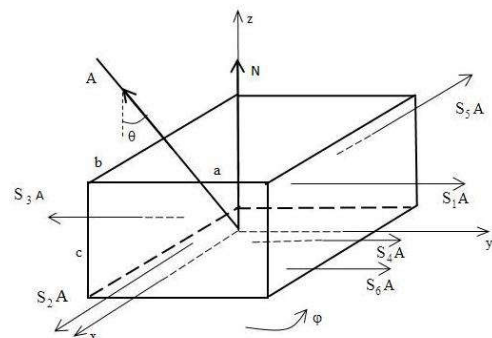


Рисунок 3 – Орієнтація паралелепіпеда відносно спостерігача

Враховуючи вище сказане радіояскравісна температура паралелепіпеда, що визначається співвідношеннями його видимих площин, буде описуватися виразом:

$$T_{Я_n} = \frac{T_{Я_1} S_1 \cos\theta + T_{Я_2} S_2 \cos\varphi \sin\theta + T_{Я_3} S_3 \sin\varphi \cos\theta}{S_1 \cos\theta + S_2 \cos\varphi \sin\theta + S_3 \sin\varphi \cos\theta} \quad (17)$$

Аналогічно буде визначатися радіояскравісна температура об'єкта, який можна представити як сукупність двох і більше паралелепіпедів, сторона кожного з яких попадає в ДСА РМ датчика БПЛА при коефіцієнті заповнення близькому до одиниці.

У відповідності до рис. 4 значення кутів візування визначені через висоту БПЛА  $H_1$ , висоту (ширину) площини  $H_2$  приблизно можна визначити у відповідності до співвідношень:

$$\theta_2 = \text{argctg}\left(\frac{H_1 - H_2}{R' + H_2/2}\right), \theta_3 = \text{argctg}\left(\frac{H_1 - 1,5H_2}{R' + H_2}\right),$$

$$\theta_4 = \text{argctg}\left(\frac{H_1 - 2H_2}{R' + 1,5H_2}\right), \text{ де } R' \approx \left(H_1 - \frac{H_2}{2}\right) \text{tg}(\theta_1).$$

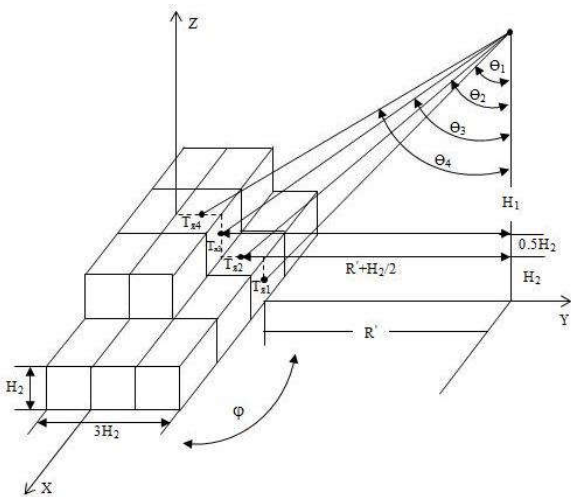


Рисунок 4 - Геометрія візування об'єкта дослідження РМ датчиком БПЛА

Співвідношення представлені виразами (16, 17) дозволяють розрахувати радіояскравісну температуру об'єкта візування на малих висотах в умовах коли елементарні площадки об'єкту візування за своїм розміром перевищують розміри парціальної діаграми спрямованості радіометра.

В якості прикладу визначимо розподіл радіояскравісної температури в межах об'єкту візування при умові, що площа об'єкту візування більша площі парціальної діаграми спрямованості радіометра.

На рис. 5 представлений графік зміни радіояскравісної температури окремих ділянок тримірної об'єкту візування в залежності від кутів візування отриманий шляхом математичного моделювання. Умови моделювання:

1) висота візування – 500м;

- 2) радіояскравісна температура неба – 50К;
- 3) термодинамічна температура – 300К;
- 4) кути розкриття ДСА радіометра –  $30^\circ \times 40^\circ$ ;
- 5) ширина парціальної ДСА –  $1^\circ$ ;
- 6) робоча частота – 3,2 мм;
- 7) кути візування –  $90^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ ;
- 8) розміри пікселя на зображенні – 8x8м.

Параметри об'єкта візування:

- 1) тримірний об'єкт складної форми (відповідно до рис. 1);
- 2) розміри об'єкта візування (в надір) – 10x30 м;
- 3) площа окремих ділянок об'єкта змінюється відповідно до кутів візування;
- 4) випромінювальні здатності елементів об'єкта:
  - горизонтальні площадки (бетон) – 0,76;
  - вертикальні площадки(цегла) – 0,82.

Параметри фону:

- 1) матеріал фону – асфальт;
- 2) випромінювальна здатність фону – 0,85.

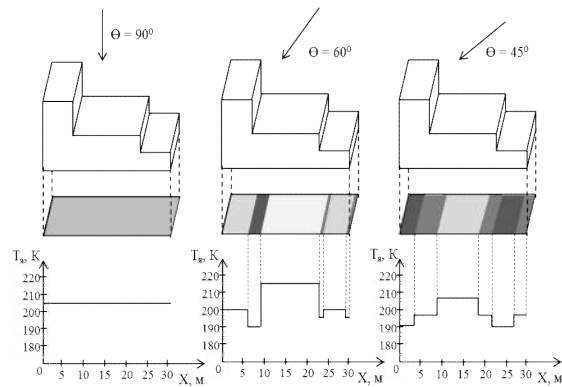


Рисунок 5 - Розподіл радіояскравісної температури по площі об'єкту візування: а) при куті візування  $90^\circ$ ; б) при куті візування  $60^\circ$ ; в) при куті візування  $45^\circ$

Таким чином, результати математичного моделювання підтверджують необхідність урахування тримірної форми об'єктів візування при формуванні зображень в РМ каналі КЕСН, оскільки зміна кутів візування призводить до перепадів радіояскравісної температури і, як наслідок, до появи нових границь розділу в межах одного об'єкту візування.

Відповідно до цього, перепад радіояскравісної температури буде призводити до зміни структури поточного зображення в залежності від кута візування, що обумовлює необхідність пошуку нових підходів до формування поточних зображень за допомогою додаткових інваріантних ознак.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, здійснено уточнення моделі ПЗ, що формується окремими каналами за інформативними ознаками в залежності від просторового положення БПЛА та його зміни.

Враховано вплив тримірної форми об'єктів



ПВ на ефективну антенну температуру РМ каналу, що дозволило здійснити уточнення моделі опису РМ та ТВ ПЗ в залежності від інформативних ознак.

Визначено, що потребують розробки методи та алгоритми порівняння ЕЗ та ПЗ, які б вирішували завдання формування унімодальної ВФ в умовах спотворень ПЗ, обумовлених впливом тримірної форми об'єктів візування, просторового положення БПЛА та зміни його орієнтації.

### Література

1. Савенков А. И. Разработка высокоточных всепогодных систем наведения малоразмерных средств поражения объектов ВВТ. Оборонная техника. 1990. № 9. С. 18–19. 2. Антюфеев В. И. Матричные радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов : монография / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк [и др.]. — Харьков : ХНУ им. В. Н. Каразина, 2014. — 372 с. 3. Антюфеев В. И. Радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк, В. А. Краюшкин. — Харьков : ХНУ им. В. Н. Каразина, 2008. — 356 с. 4. Пат. 122637, Україна, Спосіб формування вирішальної функції кореляційно-екстремальних систем навігації за критерієм максимуму узагальненого коефіцієнта взаємної кореляції / О. М. Сотніков, В. А. Таршин, Р. Г. Сидоренко, О. Б. Танцюра, Г. В. Мегельбей, В. І. Грідін, А. І. Резніченко, Н. С. Єрьоміна № 122637, опубл. 25.01.2018. 5. Таршин В. А. Принципы формирования сложных эталонных изображений для высокоточных корреляционно-экстремальных систем навигации. / В. А. Таршин, А. М. Сотников,

Встановлено, що потребують подальшого розвитку методи формування ЕЗ для застосування в комбінованих КЕСН, які повинні враховувати як особливості побудови комбінованої КЕСН, так і порядок формування ВФ.

Результати розробки моделі опису ПЗ ПВ комбінованої КЕСН визначають напрямки подальших досліджень в області формування ЕЗ та ВФ КЕСН основою яких є представлена модель ПЗ комбінованих КЕСН.

Р. Г. Сидоренко // Системи обробки інформації. — 2014. — № 6. — С. 86–89. 6. Сидоренко Р. Г. Метод підвищення завадостійкості радіометричних систем землеогляду на основі придушення зосереджених завад у радіометрі при підвищенні чутливості за рахунок накопичення та декореляції шумів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.12.17 / Р. Г. Сидоренко. — Х., 2007. — 21 с. 7. Баклицкий В. К. Корреляционно-экстремальные методы навигации и наведения / В. К. Баклицкий. — Тверь : Книжный клуб, 2009. — 360 с. 8. Щербинин В. В. Построение инвариантных корреляционно-экстремальных систем навигации и наведения летательных аппаратов / В. В. Щербинин. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 230 с. 9. Потапов А. А. Новейшие методы обработки изображений : монография / А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитович [и др.]. — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 400 с. 10. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. — М. : Техносфера, 2006. — 616 с.

### МОДЕЛИ ТЕКУЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ЧТО ФОРМИРУЮТСЯ КНАЛАМИ КОМБИНИРОВАННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Воробьев Олег Михайлович (доктор техн наук, профессор)<sup>1</sup>  
Сотников Александр Михайлович (доктор техн наук, профессор)<sup>2</sup>  
Танцюра Александр Борисович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина

Осуществлено уточнение модели текущих изображений, что формируются отдельными каналами комбинированной корреляционно-экстремальной системы навигации в зависимости от пространственного положения беспилотного летательного аппарата и его изменений. В модели учтено влияние трехмерной формы сложных объектов поверхности визирования на эффективную антенную температуру радиометрического канала и на яркость телевизионного канала. Это позволило совершить уточнение модели описания радиометрического и телевизионного текущего изображения поверхности визирования в зависимости от информативных признаков. Определено, что при малых высотах визирования изменение пространственного положения беспилотного летательного аппарата приводит к существенным перепадам радиояркостной температуры в пределах одного объекта визирования, что обуславливает размытие и появление новых границ раздела на текущем изображении поверхности визирования. Несоответствие текущего изображения эталонному, которое возникает вследствие появления новых границ раздела при визировании сложных трехмерных объектов с малых высот и при изменении пространственного положения и ориентации беспилотного летательного аппарата, приводит к формированию многоэкстремальной решающей функции и уменьшению точности местоопределения корреляционно-экстремальной системы навигации.

**Ключевые слова:** радиояркостная температура; трехмерный объект визирования; текущее изображение; пространственное положение; комбинированная корреляционно-экстремальная система

**MODELS OF CURRENT IMAGES THAT ARE FORMED BY THE COMBINED CORRELATION-EXTREMAL NAVIGATION SYSTEM OF A NON-FLAMMABLE AIRCRAFT**

*Oleg M. Vorobiov (Doctor of Technical Sciences, professor)<sup>1</sup>*  
*Alexander M. Sotnicov (Doctor of Technical Sciences, professor)<sup>2</sup>*  
*Alexander B. Tansiura<sup>2</sup>*

*National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernykhovski, Kyiv, Ukraine<sup>1</sup>*  
*Kharkiv National University named after Ivan Kozhedub Air Force, Kharkiv, Ukraine<sup>2</sup>*

A refinement of the current image model has been accomplished, which are formed by separate channels of the combined correlation-extreme navigation system depending on the spatial position of the unmanned aerial vehicle and its changes. The model takes into account the influence of the three-dimensional shape of complex objects of the sighting surface on the effective antenna temperature of the radiometric channel, which made it possible to refine the moles of the description of the radiometric and television current image of the sighting surface, depending on the informative features. It is determined that at small viewing altitudes the change in the spatial position of the unmanned aerial vehicle leads to significant differences in the radio brightness temperature within a single sighting object, which causes the blurring and appearance of new interfaces on the current image of the viewing surface. It is established that the discrepancy between the current image and the reference image, which arises from the appearance of new interfaces at the sight of complex three-dimensional objects from low altitudes and with a change in the spatial position and orientation of the unmanned aerial vehicle, leads to the formation of a multi-extremal decision function and a decrease in the accuracy of the location of the correlation-extreme navigation system.

**Key words:** radio brightness temperature; 3D object of sight; current image; spatial position; combined correlation-extreme navigation system; unmanned aerial vehicle.

**References**

- 1. Savenkov A.I.** (1990), Development of high-precision all-weather guidance systems for small-sized weapons of destruction of weapons and military equipment. [*Razrabotka vysokotochnykh vsepogodnykh sistem navedeniya malorazmernykh sredstv porazheniya ob'yektov VVT*], Defense technology. № 9. pp. 18-19. **2. Antyufeev V.I.** (2014) Matrix radiometric correlation-extreme navigation systems for aircraft: monograph [*Matrichnyye radiometricheskiye korrelyatsionno-ekstremal'nyye sistemy navigatsii letatel'nykh apparatov : monografiya*], Kharkov: KhNU V.N. Karazin, 372 p. **3. Antyufeev V.I.** (2008) Radiometric correlation-extreme navigation systems of aircrafts [*Radiometricheskiye korrelyatsionno-ekstremal'nyye sistemy navigatsii letatel'nykh apparatov*], Kharkov: KhNU V.N. Karazin, 356 p. **4. Sotnikov A.M.** (2018) A method of forming the decisive function of correlation-extreme navigation systems according to the criterion of the maximum of the generalized coefficient of mutual correlation [*Sposib formuvannya vyrishal noyi funktsiyi korelyatsiyno-ekstremal'nykh system navihatsiyi za kryteriyem maksimumu uzahal nenoho koefitsiyenta vzayemnoyi korelyatsiyi*] Pat. 122637, Ukraine. **5. Tarshin V.A.** (2014) Principles of formation of complex reference images for high-precision correlation-extreme navigation systems [*Pryntsypy formyvannya slozhnykh etalonnykh yzobrazheny dlya vysokotochnykh korrelyatsionno-ekstremal'nykh system navyhatsyy*], Systems of information processing. № 6, pp. 86-89. **6. Sidorenko R.G.** (2007) Method of increasing the noise immunity of radiometric systems of land surveying on the basis of suppression of concentrated disturbances in a radiometer with increasing sensitivity due to accumulation and decoloration of noise [*Metod pidvyshchennya zavadostyikosti radiometrychnykh system zemleohlyadu na osnovi prydushennya zoseredzhenykh zavad u radiometri pry pidvyshchenni chutlyvosti za rakhunok nakopychennya ta dekoloryatsiyi shumiv*], author's abstract. dis. candidate tech sciences, Kharkiv, 21 p. **7. Baklitsky V.K.** (2009) Correlation-extremal methods of navigation and guidance [*Korrelyatsionno-ekstremal'nyye metody navigatsii i navedeniya*], Tver: Book Club, 360 p. **8. Shcherbinin V.V.** (2011) Construction of invariant correlation-extremal systems of navigation and guidance of aircraft [*Postroyeniye invariantnykh korrelyatsionno-ekstremal'nykh sistem navigatsii i navedeniya letatel'nykh apparatov*], Moscow.: MGTU them. N. E. Baumana, 230 p. **9. Potapov A.A.** (2008) Newest Methods for Image Processing [*Noveyshiye metody obrabotki izobrazheniy*], Moscow: FIZMATLIT, 400 p. **10. Gonzalez R.** (2006) Digital Image Processing in the MATLAB [*Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy v srede MATLAB*], Moscow: Technosphere, 616 p.



Юрій Григорович Даник (доктор техн. наук, професор)<sup>1</sup>

Ігор Іванович Балицький (канд. техн. наук, доцент)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОВІТРЯНОГО МОНІТОРІНГУ МІСЦЕВОСТІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

З метою підвищення ефективності моніторингу (зондування) місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів запропонована методика визначення раціональних траєкторій їх польоту при виконанні задач із спостереження за ділянками місцевості, об'єктами, тощо та їх оперативного корегування. Для вирішення цього питання розроблена та розглянута, на прикладі вирішення задач по охороні державного кордону, модель спостереження за ділянкою місцевості на основі якої запропонований показник ефективності здійснення спостереження з безпілотного літального апарату при його знаходженні в різних точках повітряного простору. Запропонована методика розрахунку введеного показника ефективності моніторингу.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, ефективність моніторингу, прогнозування, траєкторія, спостереження, місцевість, методика.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Оскільки безпілотні літальні апарати (БПЛА), в більшості, використовуються для ведення спостереження (розвідки), а в Державній прикордонній службі України (ДПСУ) для виконання завдань повітряного моніторингу державного кордону (ПМДК) [1], вибір раціональних траєкторій польоту БПЛА має здійснюватись виходячи з ефективності результатів спостереження за визначеною для контролю ділянкою місцевості. При цьому необхідно враховувати цілий ряд факторів, які включають: потребу уникнення зіткнення зі статичними та динамічними (рухомими) об'єктами, перешкоджаючий для спостереження вплив рельєфу місцевості, залежність ефективності результатів спостереження від характеристик цільового навантаження, а при застосуванні БПЛА для ПМДК – недопущення його польоту над суміжною територією.

З точки зору польоту по різних траєкторіях ефективність результатів спостереження визначених ділянок буде також різною. Тому необхідно визначити такі траєкторії польоту БПЛА (та їх корекції в процесі виконання завдань, у разі необхідності), які забезпечують максимальну ефективність результатів спостереження.

При визначенні оптимального для забезпечення заданої якості результатів спостереження діапазону висот, враховується залежність від висоти польоту розмірів смуги розвідки та лінійної роздільної здатності. Окрім того, враховується, що при польоті на невеликій висоті значний перешкоджаючий вплив на спостереження матимуть нерівності рельєфу. За таких умов,

також, необхідне уникнення значної кількості статичних перешкод (башт, високих будівель, тощо), а також різних рухомих повітряних перешкод.

Тому виникає необхідність в такому збільшенні висоти польоту при якій площа огляду зростатиме, а роздільна здатність (деталізація) зменшуватиметься не нижче рівня, за якого отримані результати спостережень забезпечують вирішення задачі з прийнятною якістю. Тобто, роздільна здатність буде достатньою, а ефективність спостереження (за рахунок охоплення більших площ і меншому перешкоджаючому впливу рельєфу) зростатиме. Однак при досягненні певної висоти, роздільна здатність зменшиться нижче порогу ефективного розпізнавання цілей (об'єктів), що негативно впливатиме на ефективність моніторингу. Виходячи з цього, існує певний діапазон висот польоту БПЛА в межах якого забезпечуватиметься ефективне спостереження за визначеною ділянкою місцевості.

Якщо розглядати ефективну траєкторію в горизонтальній площині, можливо припустити, що вона пролягатиме, наприклад, по середині прикордонної смуги в межах якої потрібно забезпечити спостереження. Однак вплив рельєфу та форми лінії державного кордону може привести до певного викривлення цієї лінії. Для точного визначення траєкторії для ефективного моніторингу визначеної місцевості необхідно оцінити його ефективність для кожної точки досліджуваного повітряного простору (з відповідним кроком). Одним з важливих завдань в цьому контексті і є визначення траєкторій польоту БПЛА, які є раціональними з точки зору виявлення потенційних цілей, з врахуванням тактико-

технічних характеристик (ТТХ) самих БПЛА і особливостей задач, які ними вирішуються.

Отримані з використанням такого підходу результати забезпечують вибір траєкторій польоту БПЛА найбільш прийнятних з точки зору збільшення ймовірності виявлення цілей за умови, що інші показники знаходяться в допустимих межах. Методика та отримані результати моделювання польоту БПЛА з різними ТТХ дозволяють вибрати для виконання завдань ті з них, що забезпечують максимальну ефективність спостереження за умови задоволення інших вимог.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Оцінці ефективності аеророзвідки з використанням для спостереження різного обладнання присвячена значна кількість досліджень. Оскільки останнім часом для отримання зображень значного поширення отримало цифрове обладнання, у працях [2–5] значна увага приділена вивченню впливу роздільної здатності цифрових камер на ефективність виявлення і розпізнавання цілей. При цьому здійснюється оцінка ефективності спостереження по всій площі зображення. Однак використання БПЛА в задачах охорони кордону вимагає особливої постановки задачі оцінки ефективності аеророзвідки. Зокрема, для охорони кордону необхідним є виявлення порушників в межах смуги прикриття, яка має складну форму.

Для встановлення залежності ймовірності виявлення цілі засобом спостереження від відстані до неї в певних умовах спостереження на основі експериментальних досліджень з встановленням статистичних характеристик відомим є застосування методики [5]. Проте, при застосуванні БПЛА необхідно встановити залежність між кількістю пікселів на які відбувається відображення цілі на матриці камери, яка є різною для різних частин загального зображення.

Дослідження ефективності застосування різних засобів спостереження прикордонного відомства проводились у роботах [6–9]. З цієї метою у цих працях використаний принцип оцінки частки площі смуги перекриття складної форми на якій забезпечене ефективне використання систем спостереження. При цьому враховувався загороджуючий вплив рельєфу місцевості. Однак при проведенні такої оцінки ймовірність виявлення цілей в певних умовах спостереження визначалась лише від відстані до неї. При використанні БПЛА необхідно врахувати той факт, що при віддаленні від центру цифрового зображення відстань до об'єктів змінюється. Потребує також оцінки залежності кількості пікселів об'єкту на зображенні камери від його положення та точки знаходження БПЛА з подальшим визначенням ймовірності виявлення цієї цілі в певних умовах спостереження. Також у працях [5–9] не врахований перешкоджаючий для спостереження вплив рослинності в різні пори року. Наявність інформації про рослинний покрив місцевості у геоінформаційній системі ДПСУ робить можливим таке урахування.

**Мета статті** – розробка методики оцінки

ефективності повітряного моніторингу (зондування) місцевості із застосуванням безпілотних літальних апаратів в залежності від особливостей місці і місцевості де вона виконується, умов в яких здійснюється її виконання та ТТХ БПЛА.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з важливих передумов забезпечення якісної охорони кордону є ефективна побудова і функціонування систем спостереження з метою виявлення порушень законодавства з прикордонних питань. З цієї метою доцільно поставити питання визначення раціонального маршруту польоту БПЛА для здійснення ПМДК. Слід враховувати, що в залежності від маршруту польоту БПЛА буде забезпечуватись різна ефективність спостереження, яка в загальному випадку, буде залежати від значної кількості факторів. Окрім цього, на політ БПЛА накладатиметься комплекс обмежень загального характеру (без урахування певних льотних особливостей БПЛА обумовлених їх конструктивними характеристиками), які, зокрема, визначатимуться безпековим середовищем. Також, на ефективність ПМДК суттєво впливатиме висота польоту БПЛА. Це обумовлює необхідність розгляду задачі у тривимірному просторі.

Отже, задачу визначення раціональної траєкторії польоту БПЛА можна визначити (рис. 1), як пошук множини точок  $M$  у тривимірному просторі, які поєднують початкову точку маршруту  $A$  з кінцевою  $B$ . При цьому має забезпечуватись умова:

$$\forall (x_m, y_m) \in M, (x_m, y_m) \notin Z.$$

Тобто будь-яка точка маршруту не має належати до заборонених областей. При цьому, множина  $M$  має бути обрана таким чином, щоб максимізувати ефективність спостереження за визначеною смугою контролю.

Множина  $Z$  має формуватись виходячи з питань забезпечення безпекового середовища при польоті БПЛА та з урахуванням обмежень щодо виконання задач з охорони кордону.

Важливим аспектом знаходження раціонального маршруту є оцінка ефективності спостереження при польоті БПЛА. При проведенні такої оцінки слід врахувати комплекс факторів, що впливають на цю ефективність та розробити відповідну методику.

Вирішення визначеної вище задачі потребує також розвитку науково-методичного апарату пошуку найкоротших шляхів у графах з урахуванням додаткових факторів (заборони окремих вершин, урахування пріоритетності вершин, тощо). Існуючі методи орієнтовані на пошук шляхів у звичайних графах. Аналіз планарних графів (з ребрами що поєднують вершини у двовимірному просторі) є більш складним завданням, для вирішення якого розроблена низка методів, які постійно вдосконалюються. Однак вирішення описаного вище завдання потребує побудови маршруту у просторі, що визначає необхідність суттєвого розвитку відповідного науково-методичного апарату (розширення планарного графу до трьохвимірного і формуванні методу пошуку найкоротшого маршруту у ньому).

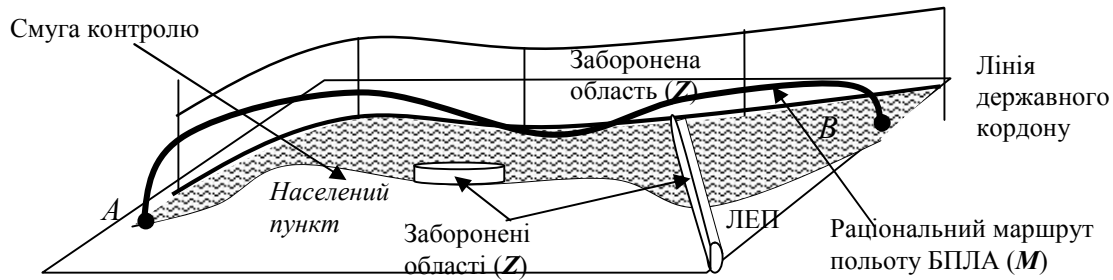


Рис. 1. Схематичний опис задачі визначення раціонального маршруту БПЛА

Як було показано, в задачі визначення раціонального маршруту польоту БПЛА надзвичайно важливим є формування множини заборонених областей  $Z$ . Точки, які належать цій множині не можна використовувати в траєкторії польоту БПЛА. При цьому необхідно врахувати дві сукупності факторів: особливості виконання відповідних задач спостереження (для ДПСУ ПМДК) і питання безпеки польоту БПЛА.

Прокладання раціонального маршруту польоту БПЛА для ПМДК робить важливим урахування проходження лінії державного кордону та виключення з простору, в межах якого прокладається маршрут польоту, територій які належать до суміжних держав. Для визначення цих територій можливо використати інформацію геоінформаційних систем (ГІС) (наприклад, ArcGIS, «Гарт-17» ДПСУ). Однак, при такому визначенні складових множини  $Z$  потрібно врахувати обмежені можливості БПЛА щодо маневрування і можливість впливу зовнішніх факторів на траєкторію руху БПЛА. З цією метою, в залежності від типу БПЛА, пропонується встановити граничну відстань  $R_{gr}$  від лінії державного кордону у бік території України, за межами якої заборонено прокладання маршруту польоту конкретного типу БПЛА. Для остаточного визначення відповідної складової множини  $Z$ , яку позначимо  $Z_1$ , пропонується використати базову функцію геообробки ГІС щодо розширення географічно прив'язаних множин (які відповідають території суміжних держав) на відстань  $R_{gr}$  (рис. 2).

Слід відмітити, що при урахуванні неможливості польоту БПЛА за межами території України, у тривимірному просторі до множини  $Z_1$  включаються відповідні точки з усіма можливими висотами.

Іншими факторами, які потребують урахування при формуванні множини заборонених областей  $Z$  є питання безпеки польоту. З цією метою необхідне розширення даної множини за рахунок включення точок простору, проліт через які є небезпечним. В якості таких небезпечних областей пропонується з використанням ГІС визначити проходження ліній електропередачі, місця розташування веж різного призначення, ділянки які відповідають населеним пунктам та інші. Для кожної з цих областей планується визначити максимальну висоту перешкод (над рельєфом місцевості). Всі точки простору, які відповідають описаним вище перешкодам і висоти яких не перевищують відповідні висоти перешкод, пропонується включити до множини  $Z$ . Цю складову множини  $Z$  позначимо  $Z_2$ .

$$Z_2 = \bigcup_k (x_k, y_k) \in P_k \cap z_k < h_k, \quad (1)$$

де:  $k$  – індекс перешкоди;  $P_k$  – множина плоских координат точок, що відповідають  $k$ -тій перешкоді;  $h_k$  – максимальна висота в межах  $k$ -тої перешкоди.

Іншим фактором, який потребує урахування при визначенні небезпечного для польотів простору є планові польоти інших засобів малої авіації. Оскільки ці польоти, звичайно, здійснюються за визначеним розкладом, їх урахування доцільно проводити додатково за необхідності, коли час патрулювання БПЛА збігається з часом польотів цих засобів. При цьому навколо планової траєкторії польоту кожного засобу малої авіації пропонується створити заборонену для польотів зону з радіусом  $R_{zab}$ , яка матиме циліндричну форму. Сукупність цих заборонених зон утворюватиме множину  $Z_3$ .

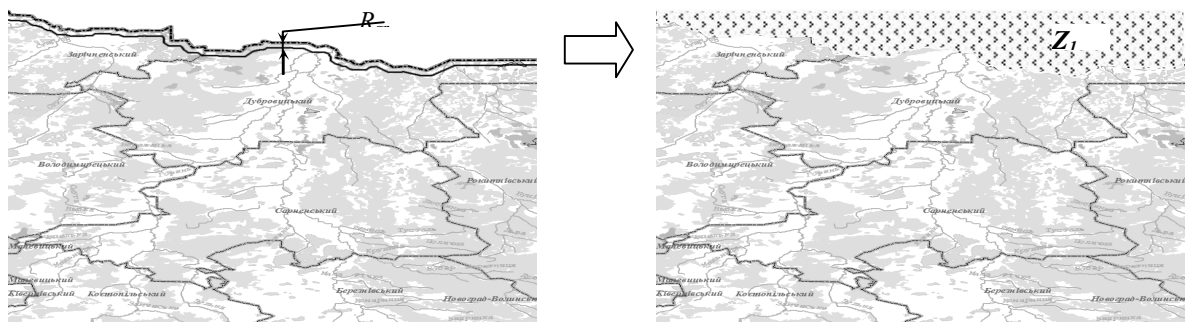


Рис. 2. Використання геообробки при визначенні множини  $Z$

Остаточню, множину  $Z$  пропонується визначити, як об'єднання складових небезпечного для польотів простору:

$$Z = Z_1 \cup Z_2 \cup Z_3. \quad (2)$$

Відповідно до загальної постановки задачі визначення маршруту польоту БПЛА, при його побудові необхідно уникнути точок, які належать до множини  $Z$ .

При побудові раціональних маршрутів польоту БПЛА необхідне визначення заборонених для польоту областей (множини  $Z$ ). Однак ще більш важливим є завдання знаходження для кожної елементарної ділянки (сукупності точок простору) значення показника ефективності, який буде визначати траєкторію польоту БПЛА. В багатьох методах пошуку оптимальних маршрутів у планарних графах використовуються показники специфічні для конкретних оптимізаційних задач.

Значення показника у кожній вершині графу визначає доцільність її використання у маршруті. При здійсненні спостереження БПЛА шуканий показник має описувати його ефективність.

Схема оцінки ефективності спостереження з використанням БПЛА який знаходиться в певній точці простору представлена на рис. 3. До лінії державного кордону дотична смуга, в межах якої необхідно здійснювати спостереження. Ця смуга (рис. 3) представлена множиною точок  $S_0$ . БПЛА знаходиться в точці  $p_0$  з координатами  $(x_0, y_0, h_0)$ . Припустимо, що ведеться планова розвідка (камера БПЛА спрямована вертикально вниз). За таких умов цією камерою забезпечується огляд області в межах можливої видимості, обумовленої оптичними характеристиками, лінійними розмірами сенсора і висотою  $h_0$ .

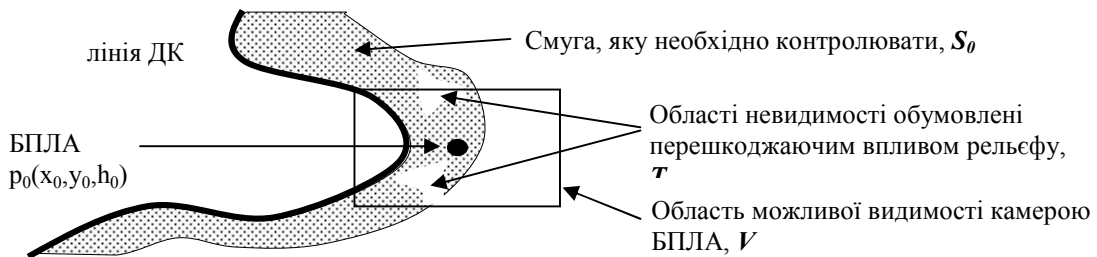


Рис. 3. Схема оцінки ефективності спостереження з використанням БПЛА

Таким чином частка смуги  $S_0$  яка за певних умов може бути доступною для спостереження обмежується множиною  $S_0 \cap V$ . Для об'єктивної оцінки ефективності спостереження необхідно врахувати перешкоджаючий вплив рельєфу місцевості (рис. 4).

Нерівності рельєфу обумовлюють виникнення області недоступної для спостереження з БПЛА ( $T$ ). Звичайно ця область залежить від рельєфу місцевості та поточного положення БПЛА ( $p_0(x_0, y_0, h_0)$ ) і може бути визначена з використанням методів геооброки даних в ГІС.

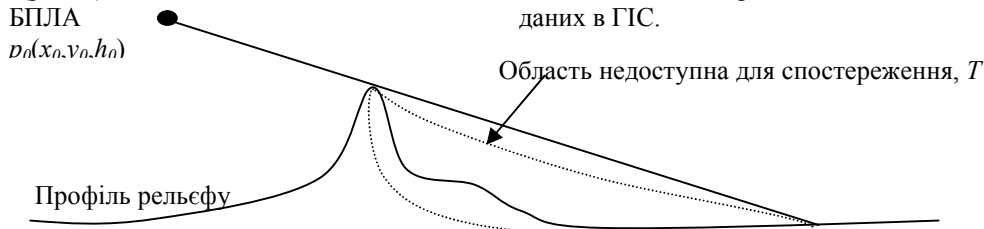


Рис. 4. Перешкоджаючий вплив рельєфу

Отже, з урахуванням вищевикладеного, область спостереження додатково звужується і обмежується множиною  $M = S_0 \cap V \cap \bar{T}$ .

(рис. 3), щільність заповнення пікселями буде максимальною для точки з координатами  $(x_0, y_0)$ . По мірі віддалення від цієї точки, в залежності від Евклідової відстані  $\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$ , висот  $h, h_0$ , фокусної відстані об'єктива камери та параметрів сенсора камери ця щільність, а відповідно і ймовірність виявлення буде зменшуватись. Позначимо цю ймовірність  $p(x, y)$ .

Однак ефективність виявлення об'єктів, яку можливо описати відповідною ймовірністю в межах цієї множини не буде сталою. В залежності від координат точки  $(x, y)$  в межах множини  $M$ , ймовірність виявлення об'єкту пошуку в цій точці буде залежати від його розмірів та щільності його представлення точками растру. Якщо об'єкт пошуку (наприклад людина) буде на зображенні описуватись 1 пікселем, його розпізнати буде неможливо і відповідна ймовірність дорівнюватиме 0. Зі збільшенням кількості пікселів при відображенні об'єкту на поверхні матриці приймача сенсора ймовірність зростатиме і при досягненні певного граничного числа наблизиться до 1. За даної постановки завдання

З урахуванням вищевикладеного, остаточний показник ефективності спостереження з використанням БПЛА можна сформулювати, як

$$E_s(x_0, y_0, h_0) = \frac{\sum_{(x,y) \in M} p(x, y)}{|S_0|}, \quad (3)$$

де:  $M = S_0 \cap V \cap \bar{T}$ ,  $|S_0|$  – потужність множини  $S_0$ .

Фізичний зміст даного показника полягає у визначенні доступної для спостереження частки площі смуги, яку потрібно контролювати. Відповідно до такого визначення, показник  $E_s$  є нормованим і знаходиться в межах  $[0,1]$ . Нульове значення показника відповідатиме відсутності спостереження за потрібною ділянкою місцевості. Наближення показника до 1 означає максимально ефективно спостереження з виявленням об'єктів в межах заданої ділянки. Звичайно, реальні значення показника ефективності  $E_s$  визначатимуться: складністю рельєфу місцевості, положенням БПЛА в просторі, характеристиками камери спостереження, встановленої на БПЛА та іншими умовами в яких здійснюється спостереження. Практичний розрахунок даного показника потребуватиме: геообробки даних для отримання множини  $T$  з метою визначення остаточної множини видимості  $M$ . Окрім цього, для розрахунку даного показника в заданих умовах спостереження необхідно визначити функцію  $p(x,y)$ .

Визначення  $p(x,y)$  є складним завданням, в ході вирішення якого потрібно врахувати наступні основні фактори: тип цілі, умови в яких ведеться спостереження (погодні умови, стан атмосфери), освітлення цілі (зокрема пора доби), кількість пікселів поверхні матриці приймача сенсору на яких відображається ціль ( $nc$ ) та додаткові загороджуючі властивості покриття поверхні (ліс, кущі, населені пункти, тощо). Перешкоджаючий вплив рельєфу врахований при визначенні множини  $M$ , в межах якої здійснюється розрахунок загального показника ефективності.

Однак вплив значної кількості інших факторів на процес виявлення приводить до значної невизначеності при розрахунку  $p(x,y)$ . Тому, для вирішення завдання визначення  $p(x,y)$ , пропонується використати підхід, аналогічний тому, який в дослідженні [5] застосовується для отримання залежностей ймовірності виявлення цілей засобами спостереження від відстані до неї в певних умовах ведення спостереження. Аналогічний підхід можливо використати для визначення  $p(x,y)$  на основі кількості пікселів  $nc$  на матриці, на які проєцюється ціль. В теорії ймовірностей для опису випадкових величин використовується закон розподілу, який представляється, зокрема, функцією густини розподілу. В багатьох випадках, за однорідних типових умов досліджуваного процесу, застосовується нормальний закон розподілу. В цьому випадку функція густини розподілу задається двома параметрами: математичним сподіванням  $m_{nc}$  і середнім квадратичним відхиленням  $\sigma_{nc}$ . Математичне сподівання визначається впливом контрольованих факторів, середнє квадратичне відхилення – впливом неконтрольованих факторів.

Для розрахунку параметрів розподілу  $m_{nc}$  і  $\sigma_{nc}$  можливо для кожного варіанту умов, в яких здійснюється спостереження, провести однорідні дослідження факту виявлення цілі в залежності від

відображення її розміру на матрицю приймача в пікселях. При цьому розмір проєкції цілі на поверхні матриці приймача необхідно поступово збільшувати до забезпечення її виявлення з заданими показниками ймовірності правильного виявлення. Розмір проєкції цілі при її виявленні в  $i$ -тому кадрі позначимо  $nc_i$ . Такі дослідження слід провести для всіх основних типів цілей. На основі отриманих статистичних результатів, з використанням відомих з математичної статистики та теорії ймовірностей виразів можливо обчислити параметри нормального розподілу наступним чином:

$$m_{nc} = \frac{\sum_{i=1}^n nc_i}{n}, \quad (4)$$

$$\sigma_{nc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (nc_i - m_{nc})^2}{n}}, \quad (5)$$

де:  $n$  – кількість випробувань;  
 $nc$  – розмір проєкції цілі в пікселях.

Звичайно, з метою забезпечення достатньої точності кількість статистичних даних  $n$  має бути достатньо великою (декілька сотень випробувань).

Відповідно до відомих з теорії ймовірності положень [10], для випадкового процесу в однорідних типових умовах розподіл виявлення цілі описується нормальним законом. Такі умови забезпечуються при обмеженні окремих домінуючих при виявленні цілі факторів. Важливою умовою для застосування нормального закону є незмінність всієї сукупності факторів, що впливають на результат виявлення цілі за досліджуваній проміжок часу.

При використанні нормального закону розподілу, функція густини розподілу має вигляд

$$\rho(x) = \frac{1}{\sigma_{nc}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_{nc})^2}{2\sigma_{nc}^2}} \quad (6)$$

Ймовірність виявлення цілі, при її відображенні  $N$  пікселями на матриці приймача відеокамери буде дорівнювати

$$P(N) = \frac{1}{\sigma_{nc}\sqrt{2\pi}} \int_0^N e^{-\frac{(x-m_{nc})^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx. \quad (7)$$

Фізичний зміст виразу (7) полягає у наступному. Коли  $N=0$  інтеграл у (7) і, відповідно, ймовірність виявлення рівні нулю. При збільшенні  $N$  ймовірність буде зростати. Різка збільшення цієї ймовірності від малих значень майже до 1 відбудеться в межах інтервалу  $[m_{nc} - 3\sigma_{nc}, m_{nc} + 3\sigma_{nc}]$  і при подальшому зростанні кількості пікселів наближається до 1.

Однак умови, за яких відбувається виявлення цілі, можуть бути нетиповими, зі швидкою зміною різних факторів, що впливають на процес виявлення. При цьому виявлення цілі характеризуються значною невизначеністю. В цьому випадку розподіл кількості пікселів для виявлення підпорядковується закону Релея [5]. У

цьому випадку функція густини розподілу відповідає закону Релея і ймовірність виявлення цілі в залежності від кількості пікселів на які відбувається відображення цілі, буде мати вигляд

$$P(N) = \int_0^N \frac{x}{\sigma_{nc}^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx. \quad (8)$$

Розподіл (8) характеризується одним параметром  $\sigma_R$ . Слід відмітити, що всі викладки необхідно провести для кожного варіанту можливих комбінацій основних факторів, що впливають на процес виявлення цілі на основі її растрового представлення камерою БПЛА. Тому необхідно провести класифікацію цих факторів.

З метою зменшення загальної кількості досліджень, можливо зменшити кількість варіантів поєднання описаних вище факторів до тих, які в подальшому будуть використовуватись на практиці.

З використанням (7)–(8) можливо розрахувати  $P(N)$ . Однак, для розрахунку  $p(x,y)$ , необхідно встановити залежність  $N(x,y)$  і врахувати додатковий перешкоджаючий вплив на спостереження рослинності.

Отже, для остаточного встановлення  $p(x,y)$ , необхідно для певної цілі з врахуванням висоти БПЛА, фокусної відстані камери, фізичних

розмірів матриці камери, кількості пікселів матриці камери по горизонталі і вертикалі, поточних координат БПЛА та координат  $(x,y)$  точки для якої проводиться розрахунок  $p(x,y)$  знайти вираз для обчислення кількості точок на матриці для прийняттого відображення цієї цілі. З цією метою побудуємо модель формування зображення на матриці камери БПЛА і на її основі сформуємо методику визначення шуканої кількості пікселів  $N$ . Процес формування зображення схематично відображений на рис. 6.

Оскільки відстань до об'єкта, при застосуванні БПЛА, звичайно, є значно більшою за фокусну відстань об'єктива камери БПЛА, формування зображення розглянемо у фокальній площині. Для розрахунку кількості пікселів об'єкту потрібно знати: лінійні розміри об'єкту  $L$ , розміри проекції об'єкту на матрицю камери  $l$ , розмір пікселя матриці  $dp$ . На основі схеми рис. 6 отримаємо вираз, для визначення розмірів проекції об'єкту  $l$ .

$$l = L \cdot \frac{f}{h_0 - h(x,y)}. \quad (9)$$

Позначимо розміри цілі  $L_x, L_y$ . Відповідні розміри проекції цієї цілі на матриці камери БПЛА, визначені за (9) позначимо  $l_x, l_y$ .

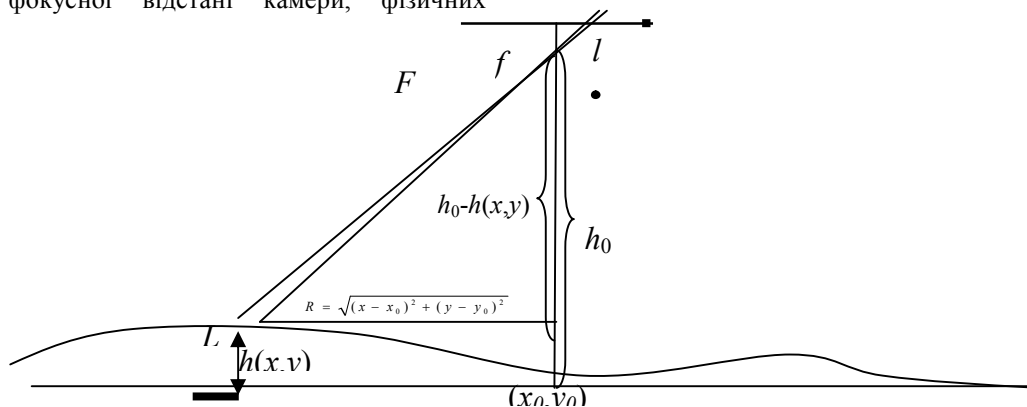


Рис. 6.Схема формування зображення на матриці

Для отримання кількості точок відображення цілі на поверхні матриці приймача потрібно мати розмір пікселя матриці  $dp$ . Цей параметр можливо отримати розділивши лінійний розмір матриці (наприклад ширину) на відповідну кількість пікселів.

З урахуванням цього, можливо записати вираз для розрахунку розміру цілі в пікселях:

$$N(x,y) = L_x \cdot L_y \cdot \frac{f^2}{dp^2 \cdot (h_0 - h(x,y))^2} \quad (10)$$

З урахуванням (7) і (10) для однорідних умов спостереження можливо записати:

$$P(x,y) = \frac{1}{\sigma_{nc} \sqrt{2\pi}} \int_0^{L_x \cdot L_y \cdot \frac{f^2}{dp^2 \cdot (h_0 - h(x,y))^2}} e^{-\frac{(x - m_{nc})^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx \quad (11)$$

Аналогічно, з урахуванням (8) можливо отримати вираз і для нетипових (швидкозмінних) умов спостереження

$$P(x,y) = \int_0^{L_x \cdot L_y \cdot \frac{f^2}{dp^2 \cdot (h_0 - h(x,y))^2}} \frac{x}{\sigma_{nc}^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx \quad (12)$$

Однак, для остаточного визначення ймовірності виявлення цілей, необхідно врахувати ймовірність перешкоджаючого впливу рослинності яку позначимо  $p_1(x,y)$ . Із застосуванням ГІС для кожної точки  $(x,y)$  можливо отримати тип і характер рослинного покриву або встановити його відсутність. З застосуванням методу експертних оцінок та на основі статистичних досліджень для кожного можливого варіанту рослинного покриву встановлена ймовірність відсутності його перешкод процесу виявлення цілі. З урахуванням цього і (11)–(12) отримано остаточний вираз для розрахунку ймовірності виявлення цілі (13):

Вираз (3) з урахуванням (13) визначає методику обчислення ефективності моніторингу

заданих ділянок місцевості і спостереження цілей з використанням БПЛА, який знаходиться у певній точці простору. Однак важливим етапом при розрахунку (3) є визначення недоступних для спостереження ділянок, поява яких обумовлена перешкоджаючим впливом рельєфу місцевості. Хоча в існуючих ГІС існують стандартні засоби геообробки щодо визначення таких ділянок, потреба розрахунку показника (3) для значної кількості можливих точок знаходження БПЛА на ділянці місцевості, обумовлює пошук найбільш

швидких відповідних методів.

Отже ефективність спостереження за ділянкою місцевості з БПЛА відповідно до рис. 3 розраховується з урахуванням сукупності факторів: точки розміщення БПЛА у тримірному просторі ( $x_0, y_0, h_0$ ); технічних характеристик камери БПЛА (параметрів об'єктиву, розмірів матриці тощо); перешкоджаючого впливу рельєфу місцевості; умов спостереження; типу цілі.

$$p(x, y) = \begin{cases} \frac{p_1(x, y)}{\sigma_{nc} \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{L_x \cdot L_y \cdot \frac{f^2}{dp^2 \cdot (h_0 - h(x, y))^2}} e^{-\frac{(x - m_{nc})^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx, \text{ умови однорідні} \\ p_1(x, y) \cdot \int_0^{L_x \cdot L_y \cdot \frac{f^2}{dp^2 \cdot (h_0 - h(x, y))^2}} \frac{x}{\sigma_{nc}^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_{nc}^2}} dx, \text{ умови неоднорідні} \end{cases} \quad (13)$$

Розрахунок показника ефективності спостереження з використанням БПЛА, за виразом (3), проводиться за наступною методикою:

1) з урахуванням координат ( $x_0, y_0, h_0$ ) та даних про рельєф місцевості з проекту SRTM з використанням геообробки проводиться обчислення множини  $T$ ;

2) на основі інформації про фокусну відстань камери та розміри матриці камери БПЛА, визначається область можливої видимості (множина  $V$ );

3) обчислюється множина  $M = S_0 \cap V \cap \bar{T}$ ;

4) для всіх точок ( $x, y$ ), що належить множині  $M$  з урахуванням попередньо встановлених для кожного варіанту умов спостереження параметрів розподілів та інформації з геоінформаційної системи про ймовірність відсутності перешкод для спостереження  $p_1(x, y)$ , на основі (13) визначаються ймовірності виявлення цілі;

5) за виразом (3) проводиться остаточний розрахунок показника ефективності спостереження, як частки забезпеченої ймовірності виявлення цілей в межах заданої смуги спостереження від максимально можливої (одиночної ймовірності виявлення по всім точкам множини  $S_0$ ).

## Висновки й перспективи подальших досліджень

### Література

1. Розпорядження АДПСУ «Про порядок організації та забезпечення польотів на повітряний моніторинг державного кордону безпілотними авіаційними комплексами Державної прикордонної служби України» Вих. № 0.21-5075/0/6-17 від 08.06.2017 р. 2. **Багінський В. А.** Обґрунтування роздільної здатності пристрою візуалізації безпілотного авіаційного комплексу / В. А. Багінський, Ю. П. Сальник, І. І. Опанасюк, Ю. М. Пащук // Науковий вісник НЛТУ України – Львів : Видавництво НЛТУ України, 2015. – № 25.4. – С. 331-337. 3. Системи безпеки двійного і воєнного призначення. [Електронний ресурс]. - Доступний с [http://www.pergam-vision.ru/files/file\\_name\\_19913aff8724bfac99cbcd64764b7052.pdf](http://www.pergam-vision.ru/files/file_name_19913aff8724bfac99cbcd64764b7052.pdf) 4. **Слюсар В. В.** Передача даних з борта БПЛА: стандарти НАТО. - Електроника НТБ. – Вып. #3/2010. [Електронний ресурс]. - Доступний с <http://www.electronics.ru/journal/article/53> 5. **Горбунов В. А.** Эффективность обнаружения целей / В. А. Горбунов. – М. : Воениздат, 1979. – С. 160. 6. **STANAG 7023/AEDP-9.** NATO

З метою підвищення ефективності повітряного моніторингу (зондування) місцевості із застосуванням БПЛА запропонована методика визначення раціональних траєкторій польоту при виконанні задач із спостереження за ділянками місцевості та їх оперативного корегування.

В дослідженні запропоновано модель спостереження при застосуванні БПЛА з врахуванням: складності форми смуги спостереження в межах якої необхідне ефективне виявлення цілей; ймовірнісного характеру виявлення цілей; перешкоджаючого спостереженню впливу рельєфу місцевості та рослинності; факторів що визначають області заборонені для подальшого прокладання траєкторій та недопущення польоту БПЛА над суміжною територією.

На основі даної моделі розроблено методику розрахунку ефективності моніторингу місцевості з використанням БПЛА.

Перспективи подальших досліджень – розробка методики розрахунку маски місцевості хвильового алгоритму на основі показника ефективності спостереження з метою визначення раціональної траєкторії польоту БПЛА для виконання завдань повітряного моніторингу визначених ділянок місцевості.

Primary Image Format. [Electronic resource], – Mode of access [http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023\\_documents/7023Eed04.pdf](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023_documents/7023Eed04.pdf)

7. **Боровик О. В.** Методика оцінки ефективності функціонування однієї вежі системи оптико-електронного спостереження / О. В. Боровик, Р. В. Рачок, М. М. Дармороз // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2016. – № 4(70). – С. 208–226. 8. **Боровик О. В.** Оцінка ефективності функціонування системи оптико-електронного спостереження / О. В. Боровик, Р. В. Рачок, М. М. Дармороз // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 2 (41). – С. 93–99. 9. **Рачок Р. В.** Структурна оптимізація системи оптико-електронного спостереження / Р. В. Рачок, О. В. Боровик, Л. В. Боровик, // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2017. – № 4 (43). – С. 151–161. 10. **Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972. – 368 с.



МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНОГО МОНИТОРИНГА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Юрий Григорьевич Даник (доктор техн. наук, профессор)<sup>1</sup>  
Игор Иванович Балицкий (канд.ехн.аук., доцент)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

<sup>2</sup>Национальна академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина

З целью повышения эффективности мониторинга (зондирования) местности с применением беспилотных летательных аппаратов предложена методика определения рациональных траекторий их полета при выполнении задач по наблюдению за участками местности, объектами и т.д. и их оперативной корректировки. Для решения этого вопроса разработана и рассмотрена на примере решения задач по охране государственной границы, модель наблюдения за участком местности, на основе которой предложен показатель эффективности осуществления наблюдения с беспилотного летательного аппарата при его нахождении в разных точках воздушного пространства. Предложена методика расчета введенного показателя эффективности наблюдения.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, эффективность мониторинга, прогнозирование, траектория, наблюдение, местность, методика.

EVALUATION METHOD OF TERRAIN MONITORING EFFICIENCY BY MEANS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Yurii G. Danyk (Doctor of Technical Science, Professor)<sup>1</sup>  
Igor I. Baleckiy (Candidate of Technical Sciences, Researcher)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine, Khmelnytskyi, Ukraine

In order to increase the efficiency of terrain monitoring (sensing) by means of unmanned aerial vehicles, a method has been proposed for determining the rational trajectories of their flight when performing tasks for surveillance of sectors of the terrain, facilities, etc., and their operational correction. The model of surveillance over the sectors of the terrain has been worked out and considered in order to solve this problem in the context of solving tasks on the state border guarding. The measure of effectiveness concerning the surveillance performance by means of an unmanned aerial vehicle has been proposed when it is located at different points of the airspace. The calculation method of the introduced measure of monitoring efficiency has been proposed.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, monitoring efficiency, forecasting, trajectory, surveillance, terrain, method.

References

1. Regulation of the ASBGUSU "On the Procedure for Organizing and Providing Flights for Air Monitoring of the State Border by Unmanned Aerial Complexes of the State Border Guard Service of Ukraine" Ref. No. 0.21-5075/0/6-17 of June 08, 2017 [Rozporiadzhennia ADPSU «Pro poriadok orhanizatsii ta zabezpechennia polotiv na povitrianyi monitorynh derzhavnoho kordonu bezpilotnymi aviatstynymy kompleksamy Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy»] 2. Bahinskyi V. A. Justification of the unmanned aerial complex image device resolution. [Obgruntuvannia rozdilnoi zdatnosti prystroiu vizualizatsii bezpilotnoho aviatstynoho kompleksu] / V. A. Bahinskyi, Yu. P. Salnyk, I. I. Opanasiuk, Yu. M. Pashchuk // Scientific Bulletin of NL TU of Ukraine– Lviv: Publishing House of NL TU of Ukraine, 2015. – No. 25.4. – P.331-337. 3. Security systems for dualand military use. [Systemy bezopasnosti dvojnogo voennogo naznachenija][Electronic resource].- available at: [http://www.pergam-vision.ru/files/file\\_name\\_19913aff8724bfac99cbcd64764b7052.pdf](http://www.pergam-vision.ru/files/file_name_19913aff8724bfac99cbcd64764b7052.pdf). 4. Sliusar V. V. Data transfer from UAV: NATO standards. [Peredacha dannykh s borta BPLA: standarty NATO.]-NTB electronics. – Issue No. 3/2010. [Electronic resource]. – available at: <http://www.electronics.ru/journal/article/53>. 5. Gorbunov V. A. Targets detection efficiency. [Effektivnost obnaruzhenija tselej] / M. A. Gorbunov. – M.: Military

Publishing, 1979. – P. 160. 6. STANAG 7023/AEDP-9. NATO Primary Image Format. [Electronic resource], – Mode of access [http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023\\_documents/7023Eed04.pdf](http://www.nato.int/structur/AC/224/standard/7023/7023_documents/7023Eed04.pdf)

7. Borovyk O. V. Estimation method of functioning efficiency of one tower of the system of optoelectronic observation. [Metodyka otsinky efektyvnosti funktsionuvannia odnoi vezhi systemy optyko-elektronnoho sposterezhennia] / O. V. Borovyk, R. V. Rachok, M. M. Darmoroz // Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences / Chiefeditor Oleksiienko B. M. –Khmelnytskyi: Publishing House of NASBGUSU, 2016 - No. 4 (70). - P. 208-226. 8. Borovyk O. V. Estimation method of functioning efficiency of the system of optoelectronic observation [Otsinka efektyvnosti funktsionuvannia systemy optyko-elektronnoho sposterezhennia] / O. V. Borovyk, R. V. Rachok, M. M. Darmoroz// Radioelectronics, informatics, management. - 2017 - No. 2 (41). - P. 93-99. 9. Rachok R. V. Structural optimization of the system of optoelectronic observation. [Strukturalna optymizatsiia systemy optyko-elektronnoho sposterezhennia] / R. V. Rachok, O. V. Borovyk, L. V. Borovyk, // Radioelectronics, informatics, management. - 2017 - No. 4 (43). - P. 151-161. 10. Hmurman V.E. Theory of probability and mathematical statistics. [Teoriya verojatnostej i matematicheskaja statistika] – M.: Higher School, 1972. - 368 p.



*Олександр Васильович Майстренко (доктор. військ. наук)<sup>1</sup>*

*Роман Володимирович Бубенищikov<sup>1</sup>*

*Руслан Володимирович Бондар<sup>1</sup>*

*Олександр Валентинович Поплінський<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна*

<sup>2</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## ДЕКОМПОЗИЦІЯ ПРОЦЕСУ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ ПРОТИВНИКА ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ПОБУДОВИ «ДЕРЕВА ЦІЛЕЙ»

*Стаття присвячена декомпозиції процесу вогневого ураження противника за допомогою методу побудови «дерева цілей» з урахуванням, як складових самого процесу, так і зв'язків між ними, що дозволило здійснити поділ процесу на складові з дотриманням вимоги щодо відповідності цілям дослідження та самого процесу, рівнозначності складових по відношенню внеску в цільовий ефект, а також відповідності принципу цілісності.*

*Ключові слова: вогневе ураження противника, цілеспрямований процес, «дерево цілей». метод побудови «дерева цілей»..*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Однією з основних тенденцій сучасних збройних конфліктів, як свідчать результати аналізу, є збільшення їх асиметричності, що відповідно відображається на застосування ракетних військ і артилерії (РВіА). В свою чергу до тенденцій застосування РВіА в сучасних асиметричних збройних конфліктах відносяться зростаючий рівень інтенсивності застосування РВіА, збільшення автономності дій підрозділів РВіА, підвищення мобільності та раптовості застосування РВіА. Означені тенденції обумовлюють необхідність зміни підходів до застосування РВіА. В загальному вигляді зміна підходів до застосування є зміна підходів до реалізації можливостей РВіА. Таким чином, в практиці застосування РВіА виникла нагальна потреба в знаходженні таких підходів, які забезпечили б максимально можливу реалізацію можливостей РВіА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результат аналізу досліджень щодо визначення підходів відносно реалізації можливостей певною мірою розглядають в розрізі максимізації реалізації можливостей щодо безпосереднього ураження противника, залишаючи поза увагою зростаючий об'єм завдань не пов'язаних з безпосереднім ураженням.

Аналіз проведених досліджень [9-14] свідчить, що визначення складових процесу ВУП є достатньо складною задачею. Складність визначення полягає в необхідності досягати відповідності певним вимогам, чого не завжди можна досягнути за різними причинами (суб'єктивними і об'єктивними). Однією з основних вимог є необхідність поділу процесу на складові таким чином, щоб він (поділ) відповідав меті дослідження, не зменшуючи важливості мети процесу [9-11, 12]. Також необхідно

дотримуватись поділу за умови рівнозначності складових по відношенню внеску в цільовий ефект [9,13,14]. До того ж дослідження окремих елементів процесу повинне відповідати принципу цілісності, тобто процес після поділу на складові має піддаватися синтезу [9-11,14]. До того ж визначення складових процесу ВУП проводиться за певною ознакою [9,13,14].

Процес ВУП, з огляду на його ознаки, а саме наявність головної мети, пропонується вважати цілеспрямованим процесом. Звідси випливає вимога щодо визначення складових процесу ВУП, які б мали відповідну ознаку цілеспрямованості [9,10,15,16]. Однак, необхідно враховувати, що невірне визначення складових може призвести до неможливості знаходження внутрішніх зв'язків. Тому пропонується йти від зворотного – визначити спочатку головну і часткові цілі процесу на підставі них провести визначення складових. На практиці, для визначення складових процесу (явища, об'єкта) існують певні методи [16]. Одним із достатньо простих і таких, що відповідає нашим умовам є метод побудови «дерева цілей» [15]. Сутність методу полягає у визначенні головної мети процесу і в подальшому поетапному визначенні цілей за нижчим рівнем ієрархії.

**Мета статті.** Таким чином, метою статті є визначення складових процесу ВУП за допомогою методу побудови «дерева цілей».

### Виклад основного матеріалу дослідження

Як зазначено в [17] метою ВУП є завдання втрат противнику, за яких зменшуються бойові можливості, знижується морально-психологічний стан, змінюється співвідношення сил і засобів сторін на користь наших військ (сил) та створюються сприятливі умови для виконання завдань загальновійськовими формуваннями.

Однак для розгляду процесу ВУП саме, як цілеспрямованого процесу пропонується уточнити означене визначення. Так, метою процесу ВУП пропонується вважати нанесення противнику максимальних втрат, за яких зменшуються бойові можливості, знижується морально-психологічний стан, змінюється співвідношення сил і засобів сторін на користь наших військ (сил) та створюються сприятливі умови для виконання завдань загальновійськовими формуваннями) при мінімальних витратах за визначений час.

Формулювання головної мети ВУП свідчить, що для її досягнення необхідно вирішити певну оптимізаційну задачу, яка дозволить досягнути максимального ефекту при мінімальних витратах, при цьому враховуючи час виконання.

Зважаючи на природу процесу ВУП можна стверджувати, що для досягнення мети ВУП необхідно вирішити задачу доцільного розподілу сил і засобів ВУП між завданнями. Тому, наступною за ієрархією є мета – розподіл сили і засоби ВУП між завданнями.

Для вирішення будь-якої задачі необхідно мати вхідні дані. В даному випадку вхідними даними є відомості про характеристики цілей, сил і засобів

ВУП та можливості певного типу сил і засобів наносити ураження певному типу цілі. Таким чином наступною за рівнем ієрархії є мета – оцінювання обстановки.

Для проведення оцінювання необхідно мати потрібну інформацію, яку можна отримати шляхом отримання донесень про свої війська та розвіддонесень про противника. Тому наступною метою є – отримання відомостей про обстановку.

При реалізації головної мети ВУП будуть внесені зміни і у кількісно-якісний стан противника і своїх військ. Тому можна вести мову про певну циклічність процесу. Означене визначення складових процесу ВУП по своїм ознакам відповідає загальному (макро-) рівню. Адекватність такого визначення складових підтверджується застосуванням відомого методу побудови «дерева цілей» [15]. До того ж проведене визначення по головним ознакам відповідає достатньо відомій «Теорії Бойда» [18] в якій у вигляді етапів представлено модель збройної боротьби – спостереження-оцінка-рішення-дія. Проведене визначення складових процесу ВУП з допомогою методу побудови «дерева цілей» графічно відображено на рис. 1.

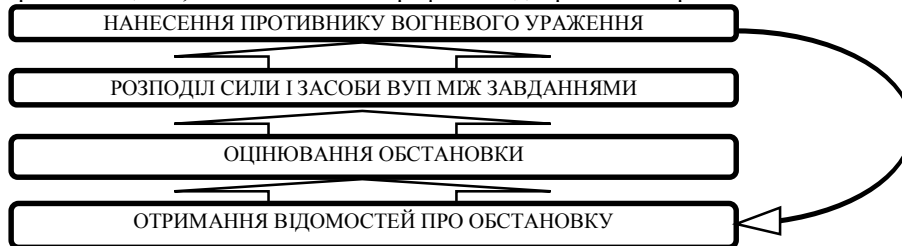


Рис. 1 Графічне відображення побудови «дерева цілей» на макрорівні.

Визначення складових процесу ВУП на макрорівні дозволяє лише в загальному вигляді дослідити процес ВУП, що призведе до значних неточностей під час синтезу, до того ж результати також матимуть загальний характер. Тому, пропонується провести визначення складових кожного із елементів макрорівня процесу ВУП.

Для запобігання збільшенню кількості системних помилок [19] пропонується в подальшому використовувати той же метод побудови «дерева цілей» та здійснити поділ за ознакою цілеспрямованості.



Рис. 2 «Дерево цілей» для відображення складових процесу нанесення противнику вогневого ураження (A1)

Досягнення мети щодо нанесення противнику вогневого ураження (А) пропонується розподілити на такі складові: мінімізація своїх втрат (А1), максимізація нанесення втрат противнику (А2), мінімізація часу виконання завдання (А3). В свою чергу пропонується розподілити, за ознакою цілеспрямованості, мету А11 на: максимізацію рівня підготовки сил і засобів (А11) та максимізацію рівня захисту сил і засобів ВУП (А12). Мету А2 на максимізацію точності вогню (ударів) (А21), максимізація потужності вогню (ударів) (А22), максимізація раптовості вогню (ударів) (А23). В свою чергу мету А3 пропонується поділити на мінімізація часу підготовки вогню (ударів) (А31) та мінімізація часу виконання завдань з ВУП (А32)

Мету щодо розподілу сил і засобів ВУП між завданнями (В) пропонується розподілити за ознакою цілеспрямованості та у відповідності до сутності оптимізаційної задачі: максимізація рівня

очікуваного цільового ефекту (В1) та мінімізація рівня очікуваної витрати ресурсів (В2). Максимізації рівня цільового ефекту можливо досягти лише в разі залучення сил і засобів ВУП, які найбільше відповідають умовам завдання, іншими словами максимізація результативності сил і засобів ВУП (В11). До того ж, максимізацію рівня цільового ефекту можливо досягти ураженням найбільш критичних цілей противника, іншими словами максимізація показника критичності вибору цілей (В12). Водночас, досягти мінімізації рівня витрати ресурсів можливо у випадку залучення до виконання завдань найбільш захищених та дешевих сил і засобів ВУП. На підставі означеного пропонується мету В2 розподілити на мінімізацію рівня залучення незахищених сил і засобів ВУП (В21) та мінімізацію рівня залучення сил і засобів ВУП із високим рівнем вартості виконання завдань (В22) (рис.3)

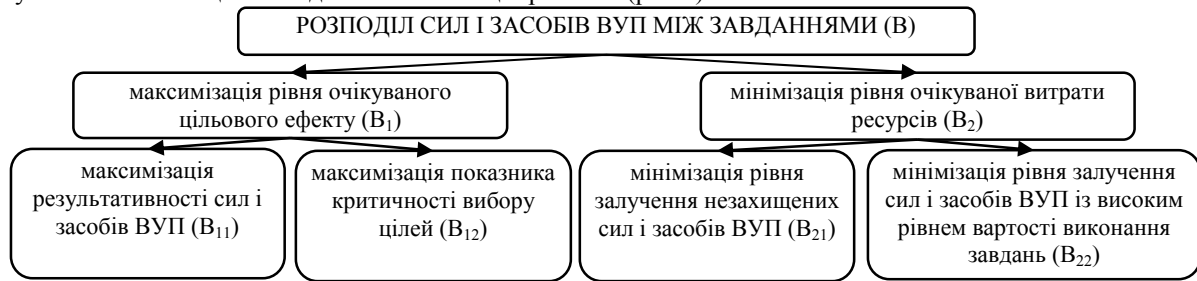


Рис. 3 Дерево цілей» для відображення складових процесу розподілу сил і засобів ВУП

Відносно мети щодо оцінювання обстановки (С), спираючись на існуючі підходи [1-3, 6], пропонується розподілити на такі складові: оцінювання противника (С1), оцінювання своїх військ (С2), оцінювання рельєфно-кліматичних умов (С3). Зважаючи на прийняті в дослідженні умови пропонується складові оцінювання противника та своїх військ визначити однаковими,

до яких віднести: оцінювання кількісних (С11, С21) та якісних характеристик (С12, С22) противника та своїх військ. Відносно оцінювання рельєфно-кліматичних умов пропонується наступний поділ: оцінювання умов місцевості (С31) та оцінювання метеорологічних умов (С32) (рис. 4).

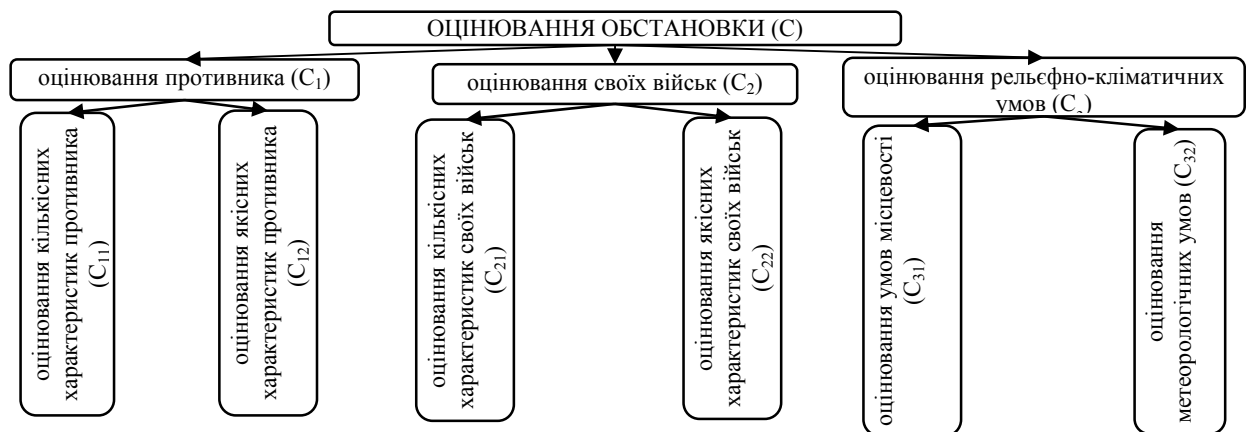


Рис. 4 Дерево цілей» для відображення складових процесу оцінювання обстановки

Стосовно такої складової – отримання відомостей про обстановку (Д) необхідно зазначити, що на функціональному рівні для досягнення цієї мети залучаються не тільки сили і засоби розвідки, а і ланки управління всіх рівнів.

Виходячи з цього, складовими нижчого рівня ієрархії пропонується обрати: максимізація рівня достовірної інформації про противника (Д1), максимізація рівня необхідної інформації про свої війська (Д2) та максимізація рівня необхідної

інформації про рельєфно-кліматичні умови (Д3). В свою чергу, Д1 пропонується поділити на: максимізація кількості розвіданих об'єктів противника (Д11), мінімізація часу на розвідку (Д12), максимізація рівня достовірності інформації (Д13). Відносно своїх військ Д2 : максимізація рівня інформації про свої війська (Д21), мінімізація часу на отримання інформації про свої війська (Д22). Що стосується рельєфно-кліматичних умов (Д3) пропонується прийняти

такі складові: максимізація рівня інформації про рельєфно-кліматичні умови (Д31), мінімізація часу на отримання інформації про рельєфно-кліматичні умови (Д32) (рис. 5).

Побудова загального «дерева цілей» дозволить виявити, окрім структурно підпорядкованих зв'язків, зв'язки на кожному рівні ієрархії. Загальний вигляд «дерева цілей», його графічне відображення представлено на рис. 6.

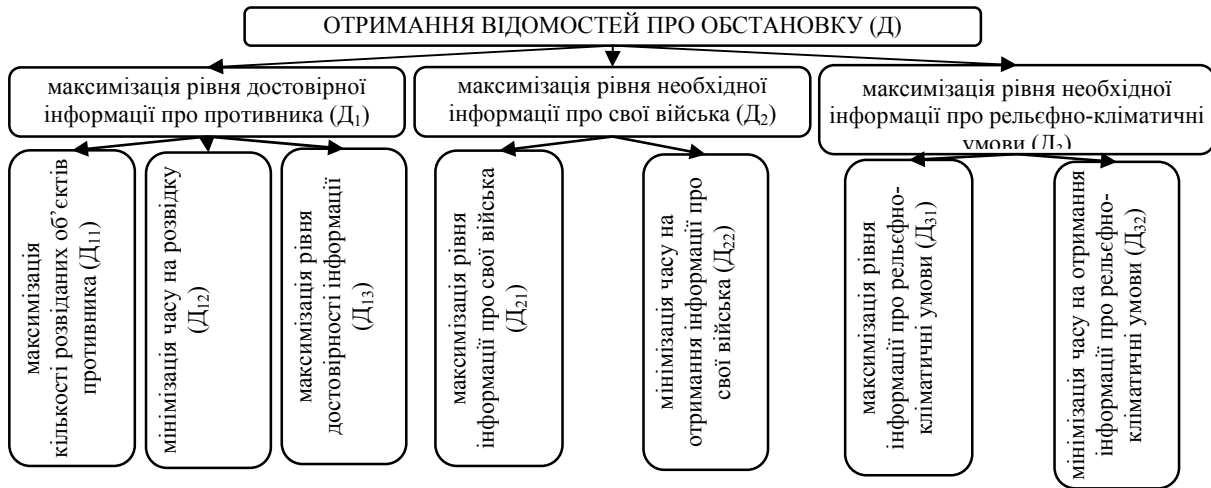


Рис. 5 «Дерево цілей» для відображення складових процесу отримання відомостей про обстановку

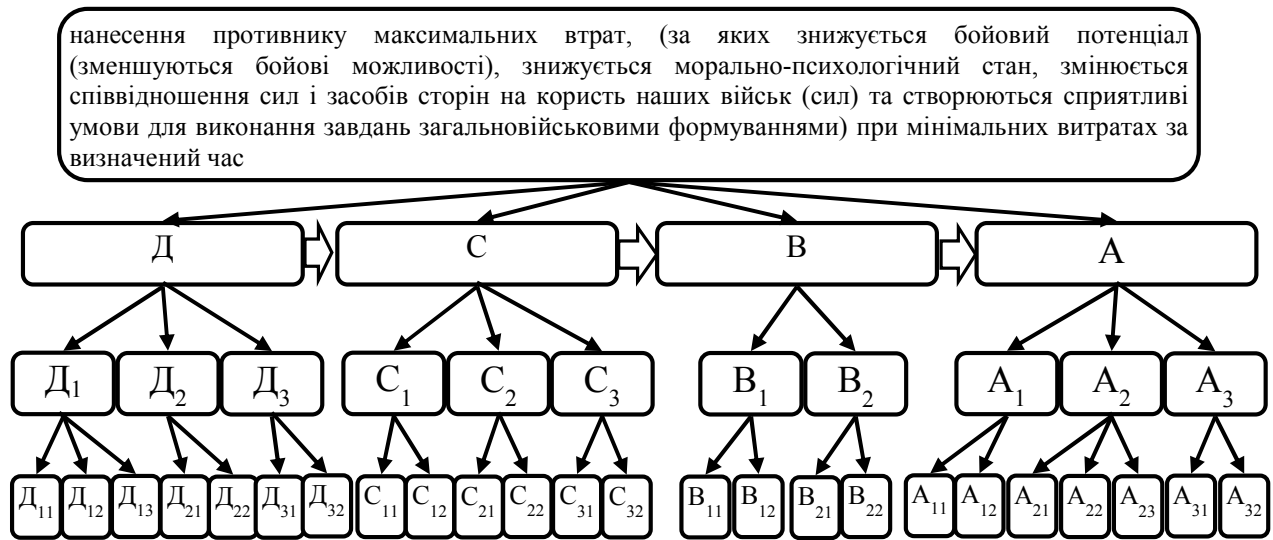


Рис. 6 Графічне відображення складових процесу вогневого ураження противника за допомогою методу побудови «дерева цілей»

**Висновки й перспективи подальших досліджень**

Таким чином, визначення складових процесу вогневого ураження противника за допомогою методу побудови «дерева цілей» дозволило здійснити поділ процесу на складові з дотриманням вимоги відповідності мети дослідження та меті самого процесу, рівнозначності складових по відносному внеску

в цільовий ефект, а також відповідності принципу цілісності та за ознакою цілеспрямованості. В теоретичному плані проведено визначення складових процесу ВУП, що забезпечить створення відповідного науково-методичного апарату який би дозволив дослідити нові внутрішні зв'язки та встановити рівень важливості вже існуючих, а також визначити механізм перерозподілу властивостей складових процесу для

збереження необхідного рівня цільового ефекту.

Подальші дослідження пропонується присвятити визначенню внутрішніх зв'язків процесу на нижчих рівнях ієрархії, також

створенню моделі ВУП з урахуванням нових властивостей та тих які набули іншого рівня важливості

### Література

**1. Валецький, О.В.** Новая стратегия США и НАТО в войнах в Югославии, Ираке, Афганистане и ее влияние на развитие зарубежных систем вооружения и боеприпасов: Монография / Валецький О.В. – М.: Арктика 4Д, 2008. – 344 с. **2 Репіло Ю.Є.** Вогневе ураження противника і бойове забезпечення при бойових діях у локальному конфлікті в умовах гірсько-лісової місцевості: Посібник / Репіло Ю.Є. – К.: НАОУ, 2001. – 56 с. **3. Майстренко О.В.** Ураження незакоханих збройних формувань підрозділами ракетних військ і артилерії: Посібник/ О.В.Майстренко та ін.. – Львів: АСВ, 2013.– 171 с. **4. Стужук П.І.** Досвід бойових дій ракетних військ і артилерії (польової артилерії) у війнах в Іраку в 1991 р. / П.І. Стужук // Военна історія. – 2004. – № 4. – С.75–86. **5. Трояновський В.** Характерні риси бойового застосування артилерії в локальних війнах і збройних конфліктах сучасності / В.Трояновський // Военна історія. – 2002. – № 5–6. – С. 117–122. **6.** Розвиток тактики родів військ Сухопутних військ за досвідом локальних війн і збройних конфліктів сучасності: Матеріали наук.-практ. конф., (Київ, 17 грудня 2009 р.) / Каф. СВ НАОУ.– К.: НАОУ, 2009. – С. 80–86. **7.** Тенденції розвитку ракетних військ і артилерії на підставі досвіду їх бойового застосування у воєнних конфліктах: матеріали науково-практичного семінару. – К.: НУОУ, 2011. – С. 28–35. **8. Майстренко О.В.** Тенденції розвитку форм і способів застосування ракетних військ і артилерії у локальних війнах та збройних конфліктах останніх десятиліть / Майстренко О.В. // Матеріали доповідей науково-практичного семінару кафедри ракетних військ і артилерії “Перспективи бойового застосування ракетних військ і артилерії ЗС України”. – Львів: АСВ, 2013. – С.

8–12. **9. Петухов Г.Б.** Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем: Монография / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. – М.: АСТ, 2006. – 504 с. **10. Барабаш Ю.Л.** Основи теорії оцінювання ефективності складних систем (методологія військово-наукових досліджень): Навчальний посібник / Ю.Л. Барабаш. – К.: НАОУ, 1999. – 40 с. **11. Жуков Г.П.** Военно-экономический анализ и исследование операций / Г.П. Жуков, С.Ф. Викулов. – М.: Воениздат, 1987. – 84 с. **12. Извеков Е.В.** Оптимизация средств обеспечения стрельбы артиллерии / Е.В. Извеков, Б.А. Каплунов. – М.: Воениздат, 1979. – 112 с. **13. Поляк Г.Л.** Математическая модель экономических последствий вооруженного противостояния неравных по силе противников / Г.Л. Поляк // Математические и инструментальные методы экономики. – Тамбов: ТГТУ. – 2011.– № 12 (85). – С. 381–386. **14. Чудаков Ю.В.** Основы оценки эффективности огневого поражения противника силами и средствами РВ и А Сухопутных войск / Ю.В. Чудаков. – М.: МО СССР, 1990. – 64 с. **15. Моудер Дж.** Исследование операций: Монография / Моудер Дж., Элмагбари. С. – М.: Мир, 1981. – 678 с. **16.** Основы моделирования бойових дій військ: Навчальний посібник / [Атрохов А.В., Вернер І.Е., Гавалко В.І., Козаков В.І. та ін.] ; за ред. О.Ю. Пермякова. – К.: НАОУ, 2005. – 484 с. **17.** Советская военная энциклопедия: в 8 томах. Том 6. – М.: Военное издательство, 1978. – 671 с. **18. Ивлев А.А.** Основы теории Джона Бойда. Принципы, применение и реализация: Монография / А.А. Ивлев. – М.: ОРИОН, 2008. – 64 с. **19. Новицкий, П.В.** Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРОЦЕССА ОГНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ "ДЕРЕВА ЦЕЛЕЙ"

*Майстренко Александр Васильевич (доктор воен. наук)<sup>1</sup>*

*Бубенищиков Роман Владимирович<sup>1</sup>*

*Бондар Руслан Владимирович<sup>1</sup>*

*Поплинский Александр Валентинович<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальная академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, Львов, Украина*

<sup>2</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*Статья посвящена определению составляющих процесса огневого поражения противника с помощью метода построения "дерева целей" с учетом, как составляющих самого процесса, так и связей между ними, что дало возможность осуществить деление процесса на составляющие с соблюдением требования соответствия цели исследования и цели самого процесса, равнозначности составляющих по отношению к взносу в целевой эффект, а также соответствия принципа целостности.*

*Ключевые слова:* огневое поражение противника, целенаправленный процесс, "дерево целей" метод построения "дерева целей".

## DETERMINATION OF CONSTITUENTS OF FIRE DEFEAT OF OPPONENT BY THE METHOD OF CONSTRUCTION "TREE OF AIMS"

*Oleksandr V. Majstrenko (doctor of military sciences)<sup>1</sup>*

*Roman V. Bubenshchykov<sup>1</sup>*

*Ruslan V. Bondar<sup>1</sup>*

*Oleksandr V. Poplinsky<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National Academy of Army Forces named after Hetman Petra Sagaidachnogo, Lviv, Ukraine*

*<sup>2</sup>The National Defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

The article is devoted for determination of constituents of fire defeat of opponent by the method of construction "tree of aims" recognition, both constituents of process and connections between them, that enabled to carry out dividing of process by the making with the observance of requirement answering the purpose of research and purpose of process, to equivalentness of constituents on relative payment in a having a special purpose effect, and also accordances of principle integrity.

**Key words:** fire defeat of opponent, purposeful process, method of construction of "tree of aims".

**References**

**1. Valetsky, O.V.** New strategy of the US and NATO in wars in Yugoslavia, Iraq, Afghanistan and its impact on the development of foreign weapons systems and ammunition: monograph. [*Novaja strategiya SShA y NATO v voynakh v Jughoslavyy, Yrake, Afghanystane y ee vlyjanye na razvytye zarubezhnykh system vooruzheniya y boeprypasov: monografija*], Moscow, 344 p. **2. Repilo Yu.E.** Fire defeat of opponent and battle providing at battle actions in a local conflict in the conditions of themountain-wooded locality: monograph. [*Vognev, the opponent's battlefield and the fight in the battlefields at local confrontation in the states of the city and countryside: monografija*], NAU, Kiev, 56 p. **3. Maistrenko O.V.** Defeat of illegal armed units by units of rocket troops and artillery: monograph. [*Urazhennja nezakonykh zbrojnykh formuvanj pidrozdilamy raketnykh vijsjk i artyleriji: monografija*], ASV Lviv, 171 p. **4. Stuzhuk P.I.** (2004) Experience of combat operations of rocket troops and artillery (field artillery) in the wars in Iraq in 1991 [*Dosvid bojovykh dij raketnykh vijsjk i artyleriji (poljovoji artyleriji) u vijnakh v Iraku v 1991 r.*], Vojenna istorija. No. 4, pp.75-86. **5. Trojanovsky V.** Characteristic features of military use of artillery in local wars and armed conflicts of the present [*Harakterni rysy bojovogho zastosuvannja artyleriji v lokalnykh vijnakh i zbrojnykh konfliktakh suchasnosti*], Vojenna istorija. No. 5-6, pp. 117-122. **6.** Development of the tactics of the forces of the Land Forces by the experience of local wars and armed conflicts of the present [*Rozvytok taktiky rodiv vijsjk Sukhoputnykh vijsjk za dosvidom lokalnykh vijn i zbrojnykh konfliktiv suchasnosti*], materials sciences. conf. (Kiev, December 17, 2009), NAOU, 2009, pp. 80-86. **7.** Trends in the development of rocket troops and artillery based on the experience of their military use in war conflicts [*Tendenciji rozvytku raketnykh vijsjk i artyleriji na pidstavi dosvidu jikh bojovogho zastosuvannja u vojennykh konfliktakh*], materials of the scientific and practical seminar. (Kiev, 2011) NAOU, 2011, pp. 28-35. **8. Maystrenko O.V.** Trends in the development of forms and methods for the use of missile forces and artillery in local wars and armed conflicts in recent decades [*Tendenciji rozvytku form i sposobiv zastosuvannja raketnykh vijsjk i artyleriji u lokalnykh vijnakh ta zbrojnykh konfliktakh ostannykh desjatylytj*], proceedings of the scientific and practical seminar of the Missile Forces and Artillery Department "Perspectives of the military use of missile troops and artillery of the Armed Forces of Ukraine". Lviv, ASV, 2013, pp. 8-12.

**9. Petukhov G. B.** Methodological bases of external designing of purposeful processes and purposeful systems: monograph. [*Metodologicheskye osnovy vneshnegho proektyrovannya celenapravlennykh processov y celeustremlennykh system: monografija*], AST, Moscow, 2006, 504 p. **10. Barabash Yu.L.** Fundamentals of the theory of the evaluation of the effectiveness of complex systems (methodology of military-scientific research): monograph. [*Metodologicheskye osnovy vneshnegho proektyrovannya celenapravlennykh processov y celeustremlennykh system: monografija*],: NAU, Kiev, 40 p. **11. Zhukov G.P.** Military-economic analysis and investigation of operations: monograph. [*Voenno-ekonomycheskij analiz y yssledovanye operacyj: monografija*], Voenyzdat, Moskov, 84 p. **12. Izvekov E.V.** Optimization of Artillery Arming [*Optymyzacyja sredstv obespecheniya streljby artyllery: monografija*], Voenyzdat, Moskov, 112 p. **13. Polyak G.L.** (2011), Mathematical model of economic consequences of armed confrontation of unequal opponents strength. [*Matematycheskaja modelj ekonomycheskyykh posledstvyj vooruzhenogho protyvostojanyja neravnukh po syle protyvnykov*], Matematycheskye y ynstrumentaljne metody ekonomyky. No. 12 (85), pp. 381-386. **14. Chudakov Yu.V.** (1990) The basis for assessing the effectiveness of enemy fire destruction by the forces and means of the Missile Forces and artillery of the Land Forces. [*Matematycheskaja modelj ekonomycheskyykh posledstvyj vooruzhenogho protyvostojanyja neravnukh po syle protyvnykov*], MO SSSR, Moscow, 64 p. **15. Mauder J.**(1981) Investigation of Operations: monograph. [*Yssledovanye operacyj*], M, Mir, 678 p. **16. Atrokhov AV,** Werner I.E., Gavalko V.I., Kozakov V.I. (2005) Fundamentals of modeling of combat operations of troops: monograph. [*Mnogokriterial'nye reshenija: modeli i metody: monografija*], NAU, Kiev, 484 p. **17.** Soviet military encyclopedia: in 8 volumes. Volume 6. [*Sovetskaja voennaja encyklopedyja: v 8 tomakh. Tom 6*], Voennoe yzdateljstvo (1978), Moscow, pp. 671. **18. Ivlev AA** (2008) Basics of John Boyd's Theory. Principles, application and implementation: monograph. [*Osnovu teoryy Dzhona Bojda. Prynypu, pryomenenye y realizac: monografija*], ORION, Moscow, 64 p. **19. Novitsky, P.V.** (1991) Estimation of errors of measurement results. [*Ocenka poghreshnostej rezul'tatov yzmerenij*], Energoatomizdat, - 304 p.

УДК 534.27

*Владимир Иванович Мирненко (доктор техн. наук, профессор)<sup>1</sup>**Евгений Агашиевич Юфа (канд. воен. наук)<sup>1</sup>**Максим Николаевич Журавский (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*<sup>1</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*<sup>2</sup>*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина*

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛИ НА ФОНЕ ПАССИВНОЙ ПОМЕХИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВА, ОСНОВАННОГО НА УЧЕТЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ УГЛА ФАРАДЕЕВСКОГО ВРАЩЕНИЯ В ИОНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ СИГНАЛА

*В статье проанализированы проведенные исследования некогерентно рассеянных в ионосфере радиосигналов большой длительности. Была экспериментально обнаружена деполаризация некогерентно рассеянного сигнала, которая обусловлена пространственным изменением угла фарадеевского вращения в ионосфере плоскости поляризации сигнала. Предложено использовать этот эффект для поляризационной селекции целей простой геометрической формы на фоне помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации ионизированной среды. Также было разработано устройство, реализующее предложенный способ поляризационной селекции целей. Схема предлагаемого устройства поляризационной селекции содержит две антенны круговой поляризации противоположного направления вращения, два оптимальных фильтра, два квадратурных канала синхронных детекторов, четыре умножителя, два сумматора, два узкополосных фильтра и функциональный преобразователь. Предполагается, что передающая антенна является линейно поляризованной. Для выяснения работоспособности устройства в различных условиях и для оценки его эффективности вычисляется отношение сигнал/помеха на выходе устройства в случае, когда матрица обратного рассеяния цели и матрица элемента помехи (например, диполя, уголкового отражателя и т.п.) не являются диагональными, т.е. когда при отражении сигнала от цели или от элемента помехи появляется кросс-поляризационный компонент.*

**Ключевые слова:** некогерентное рассеивание, ионосферные возмущения, поляризационная селекция целей, фарадеевское вращение, устройство для подавления помеховых отражений.

### Введение

В Украине находится РЛС дальнего обнаружения 5Н86, которая передана на попечение Государственного космического агентства Украины. Ее основной целью является обнаружение ионосферных возмущений техногенного происхождения. И, в перспективе, совместная работа со средствами Государственного космического агентства Украины для улучшения показателей обнаружения целей. Одним из перспективных направлений исследований является оценка эффективности поляризационной селекции цели на фоне пассивной помехи.

**Постановка проблемы.** Применительно к РЛС метрового диапазона ранее не была достаточно рассмотрена возможность использования некогерентно рассеянных ионизированной средой сигналов для повышения

точности измерения дальности до элементов сложной баллистической цели (СБЦ) в случае, когда отраженные от элементов СБЦ сигналы перекрываются во времени.

Также не достаточно полно были приведены исследования некогерентно рассеянных (НР) в ионосфере радиосигналов большой длительности.

### **Анализ последних исследований и публикаций.**

В [1] была экспериментально обнаружена деполаризация НР сигнала. Как показали эксперименты [1, 2], деполаризация НР сигнала обусловлена пространственным изменением угла фарадеевского вращения в ионосфере плоскости поляризации сигнала. В [51] было предложено использовать этот эффект для поляризационной селекции целей простой геометрической формы на фоне помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации ионизированной

среди. Поэтому целесообразным стало разработать устройство, реализующее предложенный в [3] способ поляризационной селекции целей.

Ниже показывается, что разработанное устройство позволяет селективировать космические объекты, как простой, так и сложной геометрической формы на фоне не только помеховых отражений от мелкомасштабных неоднородностей электронной концентрации, но и от диполей, уголкового отражателей.

Кроме того, в известной литературе [2, 3, 5] недостаточно полно рассмотрены данные вопросы.

Также, в дальнейшем необходимо оценить эффективность известного устройства поляризационной селекции целей [4, 6, 7, 8] и рассчитать вероятностные характеристики обнаружения цели при использовании известного и разработанного устройств поляризационной селекции цели.

**Целью статьи** является проведение анализа оценки эффективности поляризационной селекции цели на фоне пассивной помехи с помощью предложенного устройства, которое основано на учете пространственного изменения угла фарадеевского вращения в ионизированной среде плоскости поляризации сигнала.

**Изложение основного материала исследования.**

Схема предлагаемого устройства поляризационной селекции содержит две антенны круговой поляризации противоположного направления вращения, два оптимальных фильтра, два квадратурных канала синхронных детекторов, четыре умножителя, два сумматора, два узкополосных фильтра и функциональный преобразователь. Предполагается, что передающая антенна является линейно поляризованной.

Для выяснения работоспособности устройства в различных условиях и для оценки его эффективности вычислим отношение сигнал/помеха на выходе устройства в случае, когда матрица обратного рассеяния цели и матрица элемента помехи (например, диполя, уголкового отражателя и т.п.) не являются диагональными, т.е. когда при отражении сигнала от цели или от элемента помехи появляется кросс-поляризационный компонент. Расчеты проведем в предположении, что матрица рассеяния цели  $S_{ц}$  и матрицы рассеяния элементов помехи  $S_k$  не изменяются за время, равное постоянной  $T_{\phi}$  узкополосных фильтров предложенного устройства. Это предположение является в рассматриваемой задаче одним из основных.

Поскольку ионизированная среда (ионосфера, искусственные ионизированные образования,

вызванные, например, ядерными взрывами) является анизотропной, то линейно поляризованный сигнал при распространении в ней расщепляется на два радиосигнала – обыкновенный  $\vec{E}_1(t)$  и необыкновенный  $\vec{E}_2(t)$  компоненты [9]. Для радиоволн ультракороткого диапазона и квазипродольного (относительно магнитного поля Земли) распространения, поляризация сигналов  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$  круговая. Сигналы  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$ , распространяясь в ионизированной среде, встречают на своем пути цель и элементы пассивной помехи и отражаются от них. При отражении поляризация сигналов  $\vec{E}_1(t)$  и  $\vec{E}_2(t)$  из круговой превращается в эллиптическую.

Рассмотрим прохождение сигнала, отраженного от цели, через элементы предлагаемого устройства рис.1. Поляризационную матрицу рассеяния цели  $S_{ц}$  запишем в следующем виде (в круговом базисе):

$$S_{ц} = \begin{bmatrix} \sqrt{\sigma_{11}^u} e^{j\varphi_{11}}, & \sqrt{\sigma_{12}^u} e^{j\varphi_{12}} \\ \sqrt{\sigma_{21}^u} e^{j\varphi_{21}}, & \sqrt{\sigma_{22}^u} e^{j\varphi_{22}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\varphi_1 = \frac{\omega_0}{c} \int_0^{R_0} n_1(r) dr, \quad \varphi_2 = \frac{\omega_0}{c} \int_0^{R_0} n_2(r) dr,$$

В [10, 11] проанализировано прохождение сигналов круговой поляризации через анизотропную ионизированную среду, отражение таких сигналов от объекта простой геометрической формы и фильтрация эхо-сигналов в приемнике. Распространив указанный анализ на

$$X_1^u(t) = \frac{A_0}{R^2} g(\varphi, \theta) \tau_u / \psi(t-t_0 - \tau_0, \Omega) \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{22}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - 2\varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{22} + \frac{\pi}{4}\right] + \\ + \sqrt{\sigma_{12}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{12} + \frac{\pi}{4}\right] \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$X_2^u(t) = \frac{A_0}{R^2} g(\varphi, \theta) \tau_u / \psi(t-t_0 - \tau_0, \Omega) \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\sigma_{22}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - 2\varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{22} + \frac{\pi}{4}\right] + \\ + \sqrt{\sigma_{12}^u} \cos\left[\alpha_0 - \Omega t - \varphi_1 - \varphi_2 + \varphi_0 + \varphi_{12} + \frac{\pi}{4}\right] \end{array} \right\}, \quad (3)$$

объект сложной геометрической формы, получаем следующие выражения для сигналов  $X_{1,2}^u(t)$  на выходах первого и второго оптимальных фильтров предлагаемого устройства соответственно:

где  $\tau_u$  - эффективная длительность зондирующего сигнала,  
 $\varphi, \theta, R$  и  $V_2$  - координаты и радиальная составляющая скорости движения цели;

$$\tau_0 = \frac{2R_0}{C}, \quad \Omega = \frac{2\omega_0}{C} V_2, \quad g(\varphi, \theta) = g_1(\varphi, \theta) g_2(\varphi, \theta),$$



$|\varphi(t, \Omega)|$  - модуль автокорреляционной функции модуляции зондирующего сигнала;

$g_1(\varphi, \theta)$ ,  $g_2(\varphi, \theta)$  - нормированная характеристика направленности передающей и приемной антенн соответственно;

$R_0$  - расстояние до цели в момент времени  $t = 0$ ;

$n_1$ ,  $n_2$  - показатель преломления ионизированной среды для сигнала с правой и для сигнала с левой круговой поляризацией соответственно;

$\varphi_0$  - начальная фаза зондирующего сигнала;

$\omega_0$  - круговая несущая частота;

$A_0$  - постоянная, зависящая от средней мощности зондирующего сигнала  $P_0$  и коэффициентов усиления передающей и приемной антенн.

Сигналы  $X_{1,2}^u(t)$  далее детектируются квадратурными синхронными детекторами, умножаются и суммируются в соответствии со схемой рис.1. Выполнив указанные операции,

$$y_1^u(t) = \frac{A_0^2}{4R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 |\varphi(t - t_0 - \tau_u, \Omega)|^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \sin(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_{21} - \varphi_{22}) + \\ & \sqrt{\sigma_{12}^u \sigma_{11}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{22}) \end{aligned} \right] \quad (4)$$

получим, что напряжение на выходе первого  $y_1(t)$  и второго  $y_2(t)$  сумматоров определяются

$$y_2^u(t) = \frac{A_0^2}{4R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 |\varphi(t - t_0 - \tau_u, \Omega)|^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{21}^u \sigma_{11}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{22}) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

выражениями:

Дальнейшие вычисления проведем в предположении, что излучается прямоугольный радиоимпульс без внутриимпульсной модуляции.

$$|\varphi(\tau, \Omega)|^2 = \begin{cases} \frac{\sin \pi \Omega \tau_u}{\pi \Omega \tau_u} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_u}\right)^2, & \text{при } \tau / \leq \tau_u; \\ 0, & \text{при } \tau / > \tau_u; \end{cases} \quad (6)$$

В этом случае:

где  $\tau_u$  - длительность зондирующего импульса.

Подставив (6) в (4) и (5) и проинтегрировав  $y_1^u(t)$  и  $y_2^u(t)$  от « $t-2\tau_u$ » до  $t$  при условии, что

$$z_1^u(t) = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \left(\frac{\sin x_u}{x_u}\right)^2 \tau_u^3 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \sin(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{21}^u \sigma_{11}^u} \sin(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{11}) \end{aligned} \right]$$

$$z_2^u(t) = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^3 \left(\frac{\sin x_u}{x_u}\right)^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_2 - 2\varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{11}) + \\ & \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{21}) + \\ & \sqrt{\sigma_{12}^u \sigma_{11}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{12} + \varphi_{11}) \end{aligned} \right]$$

постоянная узкополосного фильтра равна  $2\tau_u$ , получаем напряжение на выходе первого  $z_1^u(t)$  и второго  $z_2^u(t)$  узкополосных фильтров:

$$x_u = \pi \tau_u \frac{2\omega_0}{C} V_u$$

где

Нетрудно видеть, что на выходе функционального преобразователя напряжение определяется следующим соотношением:

$$z^u = \sqrt{[z_1^u(t)]^2 + [z_2^u(t)]^2} = \frac{A_0^2}{6R^4} g^2(\varphi, \theta) \tau_u^2 \left(\frac{\sin x_u}{x_u}\right)^2 \sigma_u, \quad (7)$$

$$\sigma_u = \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u + \sigma_{22}^u \sigma_{21}^u + \sigma_{12}^u \sigma_{11}^u + \sigma_{22}^u \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{21}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 + \varphi_{11} - \varphi_{21}) + \sigma_{11}^u \sqrt{\sigma_{22}^u \sigma_{12}^u} \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - \varphi_{22} + \varphi_{12}) + \sigma_{12}^u \sqrt{\sigma_{11}^u \sigma_{22}^u} \cos(2\varphi_{12} - \varphi_{22} - \varphi_{11})}$$

Таким образом, сигнал отраженный от цели, проходит на выход устройства без ослабления. Это обусловлено тем, что поляризационные свойства цели (матрица рассеяния цели) не изменяются за время, равное удвоенной длительности зондирующего сигнала. Поэтому в рассматриваемом устройстве отсутствуют потери энергии отраженного сигнала, связанные с флуктуациями параметров матрицы рассеяния цели.

Рассмотрим прохождение эхо-сигналов от помеховых образований (диполей, угловых отражателей и проч.) через элементы схемы рис.1.

Очевидно, что в силу линейности приемного тракта, суммарный сигнал помехи на "косинусном" выходе первого синхронного детектора записывается в следующем виде:

$$S_{1k}^v(t) = \frac{A_0 \tau_u}{2} \sum_{i=1}^M \frac{g(\varphi_k, \theta_k)}{r_k^2} \psi(t - t_0 - \tau_{ok}, \Omega_{gk}) \left\{ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{22k}^n} \cos[\Omega_{gk} + 2\varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{22k} - \frac{\pi}{4}] + \\ & \sqrt{\sigma_{12k}^n} \cos[\Omega_{gk} + \varphi_{12k} + \varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{12k} - \frac{\pi}{4}] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где  $M$  - число диполей (угловых отражателей и проч.) в импульсном объеме РЛС;

- доплеровское смещение частоты сигнала отраженного от  $k$ -го диполя;

$$\Omega_{gk} = \frac{2\omega_0}{C} V_k \quad \varphi_k, \theta_k, r_k \text{ и } V_k - \text{координаты и радиальная составляющая скорости}$$

$k$ -то диполя;

$$\sigma_{22k}^n, \sigma_{11k}^n, \varphi_{22k}^n, \varphi_{12k}^n - \text{параметры,}$$

характеризующие матрицу рассеяния  $k$ -го диполя.

Сигнал помехи на "синусном" выходе первого

$$S_{2k}^v(t) = \frac{A_0 \tau_u}{2} \sum_{j=1}^M \frac{g(\varphi_k, \theta_k)}{r_k^2} \psi(t - t_0 - \tau_{ok}, \Omega_{gk}) \left\{ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{22k}^n} \sin[\Omega_{gk} + 2\varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{22k} - \frac{\pi}{4}] + \\ & \sqrt{\sigma_{12k}^n} \sin[\Omega_{gk} + \varphi_{12k} + \varphi_{2k} - \varphi_0 - \varphi_{12k} - \frac{\pi}{4}] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

синхронного детектора записывается в следующем виде:

Формулы для помеховых сигналов на выходах второго синхронного детектора, аналогичны формулам (8, 9). Поэтому выписывать их не будем.

Найдем сигнал, создаваемый помехой на выходе сумматора:

$$y_1^l(t) = \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) \sum_{k=1}^M S_{2k}^l(t) + \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) \sum_{k=1}^M S_{2k}^l(t) = \sum_{k=1}^M S_{1k}^l(t) S_{2k}^l(t) +$$

$$+ \sum_{k=1}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2k}^{11}(t) + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2l}^{11}(t) + \sum_{k=1}^M \sum_{l=1, l \neq k}^M S_{1k}^{11}(t) S_{2l}^{11}(t), (10)$$

Распределение диполей в пространстве положим равномерным. В этом случае третье и четвертое слагаемое в (10) обращается в нуль. Тогда

Элементы помехи распределены в пространстве непрерывным образом. Поэтому

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2}{4} \tau_u^2 \sum_{k=1}^M \frac{g^2(\varphi_k, \theta_k)}{V_k^4} / \psi(t - t_0 - \tau_{k1}, \Omega_{gk})^2 \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{1k}^2 \sigma_{2k}^2} \sin(2\varphi_{2k} - 2\varphi_{1k} - \varphi_{2k}^n + \varphi_{1k}^n) + \\ & \sqrt{\sigma_{2k}^2 \sigma_{1k}^2} \sin(\varphi_{2k} - \varphi_{1k} - \varphi_{2k}^n + \varphi_{1k}^n) + \\ & \sqrt{\sigma_{1k}^2 \sigma_{1k}^2} \sin(\varphi_{2k} - \varphi_{1k} - \varphi_{1k}^n + \varphi_{1k}^n) \end{aligned} \right] (11)$$

имеет смысл перейти в (11) от суммирования к интегрированию.

Рассмотрим наиболее неблагоприятную ситуацию, когда диполи ориентированы относительно РЛС одинаковым образом. В этом случае суммирование в (11) должно производиться лишь с учетом случайных координат  $\varphi_k, \theta_k$  и скорости  $V_k$  диполей. Оно сводится к умножению выражения под знаком  $\sum$  на плотность вероятности диполей  $P(r, \varphi, \theta, V)$  и к интегрированию по пространству  $r, \varphi, \theta, V$ . Так как все слагаемые суммы одинаковы, то под знаком интегрирования получим величину  $MP(r, \varphi, \theta, V)$ , равную средней плотности диполей  $W_1(r, \varphi, \theta, V)$  в точке  $r, \varphi, \theta$  со скоростью  $V$ . В дальнейшем  $N_1(r, \varphi, \theta, V)$  будем представлять в виде произведения двух функций

$$N_1(r, \varphi, \theta, V) = N(r, \varphi, \theta) W(V),$$

где  $N(r, \varphi, \theta)$ - характеризует распределение

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2}{4} \tau_u^2 \int_{-\infty}^{\infty} dV \int_0^{\pi} d\theta \int_0^{2\pi} d\varphi \frac{g^2(\theta, \varphi)}{r^2} N(r, \varphi, \theta) W(V) / \psi\left(t - \frac{2r}{C}, \frac{2\omega_0}{C} V\right)^2 \times \left[ \begin{aligned} & \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{22}^2} \sin\left(\frac{4r}{C} \omega_\varphi + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n\right) + \sqrt{\sigma_{22}^2 \sigma_{11}^2} \sin\left(\frac{2r}{C} \omega_\varphi + \varphi_{21}^n - \varphi_{22}^n\right) + \\ & \sqrt{\sigma_{12}^2 \sigma_{11}^2} \sin\left(\frac{2r}{C} \omega_\varphi + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n\right) \end{aligned} \right] d\theta, (12)$$

диполей по координатам, а  $W(V)$  - по скорости.

В результате получим

где  $\omega_\varphi$  - частота фарадеевского вращения плоскости поляризации сигнала с линейной поляризацией.

Формула для сигнала  $y_2^n(t)$  на выходе второго блока сложения совпадает с формулой (12), если в последней заменить «sin» на «cos».

В дальнейшем будем полагать  $N(r, \varphi, \theta)$  и  $\omega_\varphi$  постоянными в пределах импульсного объема РЛС, а время  $t$  большим удвоенной длительности зондирующего сигнала. Кроме того, предположим, что распределение диполей по скоростям является равномерным, в пределах  $\pm V_0$  и что излучается прямоугольный радиоимпульс без внутримпульсной модуляции.

$$\text{где } V_0 = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi} g^2(\varphi_1, \theta) d\theta, \quad x_n = \pi \tau_u \frac{2\omega_0}{C} V_0,$$

$$x = \omega_\varphi \tau_n, \quad B(x_n) = \frac{2}{x_n} \left[ 3i(x_n) + \frac{\cos x_n - 1}{x_n} \right], \quad R = \frac{Ct}{2}$$

$$y_1^n(t) = \frac{A_0^2 B_0 N_c \tau_u^3}{8R^2} \frac{B(x_n)}{x_n} \left[ \begin{aligned} & \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{22}^2} \sin(2\omega_\varphi t + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n) + \\ & \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{22}^2 \sigma_{21}^2} \sin(\omega_\varphi t + \varphi_{21}^n - \varphi_{22}^n) + \\ & \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{12}^2} \sin(\omega_\varphi t + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n) \end{aligned} \right]$$

$$y_2^n(t) = \frac{A_0^2 B_0 N_c \tau_u^3}{8R^2} \frac{B(x_n)}{x_n} \left[ \begin{aligned} & \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{22}^2} \cos(2\omega_\varphi t + \varphi_{11}^n - \varphi_{22}^n) + \\ & \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{22}^2 \sigma_{21}^2} \cos(\omega_\varphi t + \varphi_{21}^n - \varphi_{22}^n) + \\ & \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{12}^2} \cos(\omega_\varphi t + \varphi_{11}^n - \varphi_{12}^n) \end{aligned} \right]$$

В этих условиях после интегрирования  $y_1^n(t)$  и  $y_2^n(t)$  в пределах от « $t-2\tau_u$ » до « $t$ », возведения в квадрат результатов интегрирования,

$$z^u(t) = \frac{A_0^2}{2R^4} \tau_u^4 \sigma_n(t), (13)$$

суммирования  $[y_1^n(t)]^2$  и  $[y_2^n(t)]^2$  и извлечения квадратного корня, получим

где

$$\sigma_m = B_0 N R^2 \frac{B(x_n)}{x_n} \frac{c \tau_u}{2} \sqrt{\begin{aligned} & \sigma_{11}^2 \sigma_{22}^2 \rho_1^2 + \sigma_{22}^2 \sigma_{21}^2 \rho_2^2 + \sigma_{12}^2 \sigma_{11}^2 \rho_2^2 + \sigma_{22}^2 \times \\ & \times \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{21}^2} \rho_1 \rho_2 \cos(\omega_\varphi t + \varphi_{11}^n - \varphi_{21}^n) + \\ & + \sigma_{11}^2 \sqrt{\sigma_{22}^2 \sigma_{12}^2} \rho_1 \rho_2 \times \\ & \times \cos(\omega_\varphi t - \varphi_{22}^n + \varphi_{12}^n) + \\ & + \sigma_{12}^2 \sqrt{\sigma_{11}^2 \sigma_{22}^2} \rho_2^2 \cos(2\varphi_{12}^n - \varphi_{11}^n + \varphi_{22}^n) \end{aligned}},$$

$$\rho_1 = \frac{1}{x^2} \left(1 - \frac{\sin 2x}{2x}\right) \frac{\sin 2x}{2x}, \quad \rho_2 = \frac{4}{x^2} \left(1 - \frac{\sin x}{x}\right) \frac{\sin x}{x}, \quad x = \omega_\varphi \tau_u$$

Сопоставляя (13) с (7) видим, что отношение  $g$  сигнал/помеха на выходе предложенного устройства определяется следующим соотношением

$$g \approx \frac{Z^u}{Z^u(t)} = \frac{\sigma_u}{\sigma_n(t)} g^2(\varphi_u, \theta_u) \frac{1}{3} \left( \frac{\sin x_u}{x_u} \right). (14)$$

## Выводы и перспективы дальнейших исследований

Разработано устройство для поляризационной селекции целей на фоне пассивных помех. Получено выражение для отношения сигнал/помеха на выходе этого устройства применительно к случаю, когда цель и элементы помехи вызывают деполяризацию отраженных от них сигналов.

Показано, что разработанное устройство позволяет селективировать космические объекты как простой, так и сложной геометрической формы на фоне не только помеховых отражений от неоднородностей электронной концентрации, но и от диполей, уголкового отражателей. Эффективное подавление помеховых сигналов в разработанном устройстве достигается в случае, когда приращение фарадеевского угла вращения плоскости поляризации сигнала на интервале дальности, равном пространственной длительности зондирующего сигнала, достигает  $\pi$  радиан и более.

**Литература**

1. **Черногор Л.Ф.** Физика Земли, атмосферы и геокосмоса в свете системной парадигмы / Черногор Л.Ф. // Радиофизика и радиоастрономия. 2003. –Т8, №1. – с. 54-104. 2. **Рогожкин Е.В.** Зондирующие сигналы для исследования ионосферы методом некогерентного рассеяния /Рогожкин Е.В., Пуляев В.А., Лысенко В.Н.// Монография. – Харьков НТУ ХПИ 2008. -254с. 3. **Ткачев Г.Н.** Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем / Ткачев Г.Н., Карлов В.Д., Козлов С.И.// Космические исследования. – 1980. –Т.2. вып. 2. с. 266-277. 4. **Карлов В.Д.** Метод некогерентного рассеяния радиоволн / Карлов В.Д., Ткачев Г.Н.// Конспект лекций. – Х. ВИРТА ПВО. 1984. – 60 с. 5. **Я.Д. Ширман,** В.Н.Манжос. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех: М.: Радио и связь, 1981, 416 с. 6. **В. Мосалев** Системы дистанционного наблюдения за полем боя на базе разведывательно-сигнализационных приборов: Зарубежное военное обозрение, №2, 2000, С.21-27. 7. **В. Мосалев** Радиоэлектронные средства охраны ВС США и перспективы их развития: Зарубежное военное обозрение, №3, 2001, С.26-29, №4, 2001, С.23-26. 8. **Журавский М. Н.,** Морозова Г. В. Методы определения параметров геофизических явлений природного и искусственного происхождения на сейсмических станциях Службы специального контроля Государственного космического агентства Украины //Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017. – №. 1. – С. 59-67. 9. **Карлов Д. В.,** Журавський М. М. Аналіз можливих механізмів генерації збурень, що рухаються, зумовлених запусками ракет чи іншими явищами штучного або природного походження в іоносфері //Системи обробки інформації. – 2013. – №. 5. – С. 170-174. 10. **Карлов Д. В.,** Журавський М. М. Синтез алгоритму виявлення іоносферних збурень при використанні некогерентно розсіяних іоносферою сигналів радіохвиль //Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – №. 2. – С. 53-57. 11. **Карлов В. Д.** и др. К вопросу об оценке эффективности определения факта запуска космического объекта по изменению параметров ионосферы, контролируемой методом некогерентного рассеяния радиоволн //Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – №. 2. – С. 155-157.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЯРИЗАЦІЙНОЇ СЕЛЕКЦІЇ ЦІЛІ НА ФОНІ ПАСИВНОЇ ПЕРЕШКОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСТРОЮ, ЯКИЙ ВРАХОВУЄ ПРОСТОРОВІ ЗМІНИ КУТА ФАРАДЕЄВСЬКОГО ОБЕРТАННЯ В ІОНІЗОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ В ПЛОЩИНІ ПОЛЯРИЗАЦІЇ СИГНАЛУ**

*Володимир Іванович Мірненко (доктор техн. наук, професор)<sup>1</sup>*

*Євген Агашинович Юфа (канд. військ. наук)<sup>1</sup>*

*Максим Миколайович Журавський (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

*У статті проаналізовано проведені дослідження некогерентно розсіяних в іоносфері радіосигналів великої тривалості. Була експериментально виявлена деполаризація некогерентно розсіяного сигналу, яка обумовлена просторовою зміною кута фарадеевського обертання в іоносфері у площині поляризації сигналу. Запропоновано використовувати цей ефект для поляризаційної селекції цілей простої геометричної форми на фоні перешкод від неоднорідностей електронної концентрації іонізованого середовища. Також було розроблено пристрій, що реалізує запропонований спосіб поляризаційної селекції цілей. Схема запропонованого пристрою поляризаційної селекції містить дві антени кругової поляризації протилежного напрямку обертання, два оптимальних фільтра, два квадратурних канали синхронних детекторів, чотири помножувачі, два суматора, два вузькосмугових фільтра і функціональний перетворювач. Передбачається, що передавальна антена є лінійно поляризованою. Для з'ясування працездатності пристрою в різних умовах і для оцінки його ефективності рахується відношення сигнал/перешкода на виході пристрою в разі, коли матриця зворотного розсіювання цілі і матриця елемента перешкоди (наприклад, диполя, кутового відбивача тощо) не є діагональними, тобто коли при відображенні сигналу від цілі або від елемента перешкоди з'являється крос-поляризаційний компонент.*

***Ключові слова:** некогерентне розсіювання, іоносферні збурення, поляризаційна селекція цілей, фарадеевське обертання, пристрій для селекції перешкодових відображень.*

**EVALUATION OF THE OBJECTIVES POLARIZATION DISCRIMINATION AGAINST PASSIVE HINDRANCES WITH THE DEVICE, BASED ON CONSIDERATION OF THE SPATIAL VARIATION OF THE FARADAY ROTATION ANGLE IN THE PLANE OF POLARIZATION IS IONIZED MEDIUM SIGNAL**

*Volodymyr I. Mirnenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Evgen A. Yufa (Candidate of Military Sciences)<sup>1</sup>*

*Maxim N. Zhuravskij (Candidate of Technical Sciences)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National Ukrainian Defense University named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

The paper analyzes the studies of incoherently scattered ionospheric radio signals of long duration. The depolarization of the incoherently scattered signal was experimentally of incoherently scattered detected, which is due to the spatial variation of the Faraday rotation angle in the ionosphere of the signal polarization plane. It is proposed to use this effect for polarization selection of simple geometric shapes against the background of interference reflections from inhomogeneities in the electron concentration of the ionized medium. Also, a device was developed that implements the proposed method of polarization target selection. The scheme of the proposed polarization selection device contains two circular polarization antennas of the opposite direction of rotation, two optimal filters, two quadrature channels of synchronous detectors, four multipliers, two adders, two narrowband filters and a functional converter. It is assumed that the transmitting antenna is linearly polarized. In order to determine the operability of the device under various conditions and to evaluate its efficiency, the signal-to-noise ratio at the output of the device is calculated in the case where the backscattering matrix of the target and the matrix of the interference element (for example, dipole, angle reflector, etc.) are not diagonal, *m* .e. when a cross-polarization component appears when the signal from the target or from the interference element is reflected.

**Key words:** incoherent scatter, ionospheric disturbances, polarization discrimination purposes, the Faraday rotation device for the suppression of interfering reflections.

### References

- 1. Chernogor L.F.** Physics of the Earth, atmosphere and geocosm in the light of the system paradigm / Chernogor L.F. // Radiophysics and radio astronomy. 2003.-T8, No.1. - from. 54-104.
- 2. Rogozhkin E.V.** Sounding signals for ionosphere studies by incoherent scattering method / Rogozhkin E.V., Pulyaev V.A., Lysenko V.N. // Monograph. - Kharkiv NTU KhPI 2008.-254s.
- 3. Tkachev G.N.** Large-scale perturbations in the ionosphere that arise during a rocket flight with a working engine / Tkachev G.N., Karlov V.D., Kozlov S.I. // Cosmic Investigations. - 1980.-T.2. no. 2. p. 266-277.
- 4. Charles D.D.** Method of incoherent scattering of radio waves / Karlov V.D., Tkachev G.N. // Abstract of lectures. - H. VIRTUA AIRCRAFT. 1984. 60 s.
- 5. J.D. Shirman, V.N. Manjos.** Theory and technique of processing radar information against the background of interference: M. : Radio and Communication, 1981, 416 p.
- 6. V. Mosalev** Systems for remote observation of the battlefield on the basis of reconnaissance and signaling devices: Foreign Military Review, No. 2, 2000, P.21-27.
- 7. V. Mosalev** Radio-electronic means of protection of the US Armed Forces and prospects for their development: Foreign Military Review, No. 3, 2001, P.26-29, No. 4, 2001, P.23-26.
- 8. Zhuravskij M.N., Morozova G.V.** Methods for determining the parameters of geophysical phenomena of natural and artificial origin at seismic stations Special control services of the State Space Agency of Ukraine // Informational-keruyuchi systems in the transport sector. - 2017. - No. 1. - P. 59-67.
- 9. Karlov D.V., Zhuravskij M. N.** Analogiz mozhlivih mekhanizmov generatsii zbuven, sho ruhayutsya, zoumovleny rocket launches by the newest manifestations of the natural abortion in the ionosphere // System information boxes. - 2013. - No. 5. - P. 170-174.
- 10. Karlov D.V., Zhuravskij M.N.** Synthesis of the algorithm for the appearance of inospheric zuburins in incoherently incoherent vegetation of the ionosphere signaling radiodigil // Zbirnik naukovykh prac KHarkivskogo University Povitryanykh forces. - 2013. - No. 2. - P. 53-57.
- 11. Karlov V.D. et al.** On the evaluation of the effectiveness of determining the launch of a space object by changing the parameters of the ionosphere controlled by the method of incoherent scattering of radio waves // Science and Technology of the Powers of the Forces of the Angry Forces of Ukraine. - 2010. - No. 2. - P. 155-157.

*Александр Юрьевич Пермяков (доктор техн. наук, профессор)<sup>1</sup>*

*Наталья Александровна Королюк (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*

*Елена Павловна Шапошникова (канд. техн. наук)<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И.Кожедуба, Харьков, Украина*

<sup>3</sup>*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина*

## ПОДХОД ПО ФОРМИРОВАНИЮ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ОБОСНОВАННЫХ РЕШЕНИЙ ОПЕРАТОРОМ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

*В статье рассматривается система дистанционного управления БЛА. Задача формирования команд при дистанционном управлении носит логико-аналитический характер, выработка единых правил определения программы, параметров полета в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей. Недостаточная степень адаптивности к внешним условиям и неспособность выработки сигналов управления на борту БЛА на основе неполной, неточной исходной информации, несмотря на достаточный уровень решения расчетных задач, негативно сказывается на качестве решения поставленной задачи. Предлагается для повышения эффективности решения задач разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР). В основе функционирования интеллектуальной СППР лежит процедура сопоставления текущего и эталонного изображения с последующим формированием рекомендаций оператору по управлению БЛА. В основе системы предложено использование структурно-лингвистического подхода, когда каждый объект на изображении после кодирования представляется некоторой структурой «языкового» типа. После совмещения эталонных и текущих изображений в результате логического вывода в производственной модели представления знаний формируются рекомендации оператору.*

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, система поддержки принятия решений.

### Введение

Опыт локальных конфликтов показывает, что формы и способы ведения военных действий претерпели существенные изменения. На первое место выходит не количественно-качественный состав противоборствующих группировок, а информационное обеспечение военных действий. Участвующие в современной войне силы высокоинтеллектуальные, поэтому информационное противоборство – ключевой момент в вооруженном противостоянии. Пользуясь знаниями, полученными от всеохватывающего наблюдения за полем боя и расширенного понимания намерений командования, силы будут способны к самосинхронизации и станут эффективными при автономных боевых действиях. Развитие современных и перспективных технологий позволяет сегодня беспилотным летательным аппаратам (БЛА) успешно выполнять функции, которые в прошлом выполнялись другими силами и средствами.

Ведение разведки с целью достижения информационного обеспечения своих войск является основной и приоритетной задачей

применения БЛА. Информационное обеспечение боевых действий – это совокупность факторов, которые включают данные о противоборствующей стороне, возможность прогнозирования последующих действий и воздействия на них в своих интересах в условиях противодействия противоположной стороны.

В последнее время достаточно большое внимание уделяется воздействию новых информационных технологий в военной сфере. Их широкое внедрение значительно увеличивает новые возможности традиционных видов вооружений и военной техники.

Результаты анализа антитеррористической операции (АТО) на Востоке Украины показывают высокую эффективность применения БЛА при выполнении задач ведения наблюдения, разведки, целеуказания, РЭБ, корректировки огня. Управление движением БЛА осуществляется с наземного пункта управления, включающего в себя пункт управления (ПУ) вместе с программным обеспечением (ПО) и аппаратуру приема и передачи данных по каналу радиосвязи (рис.1).

Управление БЛА осуществляется одним из

возможных вариантов: пилотом-оператором (ручное управление), системой автоматического управления или совместным применением системы автоматического и ручного управления (автоматизированное управление).

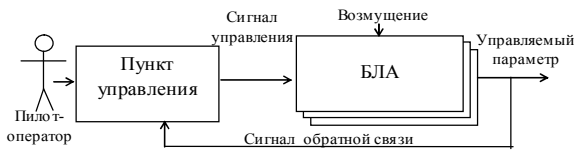


Рис. 1 Система управления БЛА

Проведенный анализ систем управления показал, что дистанционное управление (ДУ) включает достоинства остальных режимов и заключается в передаче по командной радиолинии заданий для исполнительных механизмов.

Система ДУ отвечает за планирование полетного задания, формирование команд управления для системы автоматического управления при изменении маршрута полета пилотом-оператором, настройку параметров системы автоматического управления, отображение телеметрической информации, анализ полетных данных, а также управление полезной нагрузкой БЛА. Со стороны пилота-оператора ДУ сводится к уточнению программы полета на маршруте, выдаче разовых команд в районе решения целевой задачи. Задача формирования команд при ДУ носит логико-аналитический характер, выработка единых правил определения программы, параметров полета в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей.

Таким образом, оперативная гибкость, способность в режиме реального времени передавать полученную информацию на вышестоящие уровни управления и своевременно на любом этапе полета получать необходимые данные для ее анализа и принятии решения обуславливают целесообразность использования дистанционного режима управления.

Дистанционное управление оператором БЛА - это сложная многокритериальная задача. Противоречивость требований к результату принимаемых решений, неоднозначность оценки ситуации, ошибки в выборе приоритетов усложняют процесс принятия решений при управлении, не позволяют эффективно обрабатывать информацию и оперативно анализировать ее для принятия обоснованных решений. Основные задачи, решаемые оператором при ДУ, носят логико-аналитический характер, требуют обоснованных оперативных решений на основе получаемой фото и видеоинформации и состоят из:

выработки решения на выполнение действий по поиску объектов на основании результатов анализа событий и уровня располагаемых возможностей БЛА;  
обнаружения, распознавания и

определения координат выбранного объекта;  
использования принципа выбора объекта по степени его важности и приоритетности;  
приема, переработки и анализа достоверности получаемой по радиоканалу информации;

обеспечения устойчивого управления движением БЛА по маршруту, на котором ожидается присутствие интересующих оператора объектов;

использования технических возможностей бортовых устройств и систем БЛА;

управление полезной нагрузкой: управление линией видимости камеры; контроля направления и наклона камеры по осям; захват моментального снимка, запоминание и создание метки на фоне карты; изменение масштаба; изменение фокусирования.

Оператор БЛА в современных условиях ведения боевых действий выполняет навигационные, аналитические функции, осуществляет процессы по расшифровке фото и видеоинформации и непосредственно является лицом, принимающим решение. Необходимы слаженные и продуманные действия оператора, осуществление которых можно только благодаря опыту, знаниям по управлению БЛА и дешифровке фото и видео информации. Основные функции ПО направлены на обеспечение выполнения типовых операций оператором, а решение логико-аналитических задач, связанных с выбором объекта по степени его важности, переработкой получаемой по радиоканалу информации, выработкой решения на выполнение действий по поиску объектов с учетом уровня располагаемых возможностей БЛА в условиях оперативного изменения условий наблюдения не решены и требуют от оператора высокой квалификации и интуиции, оперативности принятия решений по управлению БЛА.

Таким образом, существует противоречие между необходимостью своевременной выработки достаточно обоснованных рекомендаций по управлению БЛА в условиях неопределенности и ограниченными возможностями ПО, существующих наземных ПУ.

Разрешение данного противоречия возможно путем усовершенствования ПО на ПУ путем применения новых информационных технологий, в частности технологий интеллектуальных систем, что позволит исследовать динамические процессы, формулирование которых выходит за рамки количественных моделей [5].

**Анализ литературы.** Анализ существующей отечественной и зарубежной литературы [1,2,3] показывает, что до сегодняшнего времени отсутствует единый общепринятый подход по дистанционному управлению БЛА при решении различных задач. В [1] рассматривается порядок формирования маршрута полета при автоматическом управлении БЛА только для решения задач разведки. Недостаточная степень

адаптивности к внешним условиям и неспособность выработки сигналов управления на борту БЛА на основе неполной, неточной исходной информации, несмотря на достаточный уровень решения расчетных задач, негативно сказывается на качестве решения поставленной задачи. В [2] рассмотрены вопросы, связанные с использованием технологий «машинного зрения» для автоматического определения значений

Проведенный анализ показал, что при планировании и проведении боевых действий в АТО воздушная разведка является основным, надежным источником регулярного получения достоверной информации в любое время независимо от погодных условий, географического размещения разведываемых районов, объектов. Требования, предъявляемые к видам воздушной разведки, приведены на рис. 2.

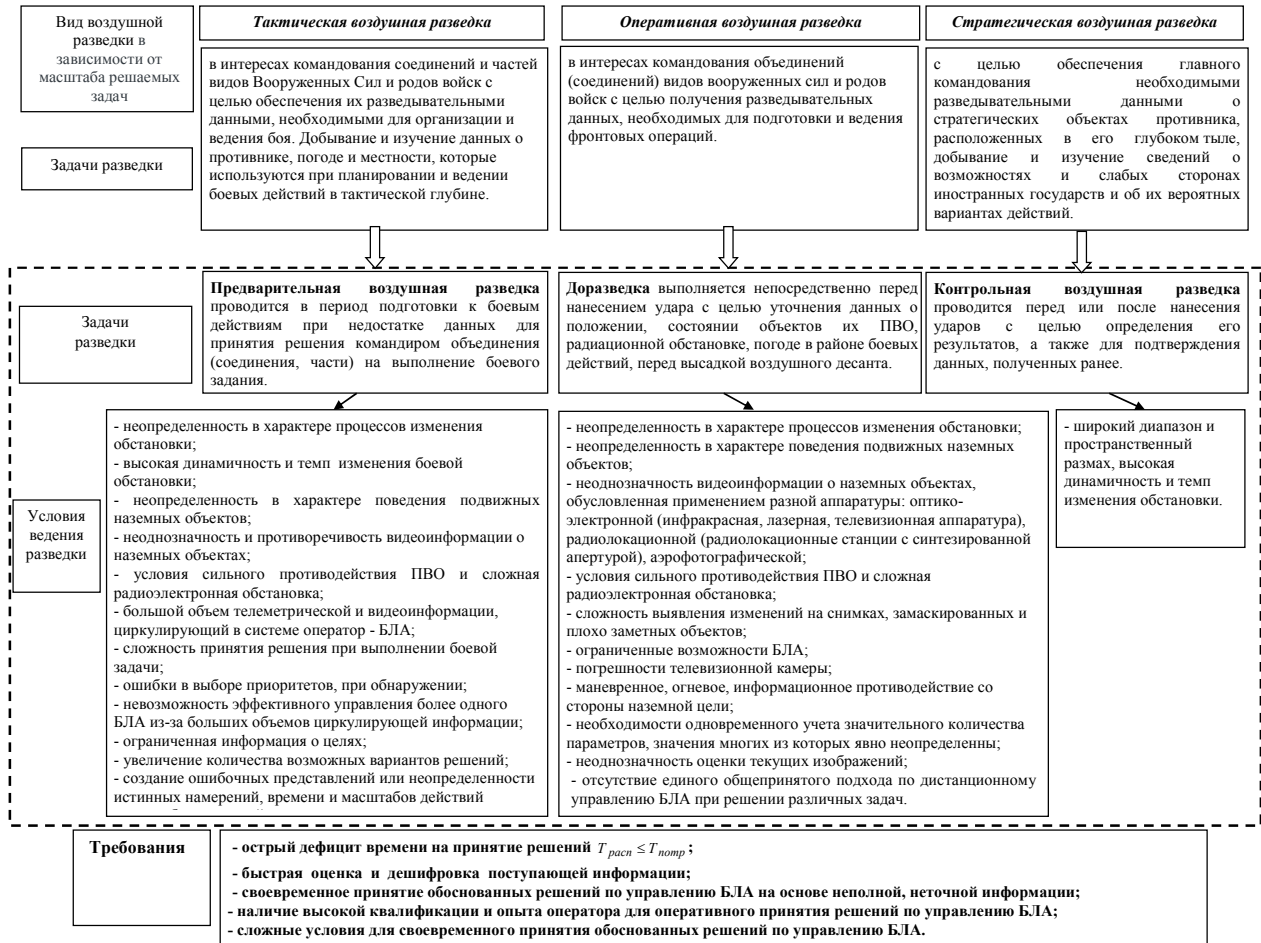


Рис.2 Условия и требования, предъявляемые к воздушной разведке

текущих координат объектов с целью формирования сигналов управления движением БЛА. В [4,5] приведено состояние и перспектива разведывательных БЛА. Эти данные могут составить основную информацию для экспертов при формировании правил формирования команд при управлении БЛА во время разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов. Анализ литературы дает возможность сформулировать цель статьи.

**Цель статьи** заключается в разработке подхода по формированию рекомендаций для своевременного принятия обоснованных решений оператором при дистанционном управлении БЛА.

**Изложение основного материала исследования.**

Среди задач обеспечения боевых действий группировки тактического и оперативно-тактического уровня особое место занимают задачи разведки, которая делится на предварительную разведку, доразведку и контроль.

В настоящее время управление БЛА в основном ведется оператором с помощью передачи ему видовой информации, принимаемой на борту. Решение об обнаружении искомого объекта и последующих действиях принимает оператор. К недостаткам технологии непосредственного участия оператора в процессе ДУ БЛА в реальном времени следует отнести:

сложные условия работы, приводящие к повышению ошибок обнаружения, принятия решений о последующих действиях;

невозможность эффективного управления более одного БЛА из-за больших объемов циркулирующей информации;

снижение производительности поиска, обнаружения, решения поставленной задачи при оперативном изменении условий наблюдения;

необходимость соответствующей квалификации и опыта для оперативного принятия решений.

Одним из направлений, позволяющих существенно повысить эффективность решения задач разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов является использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР) при ДУ БЛА на НПУ. В основе функционирования интеллектуальной СППР при ДУ БЛА лежит процедура сопоставления текущего и эталонного изображения с последующим формированием рекомендаций оператору по управлению БЛА с использованием:

- существующей априорной информации о возможных объектах (явлениях, процессах) интереса, включающей тип, количество, их атрибуты, взаимное расположение, геометрические и яркостные характеристики, параметры двумерных полей (например — поля рельефа, оптического контраста и т.п.), позволяющей построить её эталонное изображение;

- апостериорной информации о наблюдаемой в процессе полета сцене (условиях её наблюдения, характеристиках сенсорных датчиков и их ошибках, и т. п.), представляющей собой текущее изображение в определенном спектральном диапазоне.

Однако задача формирования рекомендаций по управлению БЛА носит логико-аналитический характер и выработка единых правил определения способа сближения с наземной целью (НЦ), ракурса, высоты полета, дистанции выхода на НЦ в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей:

- наличие существенной априорной неопределенности в информации об объектах распознавания и сцене в целом (разнородность, неточность и неполнота информации, изменчивость двумерных полей и т.д.);

- наличие изоморфных преобразований (искажений) текущего изображения (изменение общего уровня яркости, масштаба, сдвиг и поворот изображения относительно всех трех ортогональных осей и т.д.), приводящих к его пространственно-временной трансформации; наличие помех естественного и искусственного происхождения, включая полное или частичное затенение (загораживание) объектов или сцены в целом. Исходя из сказанного, необходимо выделить три основных направления исследований по решению указанной проблемы.

1. Разработка методов и технологий формирования эталонных изображений

(эталонных описаний) на основе использования аэро- и космоснимков заданных участков земной поверхности, каталогов отражательных характеристик, описаний характерных черт объектов естественного и искусственного происхождения, априорной информации об условиях наблюдения рассматриваемых сцен при получении текущих изображений и т. д.

2. Разработка алгоритмов совмещения эталонных и текущих изображений, обеспечивающих робастность к изменению априорных предположений о характеристиках изображений наблюдаемых сцен.

3. Разработка наземной интеллектуальной СППР при ДУ БЛА, реализующие алгоритмы совмещения эталонных и текущих изображений с последующим формированием рекомендаций оператору при решении различных задач.

При разработке методов и технологий формирования эталонных изображений необходимо учитывать, что входная информация представляет собой изображение рассматриваемой сцены (или несколько изображений, включая стереопары), а выходная состоит из описания сцены, объекта, породившей это изображение (или изображения). Описания должны соответствовать как эталонному, так и текущему изображениям и быть представлены в форме, обеспечивающей возможность последующего сопоставления этих описаний. Существует несколько подходов к формированию эталонного изображения и описаний: геометрический подход, основанный на формировании выразительной символической интерпретации сцены по одному или нескольким изображениям этой сцены в виде трехмерной геометрической модели; определение оптимальной комбинации проекций, позволяющей учитывать трехмерный характер геометрии объектов и сцены. Процедуры отличаются друг от друга выбором геометрических признаков объектов, методами описания этих объектов.

Рассмотрим возможную последовательность основных этапов подготовки эталонного описания. Исходными данными являются:

- цифровая модель местности (ЦММ), включающая цифровые модели объектового состава и подготовленная по сложившейся технологии с использованием аэрокосмофотоснимков и методов построения трехмерных геометрических моделей;

- основные характеристики бортового датчика текущего изображения (размер поля зрения, чувствительность, число элементов разрешения изображения при его представлении в цифровом виде);

- значения координат точки визирования при получении текущего изображения.

На первом этапе подготовки эталонного описания из ЦММ удаляются те её элементы, которые, возможно, не могут быть получены на текущем изображении; для заданных значений пространственных координат точки наблюдения



строится геометрическая модель наблюдаемой сцены (объекта) в цифровой форме с нанесенной точкой прицеливания. На втором этапе формируется описание эталонной модели наблюдаемой сцены (типового объекта), содержащего в символьном виде информацию о координатах контуров объектов и их высотах вместе с координатами точки прицеливания и точки наведения. На третьем этапе оператором реализуется экранное изображение эталонной модели с последующими операциями выделения наиболее информативных прямолинейных отрезков контуров типовых объектов сцены - эталонных элементов. К таким элементам относятся те, которые должны с большой вероятностью присутствовать на текущем изображении, обладать достаточной длиной и обеспечивать уникальность формы образованного из них эталонного фрагмента. На четвертом этапе эталонное изображение содержит описания:

- эталонных элементов в виде информации о прямолинейных отрезках контуров (координаты точек отрезка и его ориентация);
- эталонных фрагментов (координаты центра фрагмента, список эталонных элементов);
- эталонных групп (координаты центра и список включенных эталонных фрагментов), а также данные о взаимных положениях и допусках на пространственные связи эталонных фрагментов и групп.

Набор полученных эталонных описаний групп, фрагментов, конкретных типовых объектов, соответствующих измеренному значению дальности и ракурса и используемых для сравнения с текущим изображением, хранятся в базах данных.

Форма представления эталонного описания однозначно связана процессом обработки изображений и совмещения эталонных и текущих изображений. Процесс алгоритмизации в общем виде можно представить последовательностью процедур: фильтрация исходных изображений; выделения характерных черт; признаков, неформальных описаний, подлежащих сравнению с эталонным описанием в соответствии с критерием вида

$$\rho = \left( \sum_i a_i (F_i - G_i)^\alpha \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (1)$$

$\rho$  - мера близости эталонного и текущего описаний, представленных векторными функциями  $F_i$  и  $G_i$ ; скалярные величины  $a_i$  - весовые коэффициенты;  $i$  - номер эталона;  $\alpha \in (1, \infty)$  - характеристики используемой метрики; анализа сцены и формирования рекомендаций оператору по ДУ БЛА.

Существуют различные методы сравнения изображений. Широко известен метод непосредственного сравнения эталонного и текущего изображений, рассматриваемых как

двумерные функции яркости (или интенсивности),  $F(x,y)$ ,  $G(x,y)$  (1). В качестве оценки меры близости часто используются значения коэффициента корреляции (нормированного, морфологического), отличающегося различными формами представления.

Во многих случаях вместо операций над полутоновыми изображениями, целесообразно оперировать с кодированными (бинарными) изображениями, в которых значения яркости каждого дискретного элемента принимают значения  $\{0,1\}$ . При сравнении изображений такого типа удобно использование метода «оконной» фильтрации, одной из разновидностей которого являются алгоритмы согласованной фильтрации. «Окном», совпадающим по форме с распознаваемым объектом, осуществляется в этом случае процедура просмотра всего изображения с подсчетом количества пикселей со значениями единицы для каждого текущего положения «окна». Если количество превышает значение некоторого заранее заданного порога, то обнаружение объекта считается совершившимся, а центр «окна» отмечается меткой, равной единице.

Существенными преимуществами, с точки зрения вычислительной трудоемкости, обладают методы структурно-лингвистического типа, когда каждый объект на изображении после кодирования представляется некоторой структурой «языкового» типа. Структурно-лингвистические знаки представляют собой непроецируемые элементы (символы) структуры распознаваемого объекта и отношения между этими элементами. После совмещения эталонных и текущих изображений в результате логического вывода в продукционной модели представления знаний, формируемых заранее и описывающих отношения между объектами (явлениями, процессами), управляющими функциями, непосредственно формируются рекомендации оператору.

Таким образом, в базе знаний в виде продукции вида (2), хранятся правила определения способа сближения с НЦ, ракурса, высоты полета, дистанции выхода на НЦ, управляющие действия по решению конкретной целевой задачи.

$$(j) : S; L; A \rightarrow B; Q, \quad (2)$$

где  $j$  – номер продукции,  $S$  – класс ситуации,  $L$  – условие актуализации,  $A$ ,  $B$  – левая, правая части продукции,  $Q$  – указание, вводимые после реализации данной продукции.

Один из возможных вариантов функционирования интеллектуальной СППР при ДУ БЛА на НПУ может быть описан, следующей функциональной схемой (рис.3):

1) после выхода БЛА в заданный район наблюдения участка земной поверхности по

інформации от информационно-навигационной системы (ИНС) определяются расчетные значения углов ориентации и угловых скоростей линии визирования в вертикальной и горизонтальной плоскостях, наклонной дальности до заданного объекта (фрагмента изображения), в соответствии с которыми осуществляется выставка оптической оси датчика изображений в направлении расчетной точки целеуказания;

2) в расчетной точке траектории формируется текущее изображение объекта и района его расположения в зависимости от возможностей датчика изображений, скорости движения летательного аппарата и его маневренных возможностей, поставленной задачи;

3) текущее изображение передается по радиоканалу в реальном масштабе времени в СППР при ДУ БЛА на НПУ;

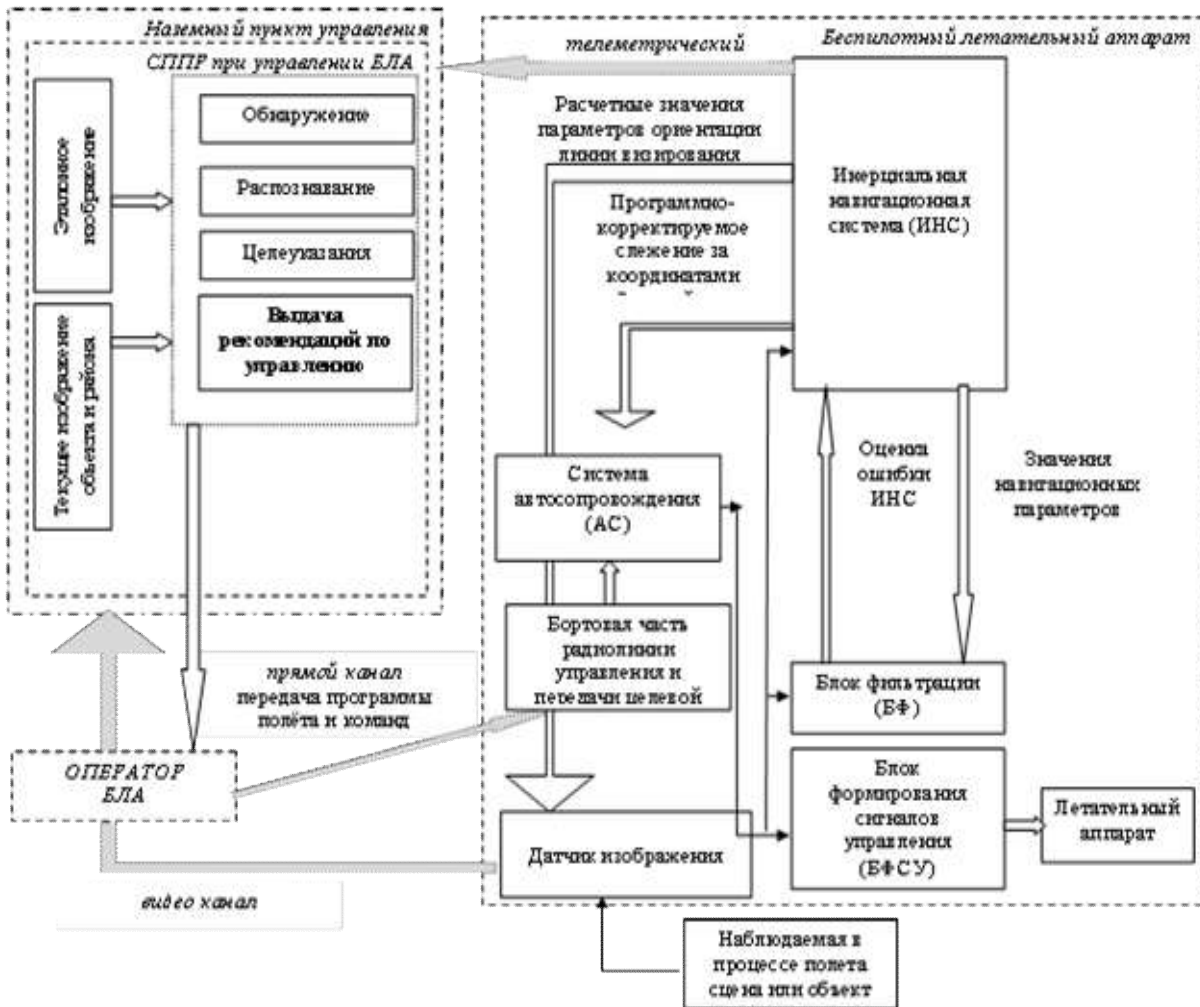


Рис. 3. Схема дистанционного управления БЛА с использованием интеллектуальной СППР

4) в СППР осуществляются операции фильтрация исходных изображений, выделения характерных черт, признаков, неформальных описаний и сопоставления с хранящимся в базе эталонным изображением, в результате которых решаются задачи обнаружения, распознавания и целеуказания заданного объекта и формирования рекомендаций оператору по ДУ БЛА в зависимости от поставленной задачи, при этом по информации от ИНС осуществляется программное управление датчиком изображений для непрерывной ориентации его оптической оси в направлении выбранной точки целеуказания;

5) реализация команд управления, поступивших от оператора БЛА, путем формирование сигналов управления;

6) переход в режим автосопровождения точки целеуказания;

7) допускается возможность повторения процедур обработки текущей информации и сопоставления его с эталонным изображением, выдачи рекомендаций оператору БЛА;

8) в случае срыва процесса автосопровождения управляющие сигналы формируются по информации от ИНС с учетом оценок, получаемых в блоке фильтрации.

Таким образом, использование интеллектуальной СППР при дистанционном управлении БЛА позволяет своевременно принимать обоснованные решения оператором в условиях неопределенности, противоречивости входной информации об объектах, ограниченных возможностях БЛА, сложной помеховой обстановки, маневренного, огневого, информационного противодействия со стороны наземной цели, значительного количества параметров, значения многих из которых явно неопределены. Только успешное решение логико-аналитических задач при дешифрировании аэроснимков, связанных с обнаружением, распознаванием, интерпретацией объектов, определением степени его важности, выработкой решения на выполнение управляющих действий, основанное на высокой квалификации, профессионализма, интуиции, дает возможность принять оперативное и качественное решение по управлению БЛА.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Разработка подхода по формированию рекомендаций для своевременного принятия обоснованных решений оператором при дистанционном управлении БЛА является актуальной проблемой. Оператор БЛА в современных условиях ведения боевых действий выполняет навигационные, интеллектуальные, аналитические функции, дешифрирует

информацию и является лицом, принимающим решение. Сложенные и продуманные действия оператора возможны только благодаря опыту, знаниям, профессиональному дешифрированию информации. Задача формирования команд при ДУ носит логико-аналитический характер, выработка единых правил определения программы, параметров полета в условиях неопределенности является трудноразрешимой задачей.

Одним из направлений, позволяющих существенно повысить эффективность решения задач разведки, целеуказания, корректировки артиллерийского огня, оценки результатов ударов является использование интеллектуальной СППР при ДУ БЛА на наземном пункте управления, что предусматривает решение частных задач.

Использование интеллектуальной СППР при управлении БЛА на НПУ позволяет своевременно принимать обоснованные решения оператором в условиях неопределенности, противоречивости входной информации об объектах, ограниченных возможностях БЛА, сложной помеховой обстановки, маневренного, огневого, информационного противодействия со стороны наземной цели, значительного количества параметров, значения многих из которых явно неопределены. Знания экспертов позволят сформировать единые правила по управлению БЛА при решении разных целевых задач в условиях неопределенности.

### Литература

1. Alimpiev A., Berdnik P., Korolyuk N., Korshets O., Pavlenko M. Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85), 2017. – p. 53-60. 2. Камінський В.В., Тюрін В.В., апаратів в сучасних збройних конфліктах та АТО на Сході України Корщець О.А. Аналіз застосування безпілотних літальних Наука і оборона- К: №3/4 – 2017 р. – с. 4-8. 3. Більчук В.М. Оцінка ефективності прийняття рішень щодо оперативного управління в умовах нестехастичної

невизначеності інформаційного забезпечення / В.М. Більчук, В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 1 (13). – С. 2-9. 4. Цепляева Т.П., Поздышева Е. М., Поштаренко, А.Г. Анализ применения беспилотных комплексов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. - Харьков: НАКУ «ХАИ», 2008. – Вып. 39. – С.149 – 154. 5. Соколов А.Ю. Алгебраическое моделирование лингвистических динамических систем // Проблемы управления и информатики. – 2000. - №2. – С. 141-148..

### ПІДХІД ЩОДО ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ ОБГРУНТОВАНИХ РІШЕНЬ ОПЕРАТОРОМ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ УПРАВЛІННІ БЕЗПІЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

<sup>1</sup>Олександр Юрійович Пермяков (доктор техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Наталія Олександрівна Корольок (канд. техн. наук)

<sup>3</sup>Олена Павлівна Шапошнікова (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

В статті розглядається система дистанційного управління БЛА. Задача формування команд при дистанційному управлінні носить логико-аналітичний характер, розробка єдиних правил визначення програми, параметрів польоту в умовах невизначеності є складнорозв'язуємим завданням. Недостатня ступінь адаптивності до зовнішніх умов та неможливість формування сигналів управління на борту БЛА на основі неповної, неточної вихідної інформації, незважаючи на достатній рівень вирішення

розрахункових задач, негативно впливає на якість вирішення заданого завдання. Пропонується для підвищення ефективності вирішення завдань розвідки, цілеуказання, корекції артилерійського вогню, оцінки результатів удару використання інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень (СППР). В основі функціонування інтелектуальної СППР лежить процедура сопоставлення поточного та еталонного зображення з подальшим формуванням рекомендацій оператору по управлінню БЛА. Запропоновано використання структурно-лінгвістичного підходу, коли кожен об'єкт на зображенні після кодування представляє собою деяку структуру "мовного" типу. Після узгодження еталонних та поточних образів в результаті логічного виведення в продукційній моделі представлення знань формуються рекомендації оператору.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, система підтримки прийняття рішень

## APPROACH ON FORMING OF RECOMMENDATIONS FOR ACCEPTANCE OF REASONABLE DECISIONS OPERATOR AT REMOTE CONTROL BY PILOTLESS AIRCRAFT

<sup>1</sup>Alexander Y. Permyakov (doctor of technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Natalia A. Korolyuk (Candidate of Technical Sciences)

<sup>3</sup>Olena P. Shaposhnikova (Candidate of Technical Sciences)

<sup>1</sup>National defence University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, in Kiev, Ukraine

<sup>2</sup>Kharkiv national Air Forces named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Kharkiv national Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

The article considers the system of remote control of UAV. The task of forming teams in remote control is logical and analytical, the development of common rules for determining the program, flight parameters under uncertainty is difficult to solve. Insufficient degree of adaptability to external conditions and the impossibility of forming control signals on board the UAV on the basis of incomplete, inaccurate initial information, despite the sufficient level of solving settlement problems, negatively affects the quality of the solution of a given task. It is proposed to increase the efficiency of solving the tasks of intelligence, target identification, correction of artillery fire, assessment of the impact of the use of the intellectual decision support system (DSS). At the heart of the functioning of intellectual DSS is the procedure of matching the current and reference image with the subsequent formation of recommendations to the operator for the management of UAV. The use of a structurally-linguistic approach is proposed, when each object in an image after coding represents a certain structure of the "linguistic" type. After reconciling the reference and current images as a result of the logical output in the production model of presentation of knowledge formed recommendations to the operator.

**Key words:** unmanned aerial vehicle, decision support system

## References

1. Alimpiev A., Berdnik P., Korolyuk N., Korshets O., Pavlenko M. Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85), 2017. – p. 53-60.
2. Kaminsky V.V., Tyurin VV, Korshchats O.A. Analysis of the use of unmanned aerial vehicles in modern armed conflicts and ATO in the East of Ukraine Science and Defense - K: No. 3/4 - 2017 - p. 4-8
3. Bilchuk V.M. Estimation of decision-making efficiency in operational management in the conditions of non-stochastic uncertainty of information support / V.M. Bilchuk, V.I. Tkachenko, Y.B. Smirnov // Systems of armament and military equipment. - 2008. - No. 1 (13). - S. 2-9.
4. Tseplyaeva T.P., Potsdysheva E.M., Mailartenko, A.G. Analysis of application of unmanned complexes // Open information and computer integrated technologies. - Kharkiv: KhAI "NAKU", 2008. - Issue. 39. - P. 149 - 154.
5. Sokolov A.Y. Algebraic Modeling of Linguistic Dynamic Systems // Problems of Management and Informatics. - 2000. - №2. - P. 141-148.

УДК 355.45

*Владислав Григорович Солонніков (доктор техн. наук, професор)**Олександр Володимирович Войтко (канд. військ. наук)**Олена Владиславівна Полякова**Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ГАРМОНІЧНОЇ ЛІНЕАРИЗАЦІЇ НЕЛІНІЙНОГО ЕЛЕМЕНТА В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ З БОРТОВОЮ ЦИФРОВОЮ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

*Розглянуті особливості проведення гармонічної лінеаризації нелінійного елемента в системах управління літальних апаратів з бортовою цифровою обчислювальною машиною (БЦОМ) в контурі управління. Труднощі вирішення цієї задачі ускладнюються тим, що система автоматичного управління з БЦОМ в контурі управління за своєю природою є безперервно-дискретною системою (БДС). Характерною рисою БДС є наявність переривання сигналу, діючого в системі, в одній або в декількох точках схеми при зберіганні безперервності вихідного сигналу системи. Доведено, що в залежності від взаємного розташування нелінійного і імпульсного елементів в структурній схемі БДС необхідно використовувати різні коефіцієнти гармонічної лінеаризації нелінійного елемента. Це дозволить більш повно врахувати характер можливих в системі періодичних режимів і підвищити точність визначення їх параметрів.*

*Ключові слова* : гармонічна лінеаризація, імпульсний елемент, нелінійний елемент, безперервно-дискретна система автоматичного управління.

### Вступ

Аналіз динаміки кількісного і якісного розвитку ЗПН збройних сил Російської Федерації дозволяє прийти до висновку, що у разі подальшої активізації бойових дій агресора на сході нашої країни ЗРВ Повітряних Сил Збройних Сил України прийдеться вести боротьбу не тільки з літаками та вертольотами, але й з великою кількістю інших типів ЗПН, до яких треба віднести високоточні засоби ураження, безпілотні літальні апарати (БпЛА) і балістичні ракети (БР). У зв'язку з цим коло задач, які вирішуються засобами ППО, суттєво розширюється, а центр тяжіння у боротьбі з повітряним противником зміщується в напрямку боротьби з безпілотними ЗПН, БР і бортовими високоточними засобами ураження [1,2]. Все це вимагає своєчасного удосконалення якісних параметрів бойових засобів ЗРВ

**Постановка проблеми.** Перспективним напрямком суттєвого покращення тактико-технічних характеристик зенітних ракетних комплексів (ЗРК) є використання у складі його бойових засобів бортових цифрових обчислювальних машин (БЦОМ), і не тільки у складі його наземних засобів, але і на борту зенітних керованих ракет (ЗКР). З використанням БЦОМ можна реалізувати більш складні закони управління, краще вирішувати задачі корекції і самонастроювання систем управління, підвищити їх точності характеристики.

Аналіз сучасного рівня застосування БЦОМ в складі бортової апаратури ЗКР свідчить, що

вже перші випадки використання цифрових обчислювачів для вирішення окремих задач підвищення якості роботи бортової апаратури управління польотом продемонстрували високу результативність такого підходу і забезпечили підвищення ефективності ЗРК. Однак очевидно, що для забезпечення суттєвого покращення тактико-технічних характеристик ЗКР доцільно використовувати БЦОМ для оптимізації функціонування не тільки однієї системи наведення, а всієї сукупності бортових систем управління польотом та підривом ракети, тобто забезпечити на базі БЦОМ – комплексну цифрову алгоритмізацію і оптимізацію процесу їх функціонування.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** Вирішення цієї проблеми стикається із суттєвими труднощами як теоретичного, так і практичного характеру. Теоретичні ускладнення пов'язані з тим, що розробка теорії синтезу систем автоматичного управління ЗКР з БЦОМ ще далека від завершення. Її основу складає теорія лінійних імпульсних (дискретних) систем автоматичного управління, яка була розвинута в роботах вчених різних країн світу в 60-70 роках минулого століття і вже сприймається як класична [3,4,5]. Ця теорія спирається на математичний апарат різницевих рівнянь і дозволяє проводити дослідження динамічних властивостей цифрових систем управління з урахуванням негативного впливу на динаміку системи квантування у часі управляючого сигналу. Однак такий підхід дає лише

ідеалізоване подання реальних процесів, що відбуваються у системах управління ЗКР з БЦОМ, тому що дозволяє досліджувати поведінку системи лише у дискретні моменти часу, що визначаються процесом квантування управляючого сигналу. Труднощі дослідження ускладнюються ще тим, що динаміка таких систем в загальному випадку описується не різницевидами, а диференціально-різницевидами рівняннями, які в загальному випадку є нелінійними.

Таким чином система автоматичного управління ЗКР з БЦОМ в контурі управління за своєю природою є безперервно-дискретною системою (БДС), тому що складається із безперервної і дискретної частин. Теорія БДС на сьогодні знаходиться на стадії формування.

Подальший розвиток цієї теорії при врахуванні досягнутого рівня розвитку цифрової обчислювальної техніки дозволить здійснити розробку алгоритмів функціонування бортових систем управління ЗКР в реальному масштабі польотного часу при врахуванні складності поточної сигнально-завадової обстановки, дозволить вирішити задачу максимізації умовної ймовірності ураження цілі зенітними ракетами, тобто одну із важливіших складових частин загальної проблеми підвищення ефективності ЗРК.

Характерною рисою БДС є наявність переривання сигналу, діючого в системі, в одній або в декількох точках схеми при зберіганні безперервності вихідного сигналу системи.

Бортові системи управління зенітних ракет у випадку використання у їх складі БЦОМ у відповідності до цієї класифікації будуть відноситися до класу безперервно-дискретних систем.

Із визначення класу БДС автоматичного управління слідує, що системи цього класу за своїми властивостями і характеристиками процесів, що в них протікають, займають проміжне місце між безперервними і дискретними системами. Оскільки теорія безперервних і дискретних систем розроблена досить повно, то цим і пояснюється той факт, що всі методи розрахунку БДС систем автоматичного управління, які пропонуються, зводяться до розробки штучних прийомів, що дозволяють з деякою похибкою здійснювати розв'язок сформульованої безперервно-дискретної задачі вже засвоєними методами теорії безперервних або ж дискретних систем автоматичного управління.

Однак застосування цих методів до систем безперервно-дискретного класу дозволяє отримати задовольняючі результати далеко не у всіх випадках. Суттєво частіше нехтування безперервно-дискретним характером процесів у системі, що проектується, призводить до суттєвих помилок в оцінюванні її динамічних властивостей.

Інтереси практики постійно вимагають більш адекватного відображення об'єкту дослідження, ще більш точної відповідності формалізованої моделі реальній дійсності.

Серед робіт, присвячених розв'язанню зазначеної проблеми, особливо суттєвими є роботи Г.М. Черкашина [6], які базуються на математичному апараті звичайного та дискретного перетворення Лапласа. Сумісне використання звичайного та дискретного перетворення Лапласа дозволяє вирішувати задачу проектування БДС більш повно і ефективно як графо-аналітичними методами, так і шляхом розрахунку на електронних обчислювальних машинах. Дана теорія розроблена для лінійних БДС простої і складної структури при детермінованих і випадкових вхідних впливах.

**Мета статті.** Для аналізу і синтезу систем управління ЗКР з БЦОМ, які в більшості випадків є нелінійними, лінійної моделі математичного опису процесів, що відбуваються у БДС, недостатньо. Необхідно обов'язково враховувати наявність у складі системи нелінійного елемента (НЕ) і його вплив на динаміку функціонування системи в цілому. В зв'язку з цим метою статті є обґрунтування особливостей проведення гармонічної лінеаризації НЕ в системах автоматичного управління ЗКР з БЦОМ в контурі управління, що дозволить використати позитивні можливості теорії лінійних БДС щодо більш точного опису процесу функціонування системи управління, а тобто і більш високого рівня досягнення кінцевого результату – ефективності ураження цілі.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Метод гармонічної лінеаризації для розв'язання задач автоматичного управління, був вперше застосований і надалі детально розроблений для нелінійних безперервних систем автоматичного управління. У відповідності до того, як в автоматичних системах все частіше стали використовуватися дискретні режими роботи, спостерігалися спроби застосування цього методу для цілей дослідження періодичних процесів у нелінійних імпульсних системах автоматичного управління. Однак істотні результати в застосуванні методу гармонічної лінеаризації до імпульсних систем були отримані тільки після розробки математичного апарату дискретного перетворення Лапласа. У питанні застосування методу гармонічного балансу до імпульсних систем особливо значною вважається робота Я.З.Ципкіна [3]. У цій роботі автор пропонує гармонічну лінеаризацію безінерційного НЕ проводити при припущенні, що решітчаста функція сигналу на виході лінійної безперервної частини системи змінюється за синусоїдальним законом, у той час як сам сигнал може істотно відрізнятись від

синусоїдального. Висування таких вимог до фільтруючих властивостей лінійної безперервної частини системи пояснюється тим, що математичний опис процесів, що відбуваються в імпульсній системі, за допомогою дискретного перетворення Лапласа припускає розгляд вихідної координати системи лише у дискретні моменти часу

$$t = nT + \varepsilon T, \quad 0 \leq \varepsilon \leq 1,$$

жорстко пов'язані з моментами замикання імпульсного елемента (ІЕ) системи. Це у свою чергу відповідає введенню в структурну схему нелінійної імпульсної системи на її виході "уявного" ключа (рис. 1, а).

Реакція ІЕ  $y = F(x)$  на синусоїдальну решітчасту  $x(nT) = A \sin(\omega_1 nT + \varphi)$  функцію є також решітчастою періодичною функцією, але крива, що її обгинає, не відповідає гармонічному закону зміни процесу. Така періодична решітчаста функція, на відміну від безперервної, може бути представлена не рядом Фур'є, а тригонометричним багаточленом з кінцевим числом членів

$$y(nT) = \sum_{\nu=0}^N \left( a_{\nu} \cos \nu_n \frac{\pi}{N} + b_{\nu} \sin \nu_n \frac{\pi}{N} \right), \quad (1)$$

$$\text{де } N = \begin{cases} \frac{M}{2} & \text{при парному } M; \\ \frac{M-1}{2} & \text{при непарному } M; \end{cases} \quad \text{а } M = \frac{\omega}{\omega_1} = \frac{T_1}{T} \geq 2.$$

Коефіцієнти цього багаточлена визначаються формулами

$$\alpha_0 = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(x), \quad a_{\nu} = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(x) \cos \nu_k \frac{2\pi}{M}, \quad (2)$$

при  $\nu = 1, 2, \dots, N-1$ .

$$\alpha_{\nu} = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(x) \cos k\pi$$

$$b_{\nu} = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F(x) \sin \nu_k \frac{2\pi}{M}$$

при  $\nu = N, N+1, \dots, M$ , якщо

$$M = 2N + 1.$$

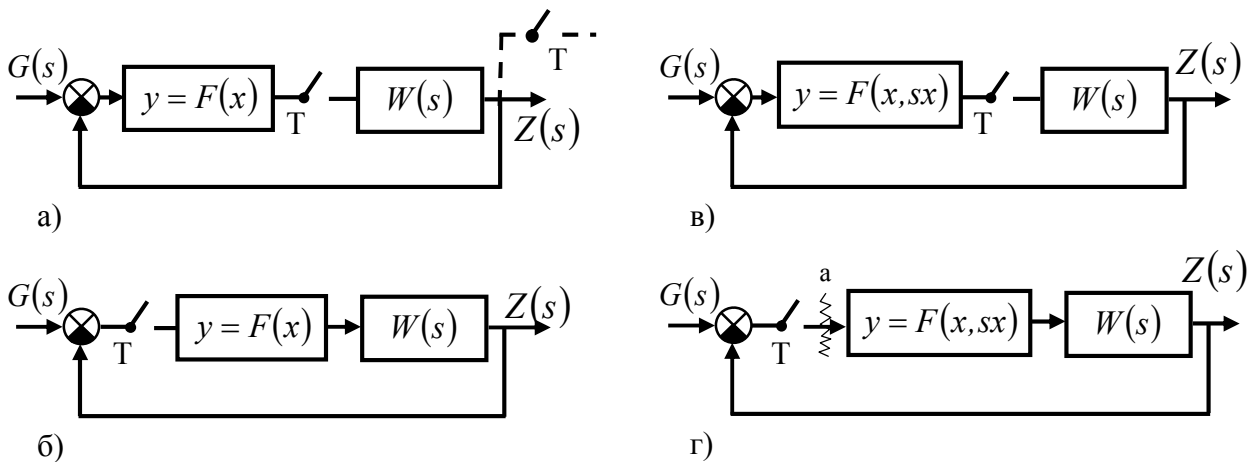


Рис. 1. Можливі варіанти структурних схем одноконтурних БДС із одним імпульсним і одним нелінійним елементом.

Введення додаткового ІЕ дозволяє формально у всіх випадках лінеаризацію ІЕ системи проводити при сформованому вище припущенні про гармонійний характер зміни решітчастої функції вхідного сигналу ІЕ, однак з іншого боку введення "уявного" ІЕ відповідає спрощенню математичного опису досліджуваної системи, при якому неминуча втрата частини інформації про динамічні властивості системи. Втрата інформації про динамічні властивості системи відбувається за рахунок нехтування безперервно-дискретним характером протікання процесів у системах автоматичного управління при переході від безперервного описання процесу на виході системи до дискретного, тобто саме в момент введення в систему "уявного" ключа. Введення ІЕ на виході системи відповідає переводу системи диференціальних і різницевих рівнянь до системи

різницевих рівнянь. Як показано в роботі [6], навіть для лінійних систем така заміна приводить до неможливості досліджувати деякі особливості динаміки БДС. Для систем нелінійних рівнянь це зауваження отримує ще більше значення, тому що від точності описання вхідного сигналу ІЕ залежить і результат лінеаризації.

Покажемо, що застосування чисто дискретного підходу в процесі дослідження нелінійних БДС часто приводить до невірного розрахунку коефіцієнтів гармонійної лінеаризації і за рахунок цього до значних помилок в оцінці динамічних властивостей системи. Особливо наочно це явище можна переглянути в нелінійних БДС зі структурною схемою, зображеної на рис.1 а. Попередньо зауважимо, що оскільки у формули для визначення коефіцієнтів гармонійної лінеаризації із усього частотного спектра



вихідного сигналу НЕ входить лише перша гармоніка, то особливо важливим питанням для точності проведення всієї лінеаризації є точність визначення параметрів цієї гармоніки в реальному вихідному сигналі НЕ системи. Якщо лінеаризацію НЕ  $t = F(x)$  в системі із зазначеною структурною схемою проводити на підставі припущення про зміну за гармонічним законом решітчастої функції вихідного сигналу безперервної лінійної частини системи, то до формування вихідного сигналу НЕ потрібно залучати лише дискретні значення його вхідного сигналу. Оскільки розглянутий НЕ є безінерційним, то вихідний сигнал нелінійності при цьому припущенні буде являти собою також послідовність дискрет. Його перша гармоніка, відповідно до формули (2), визначається виразом

$$y_1^* = \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{2\pi}{M} + \varphi \right) \right] \sin k \frac{2\pi}{M} \sin \frac{2\pi}{M} + \frac{2}{M} \sum_{k=0}^{M-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{2\pi}{M} + \varphi \right) \right] \cos \frac{2\pi}{M} \sin \frac{2\pi}{M}, \quad (3)$$

а коефіцієнти гармонічної лінеаризації і еквівалентний комплексний коефіцієнт підсилення НЕ розраховуються по формулах

$$q(A, N, \varphi) = \frac{2}{NA} \sum_{n=1}^{N-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] \sin n \frac{\pi}{N}; \quad (4)$$

$$q'(A, N, \varphi) = \frac{2}{NA} \sum_{n=1}^{N-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] \cos n \frac{\pi}{N}; \quad (5)$$

$$I^*(A, N, \varphi) = \frac{2}{NA} \sum_{n=1}^{N-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] e^{-j \left( \frac{\pi}{N} n + \varphi \right)}. \quad (6)$$

Однак цілком очевидно, що за рахунок інерційних властивостей лінійної безперервної частини системи реальний сигнал на виході БДС автоматичного управління зі структурною схемою (рис. 1, а) є безперервною періодичною функцією часу, виділення першої гармоніки якої потрібно проводити шляхом розкладання цієї функції в ряд Фур'є. Відповідно до цього перша гармоніка вихідного сигналу НЕ має вигляд

$$\mu = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F[A \sin(\omega t + \varphi)] \sin \omega t d\omega t \sin \omega t + \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F[A \sin(\omega t + \varphi)] \cos \omega t d\omega t \cos \omega t$$

Порівняємо вирази для амплітуди перших гармонік ідеалізованого і реального сигналу системи

$$\alpha_1^* = \frac{2}{N} \sum_{n=1}^{N-1} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] \sin \frac{\pi}{N}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} F[A \sin(\omega t + \varphi)] \sin \omega t d\omega t$$

З порівняння цих виразів зрозуміло, що амплітуди  $\alpha_1^*$  і  $\alpha_1$  відмінні за величиною. Причому розбіжність цих амплітуд тим істотніше,

чим менше значення  $N$ . По мірі збільшення відносного півперіоду коливань  $N$  амплітуда  $\alpha_1^*$  буде прагнути до значення амплітуди  $\alpha_1$ . Оскільки

$$N = \frac{T_l}{2T},$$

НЕ еквівалентним комплексним коефіцієнтом передачі  $I^*(A, N, \varphi)$ , буде тим менше, чим менше період повторення ІЕ системи, і тим більше, чим більше частота передбачуваного синусоїдального сигналу на вході НЕ, що підпадає під лінеаризацію.

Розрахунки коефіцієнтів гармонічної лінеаризації

свідчать, що розбіжність в значеннях коефіцієнтів, розрахованих на основі наведених виразів, буде невідчутною лише для значень  $N \geq 5$ . При менших значеннях  $N$  ці коефіцієнти можуть відрізнятися дуже істотно.

Апроксимація НЕ системи еквівалентним комплексним коефіцієнтом передачі  $I^*(A, N, \varphi)$  в розглянутій структурній схемі взагалі неприпустима, якщо НЕ системи описується рівнянням  $y = F(x, sx)$ . Це пояснюється тим, що

коефіцієнт передачі  $I^*(A, N, \varphi)$  не враховує характер зміни вхідного сигналу НЕ в проміжках між моментами замикання ІЕ системи. Оскільки НЕ, поданий рівнянням  $y = F(x, sx)$ , має власну динаміку, то від його вихідного сигналу істотно залежить характер зміни його вхідного сигналу в кожний момент часу, а не тільки в момент замикання ІЕ системи. Вихідний сигнал НЕ при цьому є безперервною функцією часу навіть у випадку надходження на вхід НЕ сигналу, що дискретно змінюється в часі. Це ще раз підтверджує, що здійснення лінеаризації нелінійних БДС потрібно здійснювати при строгому урахуванні безперервно-дискретного характеру протікання процесів у таких системах шляхом використання при описанні останніх як диференціальних, так і різницевих рівнянь, а у випадку дослідження системи в частотній області – безперервного і дискретного перетворення Лапласа. Такий не спрощений опис динамки БДС дозволить здійснювати лінеаризацію НЕ з урахуванням реального характеру зміни сигналу на вході і виході НЕ при єдиному припущенні про гармонічний закон зміни вихідного сигналу лінійної безперервної частини системи.

Серед усього різноманіття одноконтурних структурних схем нелінійних БДС автоматичного управління, що містять один або декілька ідеальних ІЕ без екстраполятора, можна виділити тільки чотири варіанти схем, що відрізняються характером зміни сигналу (безперервний, дискретний) на вході НЕ. (рис. 1, а, б, в, г). Сигнал на вході НЕ, що належить БДС, буде змінюватися дискретно або безперервно залежно від місця розташування ІЕ в структурній схемі системи. У зв'язку із цим сигнал на вході НЕ при заміні його еквівалентним лінійним



потрібно розглядати як синусоїдальну решітчасту функцію тільки в тому випадку, коли ІЕ розташований безпосередньо перед нелінійним. Саме цей випадок ілюструють структурні схеми (рис. 1, б, г). Характер зміни вихідного сигналу НЕ залежить від характеру зміни його вхідного сигналу, а також наявності або відсутності властивості інерційності у НЕ системи. Таким чином, у трьох із чотирьох можливих типових структурних схем (рис. 1, а, в, г) вихідний сигнал НЕ потрібно розглядати як безперервну функцію часу.

Для правильного формування коефіцієнтів гармонічної лінеаризації потрібно визначити вираз для першої гармоніки вихідного сигналу НЕ представленням цього сигналу:

розкладанням у ряд Фур'є, якщо  $y = F(t)$ ;

тригонометричним багаточленом, якщо  $y = F(nT)$ .

Відповідно до цього гармонічну лінеаризацію НЕ  $y = F(x, sx)$ , що входить у БДС зі структурною схемою, яка зображена на рис. 1, в, потрібно проводити за допомогою звичайних коефіцієнтів гармонічної лінеаризації

$$q(A, \omega) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \omega t, A \omega \cos \omega t) \sin \omega t d\omega t$$

;

$$q'(A, \omega) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \omega t, A \omega \cos \omega t) \cos \omega t d\omega t$$

Еквівалентний комплексний коефіцієнт передачі НЕ при цьому визначається виразом

$$W(A, j\omega) = \sqrt{q^2(A, \omega) + q'^2(A, \omega)} e^{j \arctg \frac{q'(A, \omega)}{q(A, \omega)}}$$

Коефіцієнти гармонічної лінеаризації НЕ, описуваного тим же рівнянням  $y = F(x, sx)$ , але такого, що входить в структурну схему (рис. 1, г), доцільно здійснювати теж шляхом розкладання вихідного сигналу НЕ в ряд Фур'є. Однак за рахунок того, що для розглянутої структурної схеми вхідний сигнал НЕ являє собою гармонічну решітчасту функцію, коефіцієнти гармонічної лінеаризації і еквівалентний комплексний коефіцієнт передачі НЕ є в цьому випадку функціями амплітуди  $A$ , частоти  $\omega$  вхідного сигналу НЕ, а також відносного півперіоду  $N$ . Це значно відрізняє отримані коефіцієнти

$$q(A, \omega, N, \varphi) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right), A \omega \cos \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] \sin \omega t d\omega t$$

$$q'(A, \omega, N, \varphi) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F \left[ A \sin \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right), A \omega \cos \left( n \frac{\pi}{N} + \varphi \right) \right] \cos \omega t d\omega t$$

$$I(A, j\omega, N, \varphi) = \sqrt{q^2(A, \omega, N, \varphi) + q'^2(A, \omega, N, \varphi)} e^{j \arctg \frac{q'(A, \omega, N, \varphi)}{q(A, \omega, N, \varphi)}}$$

від коефіцієнтів гармонічної лінеаризації, що залежать тільки від двох параметрів (амплітуди і частоти) вхідного сигналу НЕ.

### Література

- Протидія безпілотним авіаційним комплексам: Методичний посібник. К.: НУОУ, 2016.-28 с.

При гармонічній лінеаризації НЕ  $y = F(x)$ , що належить структурній схемі (рис. 1,а), потрібно застосовувати наступні розрахункові формули

$$q(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \omega t) \sin \omega t d\omega t$$

$$q'(A) = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \omega t) \cos \omega t d\omega t$$

$$W(A) = \sqrt{q^2(A) + q'^2(A)} e^{j \arctg \frac{q'(A)}{q(A)}}$$

Ці коефіцієнти гармонічної лінеаризації є функціями тільки амплітуди вхідного сигналу НЕ.

У структурній схемі БДС автоматичного управління (рис. 1, б), у якій ІЕ безпосередньо передує нелінійному зі статичною характеристикою  $y = F(x)$ , потрібно вводити в розгляд еквівалентний комплексний коефіцієнт передачі  $I^*(A, N, \varphi)$  (6) і коефіцієнти гармонічної лінеаризації, що визначаються формулами (4), (5). Застосування цих коефіцієнтів у цьому випадку правильно відображає дискретний характер протікання процесів на вході та виході не лінійності [7].

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Виходячи з викладеного, можна стверджувати, що при проведенні гармонічної лінеаризації НЕ в БДС необхідно враховувати його розміщення у структурній схемі системи відносно ІЕ та лінійної частини системи, а також наявність чи відсутність інерційних властивостей у самого НЕ. В залежності від цього для БДС з одним нелінійним і одним імпульсним елементом можливі чотири варіанти структурних схем одноконтурних БДС, для кожної з яких потрібно застосовувати різні коефіцієнти гармонічної лінеаризації. Це дає змогу враховувати специфіку динамічних властивостей конкретних нелінійних НДС.

З використанням запропонованих коефіцієнтів гармонічної лінеаризації в подальшому планується отримати рівняння, які описують вільні періодичні процеси, що можуть виникати в нелінійних БДС автоматичного управління. Для дослідження періодичних процесів в нелінійних БДС планується розробити методику, яка дозволить вирішувати це завдання графо-аналітичним методом з використанням логарифмічних частотних характеристик елементів структурної схеми системи або чисельними методами розрахунку на ПЕОМ. Методика буде враховувати особливості динаміки БДС, значно полегшить сам процес виявлення в системі можливих періодичних процесів і дозволить визначати параметри знайдених процесів з достатньою для практики інженерних розрахунків точністю.

2. Застосування БПЛА в конфліктах сучасності / [Ю.К.Зіатдінов, М.В.Куклінський, С.П.Мосов, А.Л.Фещенко та ін.]; під ред. С.П.Мосова. – К.:2013. – 248 с. 3. **Цыпкин Я.З.** Теория линейных импульсных систем. – М.:Физматгиз, 1963.- 968 с. 4. **Ту Ю.Т.** Цифровые и импульсные системы автоматического управления.-М Машиностроение, 1964.- 793 с. 5. **Кузин Л.Т.** Расчет и проектирование дискретных систем управления.- М.: Матгиз, 1963.- 683 с. 6. **Черкашин Г.М.,**

**Бахшалієв А.Ш., Рюмшин М.О.** Розрахунок безперервно-дискретних систем частотним методом.- К.: Техніка, 1992.- 275 с. 7. **Солонников В.Г.** О процедуре обеспечения отсутствия в синтезируемой непрерывно-дискретной системе автоматического управления периодических процессов. В кн. “Стохастические модели систем“. Київ: АН УРСР, ВА ППО СВ, 1994, 26-38 с.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНОГО ЭЛЕМЕНТА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С БОРТОВОЙ ЦИФРОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ

*Владислав Григорьевич Солонников (доктор технических наук, профессор)  
Александр Владимирович Войтко (канд. воен. наук)  
Елена Владиславовна Полякова*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*Рассмотрены особенности проведения гармонической линеаризации нелинейного элемента в системах управления летательных аппаратов с бортовой вычислительной машиной (БЦВМ) в контуре управления. Трудности решения этой задачи усложняются тем, что система автоматического управления с БЦВМ в контуре управления по своей природе является непрерывно-дискретной системой (НДС). Характерной чертой НДС является наличие прерывания сигнала, действующего в системе, в одной или нескольких точках схемы при сохранении непрерывности выходного сигнала системы. Доказано, что в зависимости от взаимного расположения нелинейного и импульсного элементов в структурной схеме НДС необходимо использовать разные коэффициенты гармонической линеаризации нелинейного элемента. Это позволит более полно учесть характер возможных в системе периодических режимов и повысить точность определения их параметров.*

*Ключевые слова:* гармоническая линеаризация, импульсный элемент, нелинейный элемент, система автоматического управления.

## FEATURES OF HARMONIC LINEARIZATION OF NONLINEAR ELEMENT IN CONTROL SYSTEMS OF AERIAL VEHICLES WITH THE DIGITAL COMPUTER ONBOARD

*Vladislav G. Solonikov (Doctor of Technical Science, Professor)  
Olexandr V.Voitko (Candidate of Military Sciences)  
Elena V. Polykova*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*Reviewed features of harmonic linearization of nonlinear element in control systems with the digital computer onboard (DCO) in the circuit of control. Difficulties of this task solution become more complicated because of the system of automatic control with DCO in the circuit of control naturally is continuous-discrete system (CDS). The main characteristic of CDS is signal interruption in one or many points of the system with saving uninterrupted outgoing system signal. It was proved that depending on mutual arrangement of nonlinear and impulse elements in the structure of CDS it is necessary to use different coefficients of harmonic linearization of nonlinear element. This will allow more closely take in account of possible system periodical modes and increase the precision of its parameters determination.*

*Key words:* harmonic linearization, impulse element, nonlinear element, continuous-discrete system of automatic control.

## References

1. Counteraction to unmanned aerial complexes: Methodic manual. K.: NUOU, 2016.-28 p. 2. Use of UAV in modern conflicts / [Y.Ziatdinov, M.Kuklinskiy, S.Mosov, A.Feshenko etc.]; edition of S.Mosov. – K.:2013. – 248 p. 3. **Y. Tsyipkin.** Linear impulse systems theory. – М.:Fizmatgiz, 1963.- 968 p. 4. **Y.Tu.** Digital and impulse systems of automatic control.-М. Mashinostroenie, 1964.- 793 p. 5. **L.Kuzyin.** Estimation and projecting of discrete

control systems.- М.: Mattiz, 1963.- 683 p. 6. **G.Cherkashyin, A. Bakhshaliev, M.Riumshin.** Estimation of continuous-discrete systems by frequency method. - K.: Technica, 1992.- 275 p. 7. **V.Solonnikov.** About the procedure of ensuring the absence of automatic control of periodical processes in continuous-discrete synthesized system. In book. “Stochastic system models“. K: AS UkrSSR, MA AD LF, 1994, 26-38 p.

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАТРАТ НА ДОСТАВКУ ВИТРАТНИХ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СПОЖИВАЧУ З УРАХУВАННЯМ СВОЄЧАСНОСТІ ЇХ ДОСТАВКИ

Статтю присвячено розробленню методичного підходу до мінімізації затрат під час перевезення витратних матеріально-технічних засобів (МтЗ) від кількох постачальників до кількох споживачів цих засобів з урахуванням забезпечення такого показника ефективності системи тилового забезпечення військ, як своєчасність доставки витратних матеріально-технічних засобів (ракет і боєприпасів, пально-мастильних матеріалів, військово-технічного майна, продовольства тощо) військам під час операції (бойових дій) транспортними засобами певного виду. У статті проведено аналіз існуючих методів обґрунтування вимог до транспортного забезпечення військ під час операції (бойових дій), визначено їх недоліки. У дослідженні розглянуто схему забезпечення військ витратними МтЗ, у якій декілька постачальників забезпечують декілька споживачів матеріально-технічних засобів. При цьому наявність запасів МтЗ у постачальників та потреба в них споживачів є у цій статті вихідними даними. Для вирішення питання щодо оптимізації затрат на доставку витратних матеріально-технічних засобів від постачальників до споживачів сформульовано та розв'язано оптимізаційну задачу, визначено умови-обмеження, які повинні враховуватися під час проведення розрахунків.

**Ключові слова:** вартість, матеріально-технічні засоби, постачальник, своєчасна доставка матеріально-технічних засобів, споживач, транспорт.

### Вступ

Необхідною умовою виконання бойових завдань з'єднаннями (частинами) Збройних Сил є своєчасне і в повному обсязі забезпечення їх витратними матеріально-технічними засобами (ракетами і боєприпасами, пально-мастильними матеріалами, військово-технічним майном, продовольством тощо). Завдання щодо своєчасного забезпечення військ (сил) МтЗ покладається на систему тилового забезпечення.

**Постановка проблеми.** Запаси витратних МтЗ для ведення бойових дій з'єднаннями (частинами, підрозділами) розподіляються за рівнями ієрархії (ешелонуються). Під час бойових дій виникає необхідність у їх підвезенні з метою забезпечення потреб військ (сил). Несвоєчасне підвезення МтЗ призводить до невиконання з'єднаннями (частинами, підрозділами) бойових завдань, які їм поставлені. Важливе значення при цьому має економічна доцільність обраного варіанта доставки запасів МтЗ.

Отже, з огляду на зазначене, визначення економічно доцільного порядку підвезення МтЗ з метою своєчасного забезпечення ними військ (сил) є важливим актуальним завданням, правильне вирішення якого створює умови для виконання військами (силами) бойових завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуюча методична база обґрунтування вимог до своєчасності підвезення у війська (сили) витратних МтЗ свідчить про те, що цьому питанню приділялась значна увага [1–3]. У той

же час, аналіз літератури показує, що в останніх дослідженнях методи визначення вимог щодо своєчасності забезпечення військ (сил) МтЗ ґрунтуються на використанні систем масового обслуговування. Але можливі й інші підходи. Один з таких підходів буде розглянуто у статті.

**Метою статті** є висвітлення методичного підходу до оптимізації затрат на доставку витратних МтЗ споживачу з урахуванням своєчасності їх доставки.

### Виклад основного матеріалу дослідження

На рис.1 наведено загальну схему забезпечення військ витратними МтЗ шляхом транспортування запасів МтЗ від постачальників  $A_i$  споживачам  $B_j$ .

При цьому процес забезпечення споживачів МтЗ характеризується такими показниками:  $x_{ij}$  – вантаж, що завантажується на транспортні засоби (ТЗ) пункту забезпечення  $A_i$  та відправляється у пункт  $B_j$  одним рейсом;  $c_{ij}$  – питомі затрати на перевезення однієї тонни вантажу з  $i$ -го пункту  $A_i$  забезпечення в  $j$ -й пункт споживання  $B_j$ ;  $g$  – номінальна вантажопідйомність (т) одного ТЗ;  $n_i$  – кількість ТЗ у пункті забезпечення  $A_i$ ;  $S_{ij}$  – віддалення пункту споживання  $B_j$  від пункту забезпечення  $A_i$ ;  $v_{ij}$  – швидкість руху ТЗ, що залучаються  $i$ -ми пунктами для забезпечення  $j$ -х споживачів;  $b_j$  – кількість МтЗ, які потрібно поставити в  $j$ -й пункт споживання;  $Q_i$  – загальний запас МтЗ на  $i$ -му пункті забезпечення.

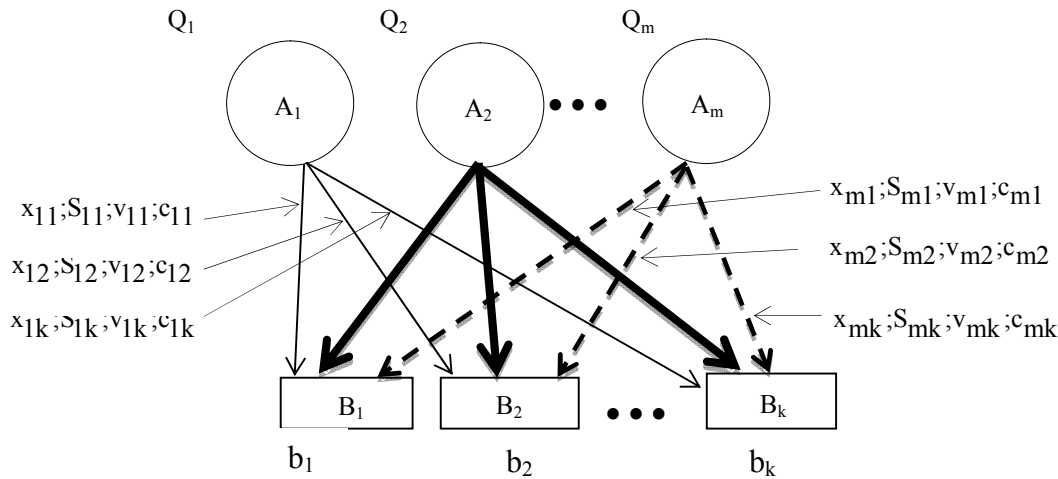


Рис. 1. Схема забезпечення військ витратними МтЗ

Одним з основних показників ефективності функціонування системи забезпечення військ під час операції є своєчасність доставки пункту споживання  $B_j$  необхідного вантажу  $b_j$ , який визначається через величину  $T_j$  – час, що витрачається на підвезення з усіх пунктів забезпечення ( $i=1, m$ ) необхідного вантажу  $b_j$  до пункту споживання  $B_j$ .

Проведемо розрахунки стосовно своєчасності забезпечення військ витратними МтЗ певним наземним транспортом.

За умови незначної відмінності значень швидкості руху ТЗ  $v_{ij}$ , а також значень віддаленості пункту споживання  $B_j$  від пункту забезпечення  $A_i$  витратними МтЗ  $S_{ij}$  витрачений час на підвезення вантажу  $Q_j$  до пункту споживання  $B_j$  одним рейсом може визначатись як середнє значення швидкості  $v_{ij}$  ТЗ, які задіяні для підвезення витратних МтЗ пункту споживання  $B_j$  за  $j$ -м напрямком:

$$v_{j\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^m v_{ij}}{m}, \quad j = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Аналогічно  $S_{j\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{ij}}{m}, \quad j = \overline{1, k}. \quad (2)$

З огляду на зазначене, час  $t_{j\text{cp}}$ , який витрачається на підвезення вантажу до пункту постачання  $B_j$  одним рейсом усіма пунктами забезпечення, розраховується таким чином:

$$t_{j\text{cp}} = \frac{S_{j\text{cp}}}{v_{j\text{cp}}} = \frac{\sum_{i=1}^m S_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_{ij}}. \quad (3)$$

Якщо для підвезення всього необхідного вантажу  $b_j$  до пункту споживання  $B_j$  потрібно задіяти більшу кількість транспорту, ніж є в наявності у всіх пунктів забезпечення  $n_j < n_{j\text{зад}}$ , то слід здійснити кілька рейсів  $r_j$ .

Кількість додаткових рейсів  $r_j$  (окрім першого) розраховується так:

$$r_j = \frac{b_j - \sum_{i=1}^m g \cdot n_{ij}}{\sum_{i=1}^m g \cdot n_{ij}} = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^m g \cdot n_{ij}} - 1 = \frac{b_j}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} - 1, \quad (4)$$

при цьому на здійснення першого рейсу витрачається час  $t_{j\text{cp}}$ , а під час наступних (рух до пункту споживання та у зворотному напрямку) витрачається час  $2 \cdot t_{j\text{cp}}$ .

Розрахунок  $T_j$  проведемо так:

де  $T_{j\text{вим}}$  – час, не пізніше якого пункт споживання  $B_j$  повинен бути забезпечений усіма пунктами забезпечення необхідною кількістю  $b_j$  витратних МтЗ.

Ураховуючи, що від усіх пунктів забезпечення в  $j$ -му напрямку доставляється вантаж  $Q_j$  одним рейсом від кожного пункту забезпечення, повинна виконуватись умова:

$$Q_j = \sum_{i=1}^m Q_{ij} = \sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{i=1}^m g \cdot n_{ij} \geq \frac{2 \cdot b_j \cdot t_{j\text{cp}}}{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{cp}}} \quad (6)$$

або

$$\frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{cp}}}{2 \cdot t_{j\text{cp}}} \cdot \sum_{i=1}^m x_{ij} = \frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{cp}}}{2 \cdot t_{j\text{cp}}} \cdot Q_j \geq b_j, \quad (7)$$

яка зв'язує кількість МтЗ  $Q_j$ , що перевозиться усіма пунктами забезпечення (по одному рейсу від кожного пункту) в інтересах  $j$ -го споживача, з кількістю виконаних рейсів  $(1+r)$  для

задоволення потреби ( $b_j$ )  $j$ -го пункту споживання  $V_j$  за час  $T_j$ , не пізніше заданого  $T_{j\text{вим}}$  ( $T_j \leq T_{j\text{вим}}$ ).

Виконання зазначених умов забезпечить своєчасне ( $T_j \leq T_{j\text{вим}}$ ) підвезення пункту  $V_j$  необхідних йому витратних МтЗ у кількості  $b_j$  із усіх пунктів забезпечення за один або декілька рейсів.

Якщо доставка необхідного для  $j$ -го споживача вантажу  $b_j$  здійснюється всіма пунктами забезпечення за один рейс від кожного пункту забезпечення, тобто якщо  $Q_j = b_j$ , то:

$$T_{j\text{вим}} + t_{j\text{сп}} = 2 \cdot t_{j\text{сп}} \quad (8)$$

або

$$T_j = t_{j\text{сп}} = \frac{S_{j\text{сп}}}{v_{j\text{сп}}} \quad (9)$$

При цьому сумарний обсяг вантажів, що відправляються із усіх пунктів забезпечення, не може перевищувати наявного запасу витратних МтЗ у пунктах забезпечення.

У загальному випадку у разі здійснення  $(1+r_j)$  рейсів повинна виконуватись така умова:

$$(1+r_j) \cdot \sum_{i=1}^m x_{ij} = (1+r_j) \cdot \sum_{i=1}^m g \cdot n_{ij} \leq \sum_{i=1}^m Q_i \quad (10)$$

або

$$\sum_{j=1}^k b_j = (1+r_j) \cdot \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \sum_{i=1}^m Q_i \quad (11)$$

Для своєчасного задоволення потреби всіх споживачів у витратних МтЗ усіма пунктами забезпечення сумарний обсяг вантажів, що відправляються для цього з усіх пунктів забезпечення, не може перевищувати наявного запасу МтЗ на цих пунктах забезпечення.

Найбільш економічний варіант підвезення МтЗ може бути визначений шляхом розв'язання задачі лінійного програмування за критерієм мінімуму затрат під час перевезення МтЗ.

Для цього використаємо узагальнені питомі затрати  $c_{ij}$  під час перевезення однієї тонни вантажу.

Загальні затрати  $C$  під час підвезення необхідного вантажу дорівнюватимуть:

$$\begin{aligned} \min C &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \left( \frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{сп}}}{2 \cdot t_{j\text{сп}}} \right) \cdot c_{ij} \cdot x_{ij} = \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k \left( \frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{сп}}}{2 \cdot t_{j\text{сп}}} \right) \cdot c_{ij} \cdot g \cdot n_{ij}. \end{aligned} \quad (12)$$

При цьому повинні виконуватись такі умови-обмеження:

забезпечення підвезення в пункт  $V_j$  необхідних йому витратних МтЗ у кількості  $b_j$  з усіх пунктів забезпечення:

$$\frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{сп}}}{2 \cdot t_{j\text{сп}}} \cdot \sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j; \quad (13)$$

забезпечення своєчасної ( $T_j \leq T_{j\text{вим}}$ ) доставки необхідного вантажу в  $j$ -й пункт споживання:

$$t_{j\text{сп}} \cdot \left( \frac{2 \cdot b_j}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} - 1 \right) \leq T_{j\text{вим}}. \quad (14)$$

При цьому кількість вантажів, що доставляються з пункту  $A_i$  всім споживачам, не повинна перевищувати наявного запасу  $Q_i$  МтЗ у цьому пункті:

$$\sum_{j=1}^k \left( \frac{T_{j\text{вим}} + t_{j\text{сп}}}{2 \cdot t_{j\text{сп}}} \right) \cdot x_{ij} \leq Q_i, \quad (15)$$

а кількість задіяного в одному рейсі транспорту пункту забезпечення  $A_i$  не повинна перевищувати наявної в нього кількості ТЗ  $n_i$ :

$$n_i \text{ зад} = \sum_{j=1}^k \frac{x_{ij}}{g} = \frac{1}{g} \cdot \sum_{j=1}^k x_{ij} \leq n_i. \quad (16)$$

## Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонований методичний підхід дозволяє забезпечити своєчасну доставку витратних МтЗ з'єднанням (частинам) з мінімальними затратами на їх транспортування.

Перспективами подальших досліджень є використання запропонованого підходу під час удосконалення методики обґрунтування вимог до інших показників системи тилового забезпечення військ під час операції (бойових дій).

оборони України; кер. Шуєнкін В. О.; викон.: Мовчан О. М., Трегубенко С. С. та ін. Київ: ЦНДІ ЗС України, 2013. 147 с. № ДР 0101U001487.

**3 Трегубенко С. С.** Методологічні основи обґрунтування вимог до системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України: дис. ... доктора військ. наук: 20.01.05 / Трегубенко Станіслав Семенович. Київ: ЦНДІ ЗС України, 2016. 387 с.

## Література

**1 Гриневич В. В.** Обґрунтування рекомендацій щодо складу частин та підрозділів матеріального забезпечення армійського корпусу в оборонній операції: дис. ... канд. військ. наук: 20.01.05 / Гриневич Віталій Вікторович. Київ: ЦНДІ ЗС України, 2011. 170 с. **2 Розроблення** методичного апарату обґрунтування вимог до перспективної системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України: звіт про НДР шифр «Ясен» (проміжний) / ЦНДІ ЗС України Міністерства

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ДОСТАВКУ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПОТРЕБИТЕЛЮ С УЧЕТОМ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ИХ ДОСТАВКИ**

*Игорь Васильевич Ступницкий*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

Статья посвящена разработке методического подхода к минимизации затрат при перевозке расходных материально-технических средств (МтС) от нескольких поставщиков к нескольким потребителям этих средств с учетом обеспечения такого показателя эффективности системы тылового обеспечения войск, как своевременность доставки расходных материально-технических средств (ракет и боеприпасов, горюче-смазочных материалов, военно-технического имущества, продовольствия и т.д.) войскам во время операции (боевых действий) транспортными средствами определенного вида. В статье проведен анализ существующих методов обоснования требований к транспортному обеспечению войск во время операции (боевых действий), определены их недостатки. В исследовании рассмотрено схему обеспечения войск расходными МтС, в которой несколько поставщиков обеспечивают несколько потребителей материально-технических средств. При этом наличие запасов МтС у поставщиков и потребность в них потребителей является в этой статье исходными данными. Для решения вопроса относительно оптимизации затрат на доставку расходных материально-технических средств от поставщиков к потребителям сформулирована и решена оптимизационная задача, определены условия-ограничения, которые должны учитываться при проведении расчетов.

**Ключевые слова:** материально-технические средства, поставщик, потребитель, своевременная доставка материально-технических средств, стоимость, транспорт.

**METHODICAL APPROACH TO THE COST OPTIMIZATION FOR DELIVERY OF EXPECTED MATERIAL-TECHNICAL MEANS TO CONSUMER WITH TAKING ACCOUNT THEIR OPPORTUNENESS OF DELIVERY**

*Ihor Stupnytskyi*

*Central Scientific Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

The article is devoted to the development of a methodical approach to minimizing the cost of material-technical means (MTM) transporting from several suppliers to several consumers of these means, taking into account such an indicator of the effectiveness of the logistics system of troops, as the delivery opportuneness of material-technical means (missiles and ammunition, fuel and lubricants, military-technical property, foodstuffs, etc.) to troops during the operation (combat actions) by vehicles of a certain type. The article analyzes the existing methods of substantiation of the requirements for troop transport support during the operation (combat actions), qualifies their defects. The research examines the scheme of providing troops with expendable MTM, in which several suppliers provide several consumers of material and technical means. At the same time, the availability of MTM stocks from suppliers and the need for consumers is the source of this article. To resolve the issue of optimizing the costs of material and technical means delivering from suppliers to consumers, an optimization task is formulated and solved, conditions-restrictions are defined, which should be taken into account during the calculations.

**Key words:** cost, material and technical means, supplier, timely delivery of material and technical means, consumer, transport.

**References**

**1. Grinevich V.V.** (2011) Justification of recommendations concerning the composition of the material support units and subdivisions of the army corps in the defense operation: diss. ... candidate of military sciences: 20.01.05 / Grinevich Vitalii Viktorovich. Kyiv: Central Scientific Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, 170 p. **2 Development** of the methodical apparatus for substantiating the requirements for a promising system of material and technical support of the Armed Forces of Ukraine: SRW report "Yasen"

(intermediate) / CSRI of the Armed Forces of Ukraine of Ministry of Defense of Ukraine; manager Shuenkin V.O.; executors: Movchan O.M., Tregubenko S.S., and others. Kyiv: Central Scientific Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, 2013. 147 p. DR 0101U001487.

**3 Tregubenko S.S.** (2016) Methodological bases of the substantiation of requirements to the system of material and technical support of the Armed Forces of Ukraine: diss. ... doctors of mill. sciences: 20.01.05 / Tregubenko Stanislav Semenovich. Kyiv: Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, 387 p.

*Олексій Вікторович Алексеєнко (канд. техн. наук, доцент)*

*Олександр Олександрович Челобітченко (канд. техн. наук, с.н.с)*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## МІЖЛАБОРАТОРНІ ПОРІВНЯЛЬНІ ВИПРОБУВАННЯ ЗАСОБІВ КОЛЕКТИВНОГО ТА ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ ОБОРОННОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуто актуальні питання оцінки якості продукції, що постачається для потреб Збройних Сил України, як однієї зі складових сектору безпеки і оборони держави, та її відповідності під час реформування оборонно-промислового комплексу держави, наведено вимоги до якості продукції оборонного призначення згідно з чинними в Україні стандартами при потребі досягнення євроатлантичних стандартів та критеріїв, необхідних для набуття членства в НАТО. Акцентовано увагу на питаннях визначення балістичної стійкості засобів колективного та індивідуального бронезахисту, що постачаються до складових сектору безпеки та оборони держави в умовах “гібридної війни”. Наведено результати міжлабораторних порівняльних випробувань зразків елементів захисту в акредитованій Національним агентством з акредитації України науково-випробувальній лабораторії. Доведено, що успішне проведення таких порівняльних випробувань є потенційно корисним для забезпечення ефективності оцінки якості продукції для потреб сектору безпеки і оборони.*

**Ключові слова:** *сектор безпеки і оборони держави, оборонно-промисловий комплекс, продукція оборонного призначення, ефективність контролю якості продукції, міжлабораторні порівняльні випробування.*

### Вступ

Аналіз актуальних питань інноваційного розвитку економіки в державі, поширення досвіду та знань в інноваційній сфері, проблем комерціалізації науково-технічних розробок та трансферу технологій, світового досвіду та реалії впровадження інноваційних технологій [1-7], виявив низку проблем, притаманних сучасному оборонно-промислому комплексу (ОПК) України, який є головним компонентом її воєнно-економічного потенціалу [1].

Тривалий час (з моменту проголошення незалежності до початку “гібридної війни” проти України) ОПК поряд з іншими складовими сектору безпеки та оборони знаходився в умовах постійного суттєвого реформування та необхідності оновлення (трансформації) технологічної, виробничої бази.

**Постановка проблеми.** З метою якісного реформування ОПК виникла потреба розробки та впровадження ефективних державних програм з необхідним фінансуванням за рахунок державного бюджету. Однак, протягом тривалого часу спостерігалось критичне недофінансування потреб ОПК в реалізації таких програм, що стало причиною поверхневого реформування та накопичення проблем його перебудови. До того ж основними стратегічними керівними документами державного рівня не було враховано воєнно-політичних та інших загроз навколо держави, а помилкові погляди щодо пріоритетності розвитку озброєння і військової техніки (ОВТ) для

Збройних Сил України уповільнило подальший розвиток оборонної реформи [10].

Незважаючи на ухвалення в Україні останніми роками основних стратегічних і концептуальних документів із питань оборони та безпеки держави (Воєнної доктрини, Стратегічного оборонного бюлетеня, Державної цільової програми реформування та розвитку оборонно-промислового комплексу України до 2021 року тощо), ситуація з реформуванням вітчизняного ОПК залишається складною.

Крім того, інтеграція України в європейський політичний, економічний, правовий простір визначено національним інтересом на законодавчому рівні [8], а одним з напрямів реформування Збройних Сил України є забезпечення максимальної сумісності зі збройними силами держав-членів НАТО через запровадження стандартів. Державною програмою розвитку Збройних Сил України на період до 2020 року визначено мету – досягнення євроатлантичних стандартів та критеріїв, необхідних для набуття членства в НАТО. Одним із шляхів досягнення мети є стандартизація та кодифікація озброєння та майна відповідно до стандартів НАТО [8].

Прагнення інтегрування ОПК України у світову економіку (стосовно Збройних Сил України – ринок озброєнь), відкривають для країни нові можливості для партнерства, актуалізують необхідність гармонізації сучасної системи технічного регулювання відповідно до

норм та правил Європейського Союзу, країн – членів НАТО, в рамках яких здійснюється організація виробництва конкурентоспроможної продукції за допомогою інноваційних технологій.

Загострення конкуренції, великий вплив політичних чинників, система міжнародного контролю за трансферами озброєнь та інші, вимагають від учасників ринку озброєнь застосовувати різноманітні стратегії просування своєї продукції та вдатися до різних форм конкурентної боротьби.

**Таким чином**, особливої актуальності та значущості для держави набули питання формування національної інвестиційної системи, розробки, впровадження та комерціалізації інноваційних проектів у секторі безпеки і оборони, а внаслідок інноваційного пошуків серед виробників та постачальників військової продукції з'являється **проблема** у здійсненні належного **контролю за якістю** зразків, що надходять до військових підрозділів сектору безпеки і оборони [9]. Одним з показників ефективності системи контролю якості таких зразків рахуються міжлабораторні порівняння результатів вимірювань, їх достовірність та точність.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Останнім часом значно збільшується кількість як виробників продукції оборонного призначення (в тому числі засобів колективного та індивідуального бронезахисту), так і організацій, що забезпечують точність та достовірність результатів балістичних випробувань окремих партій таких виробів.

Загальним науково-теоретичним підґрунтям досліджень визначення ефективності системи контролю якості засобів колективного та індивідуального бронезахисту, що постачаються до складових сектору безпеки та оборони держави, із застосуванням міжлабораторних порівнянь результатів вимірювань балістичної стійкості їх елементів, займались багато відомих учених [11-15], серед яких Бондаренко Л. І., Кравець І. А., Степанов Г. В., Зубов В. І., Чепков І. Б., Королько С. В., Курташов В. П., в роботах яких розглядаються лише механізми взаємодії засобів ураження (куля, осколки) з елементами бронезахисту на основі використання теоретичних та імітаційних методів (моделей) з урахуванням вимог лише державних та галузевих стандартів.

В той же час розвиток національної системи сертифікації та стандартизації в Україні йде у напрямі її гармонізації з міжнародними нормами і правилами.

**Метою статті** є визначення підходів до підвищення якості, визначення балістичної стійкості засобів колективного та індивідуального бронезахисту, що постачаються до складових сектору безпеки та оборони держави в умовах "гібридної війни" проти України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вітчизняна нормативно-технічна

документація щодо організації та проведення балістичних випробувань не гармонізована з міжнародною нормативно-технічною документацією, у якій відображені На думку авторів статті, незважаючи на велику кількість праць, присвячених проблемам балістичних випробувань, недостатньо розглянуті питання щодо забезпечення єдності їх результатів незалежно від часу та місця їх проведення, нормативно-технічна документація існує в розрізненому вигляді, не має загального наукового підґрунтя, особливо в частині врахування відмінностей організації випробувального процесу в лабораторіях поняттєво-термінологічні питання, вимоги з планування, організації, проведення випробувань та оброблення і подання їх результатів.

На сучасному етапі особливої актуальності набули питання оцінки якості продукції, що постачається для потреб Збройних Сил України, як однієї зі складових сектору безпеки і оборони держави, та її відповідності.

Якість продукту, послуги визначено в ISO 9000–2000. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary [16] як здатність задовольняти потреби споживача.

Абсолютний рівень якості того чи іншого виробу знаходять шляхом обчислення вибраних для його вимірювання показників без їх порівняння з відповідними показниками аналогічних виробів. Визначення абсолютного рівня якості є недостатнім, оскільки само по собі не відображає ступеня його відповідності сучасним вимогам. Тому поряд з цим визначають відносний рівень якості окремих видів продукції, порівнюючи її показники з абсолютними показниками якості кращих аналогічних вітчизняних і зарубіжних виробів. Проте рівень якості продукції під впливом науково-технічного прогресу й вимог споживачів повинен мати тенденцію до підвищення.

В Україні діє створена Держспоживстандартом України державна система сертифікації продукції УкрСЕПРО, нормативну базу якої складають державні стандарти України.

Відповідно до ст. 1 Закону України "Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності" підтвердження відповідності – це діяльність, наслідком якої є гарантування того, що продукція відповідає встановленим законодавством вимогам. Підтвердження відповідності застосовується на доринковій стадії введення продукції в обіг і здійснюється виробником як самостійно, так і з залученням третьої сторони – органа з сертифікації. Крім того, стандартизація і сертифікація є нормативно-методичною базою забезпечення якості продукції і конкурентоздатності виробництва. Об'єктами стандартизації є продукція, процеси і послуги,



зокрема матеріали, устаткування, системи, правила, процедури, функції, методи або діяльність. У процесі стандартизації виробляються норми, правила, вимоги, характеристики, що стосуються об'єкта стандартизації, які оформлюються у вигляді нормативного документа - стандарту.

Стандарти на методи контролю (випробування, вимірювання, аналізу) рекомендують застосовувати методики контролю, що забезпечують об'єктивність оцінки обов'язкових вимог до якості продукції, які наведені в стандарті на продукцію. Головний критерій об'єктивності методу контролю (випробування, вимірювання, аналізу) - відтворюваність і порівнянність результатів. Необхідно користуватися саме стандартизованими методами контролю, випробувань, вимірювань і аналізу, тому, що вони базуються на міжнародному досвіді і передових досягненнях.

Однак, оптимізація ціноутворення на продукцію оборонного призначення, встановлення фінансового компромісу між інтересами замовника та підприємствами, система розрахунків собівартості продукції, яка існує нині, не дає змоги підприємствам отримувати ринкові норми прибутку.

Завдяки глобалізації, конкуренції та насиченості ринку озброєнь, зазнали принципових змін вимоги до рівня якості продукції та послуг. В умовах розвитку міжнародної торгівлі успіх галузей економіки (в тому числі оборонної) на зовнішньому та внутрішньому ринках суттєво залежить від того, наскільки вони відповідають стандартам якості.

Тому, проблема забезпечення й підвищення якості продукції оборонного призначення актуальна, а від її рішення значною мірою залежить ефективність національної економіки в цілому.

Досить актуальним залишаються питання якості, визначення балістичної стійкості засобів колективного та індивідуального бронезахисту, що постачаються до складових сектору безпеки та оборони держави в умовах "гібридної війни" проти України (рис. 1) [9].

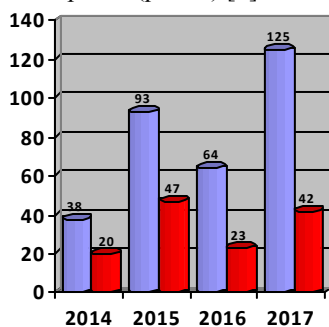


Рис 1. Результати балістичних випробувань кількості зразків продукції, наданої виробниками впродовж 2014-2017 років

Як видно з рис. 1, максимальна кількість невідповідності продукції, що перевірялась, діючим вимогам стандартів спостерігається на період активізації збільшення виробників та постачальників засобів колективного та індивідуального бронезахисту до складових сектору безпеки та оборони держави в умовах неконтрольованості якості продукції оборонного призначення.

Одним із головних елементів системи визначення захисних властивостей матеріалів, з яких виготовляються засоби індивідуального та колективного бронезахисту та показників якості продукції оборонного призначення є випробування.

Враховуючи важливість результатів випробувань у сфері безпеки та оборони зрозумілою є вимога щодо забезпечення необхідного рівня технічної компетентності випробувальних лабораторій. Оцінювання рівня технічної компетентності випробувальної лабораторії виконується через процедуру акредитації на відповідність вимогам національного стандарту [17], що здійснюється Національним агентством з акредитації України. Слід відмітити, що національний стандарт [17] є ідентичним міжнародному стандарту [18], який використовується для акредитації лабораторій у всьому світі.

Для вирішення цього питання прийнято багато нормативних актів, що регулюють вимоги як до продукції, так і до органів, які здійснюють оцінку її якості. При цьому єдиним механізмом оцінки відповідності є випробування, а орган оцінки відповідності - система випробувальних лабораторій (далі - ВЛ), до яких ставляться жорсткі вимоги, в тому числі щодо підтвердження професійного рівня. Ця система під час свого історичного розвитку пройшла багато етапів починаючи від безсистемної демонстрації засобів захисту, при якій були відсутні навіть критерії їх оцінки, і до розробки методів випробувань на державному та міжнародному рівнях.

На сьогодні діяльність випробувальних лабораторій регламентують стандарти: ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 – у частині впровадження системи менеджменту якості та підтвердження технічної компетентності лабораторій, та ДСТУ ISO/IEC 5725:2005 – у частині забезпечення точності результатів, отриманих у випробувальній лабораторії. Вимоги стандарту є складними для успішної реалізації його в практиці випробувальних лабораторій.

Якість результатів випробувань визначається достовірністю результатів, які залежать від дотримання методик проведення випробувань.

Хоч би якою сучасною була лабораторія, право проводити випробування в системі сертифікації вона отримає лише після офіційного визнання її компетентності. Акредитація лабораторії є тим самим офіційним визнанням

права на проведення певного переліку випробувань. Тільки після проходження акредитації органи, які пропонують послуги із сертифікації, визнають технічну компетентність лабораторії та об'єктивність отриманих результатів.

Першим кроком у підтвердженні відповідності щодо проведення випробування може бути атестація вимірювальної лабораторії у державній метрологічній системі. Спираючись на перелік обов'язкових вимог до випробувальних лабораторій, органи, уповноважені проводити атестацію, оцінюють стан справ у конкретній лабораторії за всіма заявленими в галузі показниками, починаючи від юридичного статусу та організаційної структури й закінчуючи аналізом протоколів випробувань, перевіркою дотримання інших вимог, які передбачає атестація. Та атестація вимірювальної лабораторії не може забезпечити всебічну простежуваність випробувань, а заходи з атестації не передбачають належної оцінки впровадженої системи якості в лабораторії. Тому доцільно забезпечувати заходи з попереднього проведення оцінки управління якістю до первинної акредитації лабораторії компетентним органом з оцінки відповідності в галузі акредитації.

Ефективною методикою, яка дозволяє достовірно оцінити компетентність випробувальних лабораторій та якість роботи їх персоналу, є міжлабораторні порівняльні випробування. Вони можуть наочно підтвердити точність проведених випробувань шляхом отримання оцінки тих самих продуктів або матеріалів відразу в декількох лабораторіях. Помилка тлумачення результатів у цих випробуваннях бути не може, оскільки всі вимірювання проводяться відповідно до попередньо встановлених умов. І, звичайно ж, головною вимогою тут стає можливість порівняти результати, отримані різними лабораторіями, які брали участь у процедурі порівняльних випробувань.

Успішна участь у програмах міжлабораторних порівняльних випробувань є підставою для підтвердження якості випробувань, які проводить ВЛ. Для безперервного отримання даних випробувань лабораторіям необхідно постійно удосконалювати процедури у рамках системи управління відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 [17], проводячи регулярний внутрішній контроль якості результатів випробування. Одним з показників ефективності системи контролю якості засобів колективного та індивідуального бронезахисту рахуються міжлабораторні порівняння результатів вимірювань, їх достовірність та точність. Участь у

міжлабораторних порівняльних випробуваннях є обов'язковим та невід'ємним елементом зовнішнього контролю системи управління випробувальної лабораторії. Це відіграє важливу роль як під час акредитації лабораторії, так і під час її функціонування.

На міжнародному рівні проведення міжлабораторних порівнянь регламентується стандартом [18], в якому наведено основні організаційні та методичні заходи, але відсутні дані щодо міжлабораторних порівнянь та оцінки їх результатів у разі відсутності стандартних зразків та застосуванні руйнівних методів випробувань, що є типовим для сфери безпеки та оборони.

В Збройних Силах України існує єдина ВЛ, яка акредитована в Національному агентстві з акредитації України відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Сфера акредитації науково-випробувальної лабораторії зброї та спеціальних захисних матеріалів дозволяє проводити балістичні випробування стійкості засобів індивідуального і колективного бронезахисту як за державними [19-22], так і за стандартами НАТО. Крім того, лабораторія виконує вимоги Національного агентства з акредитації України щодо між лабораторних порівняльних випробувань.

Точність вимірювання швидкості польоту кулі для пістолетів ПМ, ТТ, автомата АК-74, гвинтівки СВД за результатами міжлабораторних порівняльних випробувань з Державним науково-дослідним інститутом Міністерства внутрішніх справ України наведено на рис. 2.

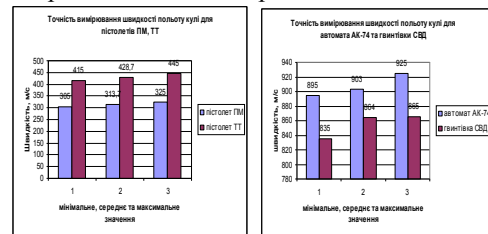


Рис. 2. Точність вимірювання швидкості польоту кулі для різної зброї

Як видно з рис. 2, середні значення вимірювання швидкості польоту кулі для різної зброї відповідають вимогам, встановленим нормативною документацією.

### Висновки й перспективи подальших досліджень.

Таким чином, міжлабораторні порівняльні випробування, що здійснює науково-випробувальна лабораторія зброї та спеціальних захисних матеріалів є потенційно корисними для оборонної промисловості, а для подальшого розвитку їх ефективності потрібно застосовувати нові стратегії наукового пошуку.

### Література

1. Стратегія національної безпеки України, затверджена Указом Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015 [Електронний ресурс]. – Режим

доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/389/2012>.  
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України “Про схвалення Концепції розвитку національної

інноваційної системи” від 17 червня 2009 року № 680-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/680-2009-p>.

**3. Руснак І. С.** Воєнна безпека України у світлі реформування сектора безпеки і оборони // Наука і оборона. – 2015. – № 2. – С. 9–14. **4. Чепков І. Б.** Основні шляхи реформування вітчизняного оборонно-промислового комплексу в ринкових умовах / І.Б.Чепков, А.С.Довгополий, М.І.Луханін, В.С.Сіренко // Озброєння та військова техніка. – 2015.–№ 1 (5). – С. 3–11. **5. Шевцов А. І.** Стратегічні підходи до вибору інноваційної моделі розвитку оборонно-промислового комплексу України / А.І.Шевцов, Р.В.Боднарчук // Стратегічна панорама. – 2008. – № 1. – С. 108–112. **6. Шевцов А. І.** Концептуальні підходи до реалізації моделі інноваційної розвитку оборонно-промислового комплексу України / А.І.Шевцов, Р.В.Боднарчук // Стратегічна панорама. – 2009. – № 2. – С. 156–163. **7. Шевцов А. І.** Актуальні проблеми реструктуризації оборонно-промислового сектору економіки України / А.І.Шевцов, Р.В.Боднарчук // Стратегічні пріоритети. – 2013. – № 2. – С. 127–134. **8. Державна** програма розвитку Збройних Сил України на період до 2020 року // Міністерство оборони України. **9. Балістичні** випробування засобів колективного та індивідуального захисту – завершення дослідницької стадії інноваційних проектів з їх створення / О.О.Челобітченко, О.В.Алексєєнко, В.А.Курбан, С.Г.Сєдов // Наука і оборона, 2018, № 1. С. 49-56 . **10. В. П. Горбулін, В. С. Шеховцов, А. І. Шевцов.** ОПК України: кроки до стабілізації діяльності та розвитку в умовах гібридної війни. // Стратегічна панорама. – 2016. – № 2. – С. 54–62. **11. Франчук В. І.,** Вінник І. Ю. Розвиток національного ринку озброєнь як запорука обороноздатності сектору ОПК України. // Комунальне

господарство міст, 2017, випуск 133, с. 13-18. **12. Чепков І. Б.** Проблеми технічного оснащення Збройних Сил України та шляхи їх розв’язання в сучасних умовах / І.Б.Чепков, І.В.Бороховостов, В.К.Бороховостов, А.О.Русевич // Наука і оборона. – 2014. – № 3. – С. 43–50. **13. Королько С. В.** Аналіз і оцінка можливостей застосування сучасних матеріалів для броньованої техніки та захисту особового складу від ураження / Системи озброєння і військової техніки. – Х.: ХУПС, 2015. – № 2 (42). – С. 163–167. **14. Курбан В. А.** Проблемы выбора элементов индивидуальной и коллективной броневой защиты / В.А.Курбан, В.А.Бублий, В.П.Курташов, В.П.Сахно // Артиллерийское и Стрелковое Вооружение. – К.: КБ “Артиллерийское вооружение”, – 2012. – № 2 (43). – С. 25–30. **15. А. І. Коробко, О. О.** Михайлова, О. О. Назарько, Ю. А. Радченко. Управління якістю випробувань автотракторної техніки з використанням нечіткої логіки // ВІСНИК ЖДТУ. 2016. № 2 (77). С. 109-114. **16. ISO 9000-2000.** Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. – (Системи управління якістю. Основні принципи та словник). **17. ДСТУ ISO/IEC 17025** “Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій”. **18. Стандарт НАТО** “STANAG 2920 PPS (EDITION 2)”. **19. ДСТУ В 4103-2002** “Засоби індивідуального захисту. Бронезилети. Загальні технічні умови”. **20. ДСТУ В 4104-2002** “Засоби індивідуального захисту. Вироби бронезахисту. Методи контролю балістичної стійкості бронезилетів”. **21. ГСТУ 78-41-004-97** “Шоломи для захисту від куль. Загальні технічні умови”. **22. ДСТУ 3975-2000** “Захист панцерний спеціалізованих автомобілів. Загальні технічні вимоги”.

## МЕЖДУЛАБОРАТОРНЫЕ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СРЕДСТВ КОЛЛЕКТИВНОЙ И ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ ОБОРОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Алексей Викторович Алексеенко (канд. техн. наук, доцент)  
Александр Александрович Челобитченко (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*Рассмотрены актуальные вопросы оценки качества продукции, которая поставляется для нужд Вооруженных Сил Украины, как одной из составляющих сектора безопасности и обороны государства, та ее соответствия при реформировании оборонно-промышленного комплекса государства, приведены требования к качеству продукции оборонного назначения в соответствии с существующими в Украине стандартами при необходимости достижения евроатлантических стандартов и критериев, необходимых для приобретения членства в НАТО. Акцентировано внимание на вопросах определения баллистической стойкости средств коллективной и индивидуальной защиты, которые поставляются в составляющие сектора безопасности и обороны государства в условиях “гибридной войны”. Приведены результаты междулабораторных сравнительных испытаний образцов средств коллективной и индивидуальной защиты в аккредитованой Национальным агентством по аккредитации Украины научно-испытательной лаборатории. Доведено, что успешное проведение таких сравнительных испытаний есть потенциально полезным для обеспечения эффективности оценки качества продукции для нужд сектора безопасности и обороны.*

*Ключевые слова: сектор безопасности и обороны государства; оборонно-промышленный комплекс; продукция оборонного назначения; эффективность контроля качества продукции; междулабораторные сравнительные испытания.*

## INTERLABORATORY COMPARATIVE TESTING OF COLLECTIVE AND INDIVIDUAL PROTECTION EQUIPMENT TO ENSURE THE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF DEFENSE PRODUCTS

*Aleksey V. Alekseenko (Ph.D, Assistant Professor)*

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kiev

The topical issues of product quality assessment, which is supplied for the needs of the Armed Forces of Ukraine, as one of the components of the security and defense sector of the state, are considered. Consideration is also given to the conformity of these products in the reform of the state's defense-industrial complex. The same requirements are given to the quality of defense products in accordance with the existing standards in Ukraine, if it is necessary to achieve Euro-Atlantic standards and the criteria necessary for acquiring NATO membership. The attention is focused on the issues of determining the ballistic durability of collective and individual defense equipment that are supplied to the relevant security and defense sectors of the state in the conditions of a "hybrid war". The results of interlaboratory comparative tests of samples of collective and individual protection equipment in the accredited scientific laboratory of the National Accreditation Agency of Ukraine. It has been proven that the successful conduct of such comparative tests is potentially useful for ensuring the effectiveness of product quality assessment for the needs of the security and defense sector.

**Key words:** security and defense sector of the state; defense-industrial complex; defense products; efficiency of product quality control; interlaboratory comparative tests.

References

- 1. The Strategy** of National Security of Ukraine, approved by the Decree of the President of Ukraine dated May 26, 2015, No. 287/2015 [Electronic resource]. - Access mode: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/389/2012>.
- 2. Order** of the Cabinet of Ministers of Ukraine "On Approval of the Concept of Development of the National Innovation System" dated June 17, 2009 No. 680-r [Electronic Resource]. - Mode of access: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/680-2009-p>.
- 3. Rusnak I. S.** Military Security of Ukraine in the Light of Reforming the Security and Defense Sector // Science and Defense. - 2015. - No. 2. - S. 9-14.
- 4. Chepkov I. B.** The main ways of reforming the domestic defense-industrial complex in market conditions / I. B. Chepkov, A. S. Dovgopoly, M. I. Lukhanin, V. Y. Sirenko // Arms and military equipment. - 2015. № 1 (5). - P. 3-11.
- 5. Shevtsov A. I.** Strategic Approaches to Choosing an Innovative Model for the Development of the Defense Industrial Complex in Ukraine / A. I. Shevtsov, R. V. Bodnarchuk // Strategic Panorama. - 2008. - No. 1. - P. 108-112.
- 6. Shevtsov A. I.** Conceptual approaches to the implementation of the model of innovation development of the defense industrial complex of Ukraine / A. I. Shevtsov, R.V. Bodnarchuk // Strategic Panorama. - 2009. - No. 2. - P. 156-163.
- 7. Shevtsov A. I.** Actual Problems of Restructuring of the Defense Industrial Sector of the Ukrainian Economy / A. I. Shevtsov, R. V. Bondarchuk // Strategic Priorities. - 2013. - № 2. - P. 127-134.
- 8. State** Program of Development of the Armed Forces of Ukraine for the period up to 2020 // Ministry of Defense of Ukraine.
- 9. Ballistic** tests of means of collective and individual protection - completion of the research stage of innovative projects for their creation / O. O. Chelobitchenko, O. V. Alekseenko, V. A. Kurban, S. G. Sedov // Science and defense, 2018, No. 1 P. 49-56.
- 10. V. P. Gorbulin,** V. S. Shekhovtsov, A. I. Shevtsov. Ukrainian Defense Complex: Steps to Stabilize and Develop in Hybrid Warfare. // Strategic panorama. - 2016. - No. 2. - P. 54-62.
- 11. Franchuk V.I.,** Vinnik I. Yu. The development of the national arms market as a pledge of defensive capability of the sector of the Ukrainian defense industry. // Municipal economy of cities, 2017, issue 133, p. 13-18.
- 12. Chepkov I. B.** Problems of technical equipment of the Armed Forces of Ukraine and ways of their solution in modern conditions / I. B. Chepkov, I. V. Borohvostov, V. K. Borokhovostov, A. O. Rusevich // Science and defense. - 2014. - No. 3. - P. 43-50.
- 13. Korolko S. V.** Analysis and evaluation of the possibilities of using modern materials for armored vehicles and personnel protection against defeat / Systems of armament and military equipment. - X.: XYHC, 2015. - № 2 (42). - P. 163-167.
- 14. Kurban V. A.** Problems of the selection of elements of individual and collective armor protection / V. A. Kurban, V. A. Bubly, V. P. Kurtashov, V. P. Sahno // Artillery and Strelkovoii Armament. - K.: KB "Artillery armament", - 2012. - No. 2 (43). - pp. 25-30.
- 15. A. I. Korobko,** O. O. Mikhailova, O. O. Nazarko, Yu. A. Radchenko Quality control of automotive tractor testing using fuzzy logic // HISTORY OF ZHDTU. 2016. No. 2 (77). P. 109-114.
- 16. ISO 9000-2000.** Quality management systems - Fundamentals and vocabulary. - (Quality Management Systems - Basic Principles and Dictionary).
- 17. DSTU ISO / IEC 17025** "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories".
- 18. NATO Standard** "STANAG 2920 PPS (EDITION 2)".
- 19. DSTU 4103-2002** "Personal protective equipment. Armor General specifications".
- 20. DSTU 4104-2002** "Personal protective equipment. Armor protection products. Methods of controlling the ballistic stability of body armor".
- 21. GOST 78-41-004-97** "Helmets for protection from bullets. General specifications".
- 22. DSTU 3975-2000** "Protecting the Panzer Specialized Vehicles. General technical requirements".

*Володимир Юрійович Богданович (доктор техн. наук, професор)<sup>1</sup>*

*Іван Юрійович Свіда (доктор військ. наук, професор)<sup>1</sup>*

*Анатолій Миколайович Сиротенко (канд. техн. наук)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ІНТЕГРОВАНИМ ПОТЕНЦІАЛОМ ПРОТИДІЇ ЗАГРОЗАМ ВОЄННОГО ХАРАКТЕРУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИЗНАЧЕНОГО РІВНЯ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

*Розглядається методика формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави, яка базується на методі експертно-значущих проміжних сценаріїв, удосконаленому методі аналізу ієрархій, методах експертного оцінювання, мозкового штурму, Ісікави та порівняння. Методика передбачає оцінювання рівня та характеру загрози воєнній безпеці держави, визначення потрібного нейтралізаційного “зсуву” цієї загрози, формування групи суб’єктів сектора безпеки і оборони, переважно невійськових, обґрунтувати завдання для кожного суб’єкта таким чином, щоб їх результуюча дія призвела до деескалації виявленої (прогнозованої) загрози до прийняттого рівня.*

**Ключові слова:** *загроза воєнного характеру, воєнна безпека, інтегрований потенціал протидії, управління інтегрованим потенціалом протидії, модель, сектор безпеки і оборони.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності функціонування системи забезпечення воєнної безпеки в сучасних умовах. Раціональне використання наявних сил та засобів протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави стає нагальним питанням в умовах обмежених як фінансових, так і людських ресурсів. Саме інтеграція зусиль усіх суб’єктів сектора безпеки і оборони України (СБОУ) для такої протидії повинна бути одним із ключових питань реформування СБОУ. Практична реалізація цього потребує, крім інших питань, й розроблення нового та удосконалення існуючого методичного апарату зі сфери забезпечення воєнної безпеки. Аналіз публікацій та інших наукових праць, з якими ознайомилися автори, дозволяє констатувати відсутність не тільки методології вибору групи військових і, особливо, невійськових суб’єктів для залучення до сумісної протидії загрозам воєнного і, так званого, гібридного характеру, але й окремих методик з цього питання.

Тому, розроблення зазначеної методики, як складової такого методичного апарату, на наш погляд, є достатньо актуальним.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** Чинні нормативно-правові документи [1]–[4], у першу чергу затверджена Указом Президента України Концепція розвитку сектора безпеки і оборони України визначають лише загальні шляхи формування національних безпекових та

оборонних спроможностей держави, підкреслюють необхідність сумісного використання сил та засобів сектору безпеки і оборони. Але принципи та організація такого сумісного використання в документах не розглядаються.

Серед наукових публікацій, в яких торкаються цієї проблематики, слід зазначити монографію [5], та деякі статті, наприклад, [6], [7]. Але відсутність у них методичного апарату, який можна було б використовувати для розподілу завдань та обґрунтування необхідних для їх виконання сил та засобів, процедур обґрунтування таких завдань, не дозволяє ефективно здійснювати організацію та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави.

**Метою статті** є розроблення методики формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави (далі – Методика), як складової відповідної методології.

### Виклад основного матеріалу дослідження

У зазначеній Методиці реалізовано теоретичні положення, які викладені у [7] і розкривають метод формування групи суб’єктів сектору безпеки і оборони для комплексної протидії виявленій (прогнозованій) загрози. Крім цього, у Методиці реалізовано загальні положення щодо інтегрованого потенціалу СБОУ для протидії

загрозам воєнного характеру у частині щодо його формування та управління їм. Під інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру (ІППЗВХ) пропонується розуміти сформований раціональний склад сил і засобів СБОУ та визначені їх необхідні спроможності, реалізацію яких планується здійснити за єдиним замислом для усунення та нейтралізації загроз воєнній безпеці держави у межах виділених державою ресурсів.

Методика упорядковує і формалізує лише частину загального процесу реагування системою воєнної безпеки держави на виявлену, або прогнозовану, загрозу воєнного характеру. Але, цю частину даного процесу ми вважаємо найбільш важливою через те, що від ефективного виконання потрібних дій суб'єктами СБОУ залежатиме як кінцевий результат нейтралізації (усунення) загрози, так і терміни й ресурси, які повинні бути задіяні для цього.

Методика не враховує різну підпорядкованість суб'єктів СБОУ окремим гілкам державного управління (влади) (президентську, парламентську, Кабінету міністрів України). У Методиці прийнято, що питання управління вирішено і взаємодія між суб'єктами СБОУ організована належним чином.

Основними вихідними даними для Методици є: характеристики виявленої, або прогнозованої, загрози воєнного характеру  $Z$ ; визначений необхідний нейтралізаційний "зсув" ( $K_{нзпз}(T_{пр})$ ) для нейтралізації загрози; наявні спроможності  $X_s$  та ресурси суб'єктів ( $M$ ) СБОУ, визначений рівень воєнної безпеки.

Проектні спроможності суб'єктів, що розглядаються в якості кандидатів для формування інтегрованого потенціалу нейтралізації загрози  $Z$ , визначені шляхом розв'язання зворотної задачі з використанням комп'ютерної технології М7 [6], виходячи з умови, що:

$$Arg \{ F_z \{ K_{1z}(x_{1z}) \circ K_{2z}(x_{2z}) \circ \dots \circ K_{sz}(x_{sz}) \} = \Delta K_{нзпз}(T_{пр}) \} \\ \{ (x_{sz}); s = 1, S \}$$

де  $F_z \{ \}$  – функціонал, який описує згортку функцій, що визначають потенційні можливості задіяної множини суб'єктів  $\{ S_z \}$  зі спроможностями  $(x_{sz})$ , що забезпечують за їх сумісного (інтегрованого) використання досягнення потрібного нейтралізаційного "зсуву" загрози  $Z$ .

У Методиці прийнято, що кожний  $s$ -й суб'єкт СБОУ має своє призначення, на виконання якого він має відповідні спроможності, які не повинні дублюватися. Вибір суб'єкта визначається характером загрози  $Z$ . Оскільки характер загрози визначається сферами, в яких проявляється конфліктність, то суб'єкти, що вибираються для нейтралізації загрози, повинні мати спроможність впливати на конфліктуєчу державу у цих сферах таким чином, щоб знижувалися показники загрози.

Слід зазначити, що згідно методу управління інтегрованим потенціалом протидії [8] на організаційному рівні  $s$ -му суб'єкту визначаються завдання щодо потрібної величини зниження загрози, а от вибір необхідних для цього засобів та сил, тактики та дій на виконавчому рівні – прерогатива самого  $s$ -го суб'єкта. Але, всі дії кожного суб'єкта контролюються з позицій досягнення їм визначеного для нього нейтралізаційного "зсуву"  $\Delta K_{нзпз}^s(T_{пр})$  та своєчасного коригування завдань іншим суб'єктам у разі невиконання якимось із суб'єктів такої умови.

Запропонована методика формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави базується на методі експертно-значущих проміжних сценаріїв [9], удосконаленому методі аналізу ієрархій [5], методах експертного оцінювання, мозкового штурму, Ісікави та порівняння. Методика містить десять етапів, рис. 1.

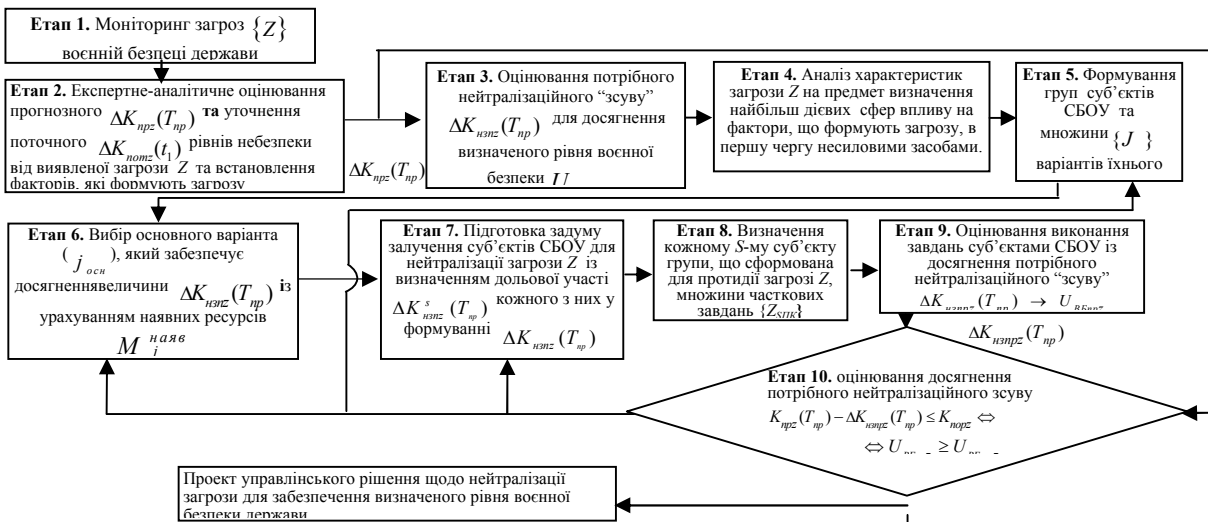


Рисунок 1 – Загальна схема комплексної методики формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня ВБ держави  $U_{ВБнзпз}$

Сутність часткових завдань, що вирішуються на кожному з етапів, зводиться до такого.

На *першому* етапі передбачено проведення моніторингу безпекового середовища на предмет виявлення загроз  $\{Z\}$  воєнній безпеці держави. Організація моніторингу розкрита в інших публікаціях, наприклад у [5], тому не деталізується у даній статті. Результатом моніторингу є загроза  $Z$ , або загрози  $\{Z\}$ , воєнного характеру, яка може істотно вплинути на воєнну безпеку держави.

Цей вплив оцінюється рівнем воєнної небезпеки  $K_z(t)$ . За досягнення, або перевищення, загрозою порогового рівня небезпеки  $K_{порz}$  (рис. 2) здійснюється перехід до другого етапу Методики.

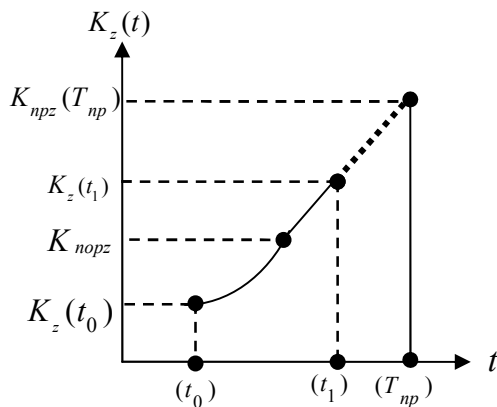


Рисунок 2 – Варіант динаміки рівня воєнної небезпеки від загрози  $Z$  за результатом моніторингу

На *другому* етапі здійснюється експертне-аналітичне оцінювання прогнозного  $K_{npz}(T_{np})$  та уточнення поточного  $K_{номz}(t_1)$  рівнів небезпеки від виявленої загрози  $Z$  та встановлення факторів, які формують загрозу. Цей етап є ключовим для подальшої організації протидії загрози  $Z$ , так як від точності прогнозу рівня воєнної небезпеки та повноти факторів, що її формують, залежатиме результативність усіх подальших дій з нейтралізації загрози. Саме фактори, що формують загрозу, визначатимуть сфери життєдіяльності держави, які повинні бути задіяні для організації протидії виявленій загрозі.

На *третьому* етапі оцінюється потрібний нейтралізаційний “зсув”  $\Delta K_{нзн}(T_{np})$  для досягнення зниження рівня воєнної небезпеки дещо нижчого за його пороговий рівень. рис. 3. Саме цей пороговий рівень визначає прийнятний (визначений) рівень воєнної безпеки держави.

$U_{ВБвизz}$ .

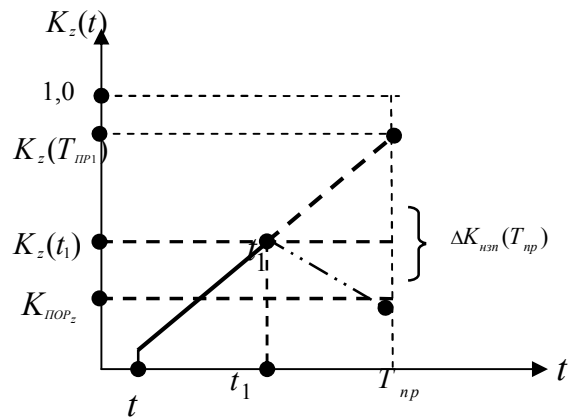


Рисунок 3 – Приклад визначеного нейтралізаційного “зсуву”

Процедуру визначення потрібного нейтралізаційного “зсуву” розглянуто в [10].

На *четвертому* етапі проводиться аналіз факторів, які формують загрозу, на предмет встановлення найбільш дієвих сфер впливу на фактори, що формують загрозу, в першу чергу несилдовими засобами, рис. 4. Встановлені сфери визначатимуть множину суб’єктів СБОУ  $\{S_z\}$ , компетенція та можливості яких дозволяють діяти у цих сферах, і які мають для цього відповідні сили та засоби.

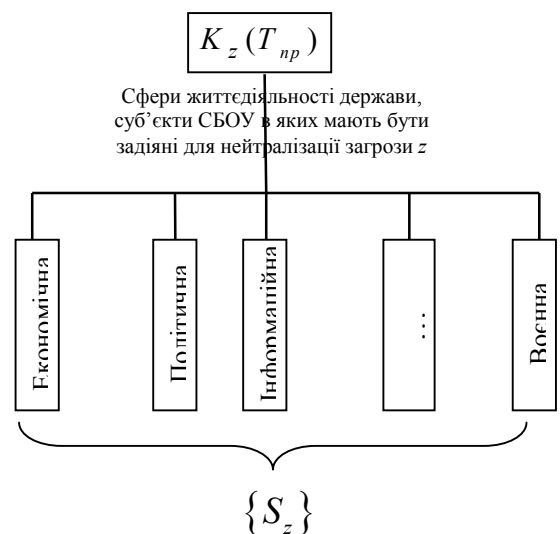


Рисунок 4 – Загальний вигляд підходу до формування множини суб’єктів СБОУ  $\{S_z\}$ , які мають вплив на фактори, що формують загрозу  $Z$

На *n’ятому* етапі передбачається формування груп суб’єктів СБОУ та множини  $\{J\}$  варіантів їхнього застосування. Формування групи суб’єктів СБОУ для створення інтегрованого потенціалу військових і невійськових сил та засобів сектора безпеки і оборони в інтересах комплексної протидії



виявленій (прогнозованій) загрозі здійснюється за окремою методикою, сутність якої наведено в [6].

Наявність множини варіантів застосування сил та засобів СБОУ для нейтралізації загрози пояснюється різними можливостями суб'єктів СБОУ, наявністю необхідних різного роду ресурсів, потрібних для виконання завдань проміжків часу тощо.

На шостому етапі обирається основний варіант ( $j_{осн}$ ), який, на думку експертів, забезпечує досягнення величини  $\Delta K_{нзпз}(T_{пр})$  із урахуванням наявних ресурсів  $M_j^{наяв}$ .

Підготовка задуму залучення суб'єктів СБОУ для нейтралізації загрози  $Z$  із визначенням дольової участі  $\Delta K_{нзпз}^S(T_{пр})$  кожного з них у формуванні  $\Delta K_{нзпз}(T_{пр})$  відбувається на сьомому етапі. У задумі визначаються: на які фактори, що формують загрозу, спрямовуються основні зусилля; черговість проведення заходів; терміни на виконання заходів тощо.

На восьмому етапі, відповідно до задуму, визначається кожному  $S$ -му суб'єкту групи, що сформована для протидії загрозі  $Z$ , множина часткових завдань  $\{Z_{спк}\}$ . Основу завдань складають визначені ступені зниження впливу показника загрози  $\Delta$  за шкалою Сааті та потрібні спроможності для цього, табл. 1.

Суб'єкти (сфери) та їх рольова участь		Потрібний нейтралізаційний вплив на показники загроз $Z$ у $s$ -сфері ( $s$ -м суб'єктом) за шкалою Т. Сааті	
$s$	"Вага" (пріоритет) $P_{sn}$	Показник потрібної спроможності $i$	Ступінь зниження впливу показника загрози $\Delta$
1	$P_{1П}$	$P_{1П1}$	$-\Delta_{11}$
		...	...
		$P_{1ПN}$	$-\Delta_{1N}$
...	...	...	...
$S$	$P_{SП}$	$P_{SП1}$	$-\Delta_{S1}$
		...	...
		$P_{SПN}$	$-\Delta_{SN}$

Таблиця 1 – Потрібний нейтралізаційний вплив на показники загроз  $Z$  у  $s$ -сфері ( $s$ -м суб'єктом) за шкалою Т. Сааті

**Література**

1. Концепція розвитку сектору безпеки і оборони України [Текст] : схвалена Указом Президента України [від 14.03.2016 року № 92/2016]. – К.: АПУ, 2016. – 17 с.  
 2. Стратегія національної безпеки України: Указ Президента України: від 26 травня 2015 року № 287. – К.: АПУ, 2015. – 12 с.  
 3. Воєнна доктрина України: Указ Президента України: від 24 вересня 2015 року № 555. – К.: АПУ, 2015. – 27 с.  
 4. Україна. Закони. Про національну безпеку України: Закон України від 21 червня 2018 року № 2469-VIII // Законодавство

На дев'ятому етапі оцінюється (прогнозується) здатність виконати завдання суб'єктами СБОУ із досягнення потрібного нейтралізаційного "зсуву" за визначених умов та наявних ресурсів. Тобто вважається, що досягнення потрібного нейтралізаційного "зсуву" кожним суб'єктом СБОУ забезпечить потрібний (визначений) рівень воєнної держави стосовно загрози  $Z$   $U_{ВБпрз}$ :

$$\Delta K_{нзпз}(T_{пр}) \rightarrow U_{ВБпрз}$$

На десятому етапі прогностично оцінюється досягнення потрібного нейтралізаційного "зсуву" системою забезпечення воєнної безпеки держави, тобто досягнення визначеного рівня воєнної безпеки  $U_{ВБвиз}$ :

$$K_{прз}(T_{пр}) - \Delta K_{нзпз}(T_{пр}) \leq K_{порз} \Leftrightarrow U_{ВБпрз} \geq U_{ВБвиз}$$

Якщо за прогнозом ця умова не виконується, то повертаються послідовно до етапів 7, 6, 5. В іншому випадку починається виконання запланованих заходів.

**Висновки й перспективи подальших досліджень**

Таким чином, Таким чином, запропонована методика формування та управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам воєнного характеру для забезпечення визначеного рівня воєнної безпеки держави створює методичне підґрунтя для організації нейтралізації виявленої (прогнозованої) загрози (зниження рівня воєнної небезпеки до прийняттого значення) шляхом обґрунтованого вибору групи невійськових та/або військових суб'єктів та визначення кожному із них часткових завдань. Завдяки комплексному їх використанню за єдиного керівництва досягається синергетичний ефект деескалації загрози та більш економно витрачаються ресурси в секторі безпеки і оборони.

У наступних публікаціях планується розглянути оптимізаційну задачу щодо мінімізації ресурсів, що виділяються державою на забезпечення її воєнної безпеки.



протидії виявленій (прогнозованій) загрози / В.Ю. Богданович, І.Ю. Свида, А.М. Сиротенко // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – К., 2018, № 2 (84). – С. 33–43. **7. Богданович В. Ю.** Когнітивний підхід до визначення завдань складовим інтегрованого потенціалу деескалації загроз військового характеру в системі забезпечення військової безпеки [Текст] / В.Ю. Богданович, І.Ю. Свида, А.М. Сиротенко // Харків: ХУПС: Наука і техніка Повітряних сил Збройних Сил України, 2017, № 4 (29), С. 5–10. **8. Богданович В. Ю.** Синтез моделі управління інтегрованим потенціалом протидії загрозам військового характеру для забезпечення визначеного рівня військової безпеки держави [Текст] / В. Ю. Богданович, А. М. Сиротенко // Київ: НУОУ ім. Івана Черняхівського: Труді університету, 2017, № 6 (145),

С. 5–12. **9. Богданович В. Ю.** Спосіб визначення завдань складовим інтегрованого потенціалу деескалації загроз військового характеру з використанням методу експертно-значущих проміжних сценаріїв [Текст] / В. Ю. Богданович, Г. П. Воробйов, А. М. Прима // Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 70826 від 06.03.2017. **10. Богданович В. Ю.** Теоретико-методологічні основи забезпечення національної безпеки України: Монографія : у 7 т. – Т.4. Військова безпека держави і шляхи її забезпечення / В.Ю. Богданович, І.Ю. Свида, Є.Д. Скулиш; за заг. ред. Є.Д. Скулиша. – К.:Наук.-вид. відділ НА СБ України, 2012. – 464 с.

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ ВОЕННОГО ХАРАКТЕРА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПРЕДЕЛЕННОГО УРОВНЯ ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

<sup>1</sup>*Владимир Юрьевич Богданович (доктор техн. наук, профессор)*

<sup>1</sup>*Іван Юрьевич Свида (доктор техн. наук, профессор)*

<sup>2</sup>*Анатолий Николаевич Сиротенко (канд. техн. наук)*

<sup>1</sup>*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

Рассматривается методика формирования и управления интегрированным потенциалом противодействия угрозам военного характера для обеспечения определенного уровня военной безопасности государства, которая базируется на методе экспертно-значимых промежуточных сценариев, улучшенного метода анализа иерархий, мозгового штурма, Исикавы и сравнения. Методика предусматривает оценивания уровня и характера угрозы военной безопасности государства, определение необходимого нейтрализационного сдвига этой угрозы, формирования группы субъектов сектора безопасности и обороны, подавляющих невоенными силами и средствами, обосновать задачи для каждого субъекта таким образом, чтобы их результативные действия привели к деэскалации обнаруженной (прогнозированной) угрозы к допустимому уровню.

**Ключевые слова:** угроза военного характера, военная безопасность, интегрированный потенциал противодействия, управление интегрированным потенциалом противодействия, модель, система обеспечения военной безопасности, модель, сектор безопасности и обороны.

## THE METHOD OF FORMATION AND CONTROL OF INTERGATED COUNTERACTION POTENTIAL AGAINST MILITARY THREATS TO PROVIDE A CERTAIN LEVEL OF STATE MILITARY SECURITY

*Vladimir Y. Bohdanovych (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Ivan Y. Svyda (Doctor of Military Sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Anatoliy M. Syrotenko (Candidate of Technical Sciences)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Central research institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

The method of formation and control of integrated counteraction potential against military threats is studied in order to provide a certain level of state military security, which is based on the method of expert intermediate scenarios, enhanced hierarchy analyses method, methods of expert evaluation, brainstorming, Ishikawa Expert Assessment Method and comparison.

The methodology involves evaluation of the level and nature of the threat to the state military security, identification of the required neutralization “shift” of this threat, formation a group of security and defense sector entities, mainly non-military, justification of the task for each subject resulting in the effect that would lead to the de-escalation of the detected (predicted) threat to an acceptable level.

According to the control method of integrated counteraction potential, which is the basis of the present methodology, tasks regarding the required level of threat de-escalation are assigned to S subject at the organizational level, but the choice of the necessary means and forces, tactics and actions at the executive level is the prerogative of S subject itself. All actions of each subject are subordinated to the main strategy of its achieving a customized neutralization “shift” and timely adjustment of tasks assigned to other entities in case some subjects do not fulfill such a condition.

*Due to the integrated use of non-military and military forces and resources under unified leadership, the systemic effect of the threat de-escalation and more economical use of resources in the security and defence sector are achieved.*

**Key words:** *military threat, military security, integrated counteraction potential, integrated counteraction potential control, model, security and defence sector.*

#### References

- 1. The concept of the security and defense of Ukraine:** approved. Decree of the President of Ukraine from March 14, 2016 No. 92/2016. [Electron. resource], Access: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/92/2016>.
- 2. National Security Strategy of Ukraine** [Text]: - approved by Presidential Decree Ukraine from 05.26.2015, the number 287.
- 3. Military Doctrine of Ukraine** [Text] .- approved by Presidential Decree Ukraine on September 24, 2015 № 555.
- 4. Ukraine. Laws. About the national security of Ukraine.;** Law of Ukraine from 21<sup>st</sup> of June № 2469-VIII // Legislation of Ukraine on military matters. – Kiev. The voice of Ukraine.
- 5. Bohdanovych V.Yu., Svyda I.Yu., Skulysh Ye.D.,** Theoretical and methodological foundations of national security of Ukraine: Monograph. T.1. Theoretical bases, methods and technologies for ensuring national security of Ukraine. [Teoretykometodolohichni osnovy zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy], edited by E.D. Skulish. Kyiv: scientific publ. of the department National Academy of Security Service of Ukraine. 2012, 464 p.
- 6. Bogdanovych V. YU. The method of forming a group of subjects of the security and defense sector for complex counteraction to the detected predicted threat.** V.YU. Bogdanovych, I.YU. Svida, A.M. Syrotenko // Collection of the scientific works of the Central research institute of the Armed Forces of Ukraine : - Kiev., 2018. - Vip. 2 (84) - P. 33-43.
- 7. Bogdanovych V.YU. The cognitive approach to the task of defining the integrated potential of de-escalation of military threats in the system ensuring military security.** / V.YU. Bogdanovych, I.YU. Svida, A.M. Syrotenko // Science and technology PS ZS Ukraines: scien.-teh. mag. HUPS. - H., 2017. - Vip. 4 (29) - P. 5-10.
- 8. Bogdanovych V.YU. Synthesis of the management model by the integrated potential of counteraction to military threats to ensure a certain level of military security of the state / V.YU. Bogdanovych, A.M. Syrotenko // Proceedings of the University: collection of scientific works of the National University of Defense of Ukraine. - K., 2017. - Vip. 6 (145) - P. 5-12.**
- 9. Bogdanovych V.YU. The method of defining tasks is a component of the integrated potential of de-escalation of military threats using the method of expertly-meaning intermediate scenarios** V.YU. Bogdanovych, G.P. Vorobiov, A.M. Prima // A certificate of registration of copyright for a work from 06.03.2017 № 70826 - Kiev, 2017.
- 10. Bohdanovych V.Yu., Svyda I.Yu., Skulysh Ye.D. (2012),** Theoretical and methodological foundations of national security of Ukraine: Monograph. T.1. [Teoretykometodolohichni osnovy zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy], Kyiv: Nauk.-vyd.viddil NA SB Ukrainy, 464 p.

*Валентин Юрійович Мазур (канд. військ. наук, доцент)*

*Олег Васильович Боровик (доктор техн. наук, професор)*

*Роман Васильович Рачок (канд. техн. наук, професор)*

*Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна*

## МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ МАРШРУТІВ СУДЕН В СИСТЕМІ ВИСВІТЛЕННЯ НАДВОДНОЇ ОБСТАНОВКИ

У статті вирішена задача класифікації даних про маршрути руху суден в системі висвітлення надводної обстановки. З метою такої класифікації запропоновано використання кластеризації, метод проведення якої розроблений в межах даного дослідження. Особливістю методу є урахування специфіки представлення даних про маршрути руху суден в інформаційно-телекомунікаційній системі морської охорони «Гарт-12». Ця специфіка врахована у метриці та особливостях формування маршрутних кластерів та визначення їх центрів. Такий аналіз даних в системі висвітлення надводної обстановки дозволить вирішувати задачу оцінки ризиків шляхом виявлення просторових аномалій в маршрутах руху суден.

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна система морської охорони «Гарт-12», система висвітлення надводної обстановки, кластеризація, метрика, маршрут.

### Вступ

Специфічним і важливим видом національної безпеки є прикордонна безпека, яка повинна дозволяти захищати інтереси особистості, суспільства і держави у прикордонній сфері. Основні завдання в сфері прикордонної безпеки - забезпечення недоторканності державного кордону та охорони суверенних прав України в її виключній (морській) економічній зоні, покладаються на Державну прикордонну службу України (ДПСУ).

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Ефективна охорона морської ділянки кордону є важливою складовою забезпечення національної безпеки нашої держави. В сучасних умовах ця ефективність значною мірою залежить від своєчасного опрацювання значних обсягів даних про надводну обстановку. Постійне зростання обсягів цих даних, які необхідно врахувати при прийнятті рішень, обумовило останнім часом активний розвиток відповідної інформаційної складової сучасної моделі охорони кордону. Ця складовою реалізована в інформаційно-телекомунікаційній системі (ІТС) морської охорони «Гарт-12» важливим елементом якої є система висвітлення надводної обстановки. Однак, на сьогодні ця система і «Гарт-12» в цілому використовується лише для обліку і відображення даних про рух суден в Азово-Чорноморській акваторії. У межах даної системи існує можливість отримання інформації про поточне положення суден, порт відправки та порт призначення, тип вантажу. При виборі судна у системі висвітлення надводної обстановки існує можливість перегляду попередніх точок його маршруту отриманих в певні дискретні моменти часу. Однак, на основі цих даних визначення потенційних загроз

людиною-експертом та подальше прийняття ефективного рішення є достатньо складним завданням. Допомогти в його вирішенні може створення інтегрованої до ІТС «Гарт-12» системи оцінки ризиків. Одним з аспектів такої оцінки є виявлення просторових аномалій руху, які проявляються у відхиленнях руху суден від типових маршрутів. Однак дискретність даних про маршрути та неспівпадіння у часі окремих відліків суттєво ускладнює цю задачу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор.** Задача виявлення просторових та часових аномалій руху суден була поставлена у дослідженні [1]. Однак при цьому було лише визначено доцільність проведення такого аналізу з використанням геообробки і не визначено можливих напрямів вирішення цього завдання.

Значний розвиток у вирішенні задачі виявлення просторових аномалій був зроблений у дослідженні [2]. У цій роботі було визначено підходи до просторового аналізу даних в інформаційно-телекомунікаційній системі морської охорони «Гарт-12», розроблено метрику порівняння даних про окремі маршрути. Однак запропонована у [2] метрика не позбавлена ряду недоліків. Окрім цього у даному дослідженні лише визначена потреба у класифікації даних про маршрути з використанням введеної метрики, але не сформовано відповідного методу.

Використання класичних методів кластеризації [3-5] для класифікації маршрутів руху морських суден обмежується складністю визначення центрів відповідних кластерів, які представляють собою впорядковані у часі множини точок та

встановлення належності до кластерів окремих маршрутів.

Відповідно до цього, вирішення задачі виявлення просторових аномалій руху суден в системі висвітлення надводної обстановки потребує уточнення відповідної метрики та розробки методу кластеризації маршрутів.

**Мета статті** – розробка методу кластеризації маршрутів руху суден в системі висвітлення надводної обстановки на основі уточненої метрики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

В базі даних інформаційно-телекомунікаційної системи морської охорони «Гарт-12» інформація про пересування суден зберігається у вигляді впорядкованої послідовності точок з координатами суден у певні моменти часу. Сукупність цих координат для *i*-того судна можна позначити впорядкованою множиною (кортежем)

$M_i = \{(x_1, y_1), \dots, (x_{k_i}, y_{k_i})\}$ , де  $k_i$  – потужність множини  $M_i$  [2]. Ступінь подібності маршрутів, які описуються двома такими множинами  $M_1$  та  $M_2$ , можливо визначити на основі введення відповідної метрики  $R(M_1, M_2)$ .

У дослідженні [2], для розрахунку  $R(M_1, M_2)$  запропоноване проводити відновлення першого маршруту між заданими у множині  $M_1$  точками з використанням апроксимації. Тоді величина  $R(M_1, M_2)$  визначається, як середнє відхилення

Тоді

$$R_{\min ij} = \sqrt{\left(x_j - \frac{y_j \cdot k_i + x_j - b_i \cdot k_i}{1 + k_i^2}\right)^2 + \left(y_j - k_i \cdot \frac{y_j \cdot k_i + x_j - b_i \cdot k_i}{1 + k_i^2} - b_i\right)^2} \quad (4)$$

Однак, можливий випадок, коли величина  $x$ , отримана з (3) може знаходитись поза діапазоном  $[x_i, x_{i+1}]$ . Тоді пропонується знаходити  $R_{\min ij}$  як найменшу відстань від  $j$ -тої

точок множини  $M_2$ , які описують другий маршрут від відновленого першого маршруту

$$R(M_1, M_2) = \frac{\sum_{j=1}^{k_2} R_{\min j}}{k_2}, \quad (1)$$

де  $R_{\min j}$  є найкоротшою відстанню від  $j$ -тої точки множини  $M_2$  до відновленого першого маршруту.

Обчислення  $R_{\min j}$  можливо проводити наступним чином

$$R_{\min j} = \min_i (R_{\min ij}), \quad (2)$$

де  $R_{\min j}$  – найменша відстань від  $j$ -тої точки множини  $M_2$  до  $i$ -того сегменту прямої, який поєднує точки  $(x_i, y_i)$  і  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  множини  $M_1$ .

При використанні лінійної апроксимації сегментів першого маршруту, координати  $(x, y)$  найближчої точки на прямій до визначеної точки  $(x_j, y_j)$  можливо отримати з виразів [2]

$$x = \frac{y_j \cdot k_i + x_j - b_i \cdot k_i}{1 + k_i^2}, \quad (3)$$

$$y = k_i \cdot x + b_i,$$

де  $k_i, b_i$  – параметри, що описують  $i$ -тий сегмент прямої, який поєднує точки  $(x_i, y_i)$  і  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  множини  $M_1$ .

точки множини  $M_2$  до кінців відрізка (точок  $(x_i, y_i)$  і  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  множини  $M_1$ ).

Остаточнo

$$R_{\min ij} = \begin{cases} \sqrt{\left(x_j - \frac{y_j \cdot k_i + x_j - b_i \cdot k_i}{1 + k_i^2}\right)^2 + \left(y_j - k_i \cdot \frac{y_j \cdot k_i + x_j - b_i \cdot k_i}{1 + k_i^2} - b_i\right)^2}, & x \in [x_i, x_{i+1}] \\ \min(\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}, \sqrt{(x_j - x_{i+1})^2 + (y_j - y_{i+1})^2}), & x \notin [x_i, x_{i+1}] \end{cases} \quad (5)$$

Послідовне використання виразів (5), (2), (1) визначає методу обчислення метрики  $R(M_1, M_2)$ .

Однак, визначена таким чином метрика не є

комутативною. Тобто  $R(M_1, M_2)$  може відрізнитись від  $R(M_2, M_1)$ . На рисунку 1 представлені результати обчислення  $R(M_1, M_2)$  і  $R(M_2, M_1)$ .

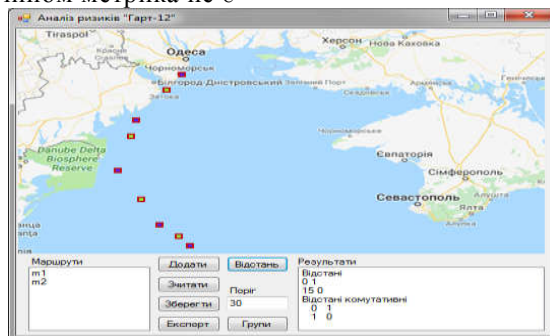


Рис. 1 – Розрахунок метрик  $R(M_1, M_2)$  і  $R(M_2, M_1)$

Для випадку вихідних даних маршрутів наведених на рисунку 1,  $R(M_1, M_2)=1$ ,  $R(M_2, M_1)=15$ . Відсутність властивості комутативності пояснюється тим, що при відновленні першого маршруту, точки другого

є близькими до відповідних відрізків. Однак, коли апроксимуються сегменти другого маршруту, точки першого знаходяться на більшій відстані (рисунок 2).

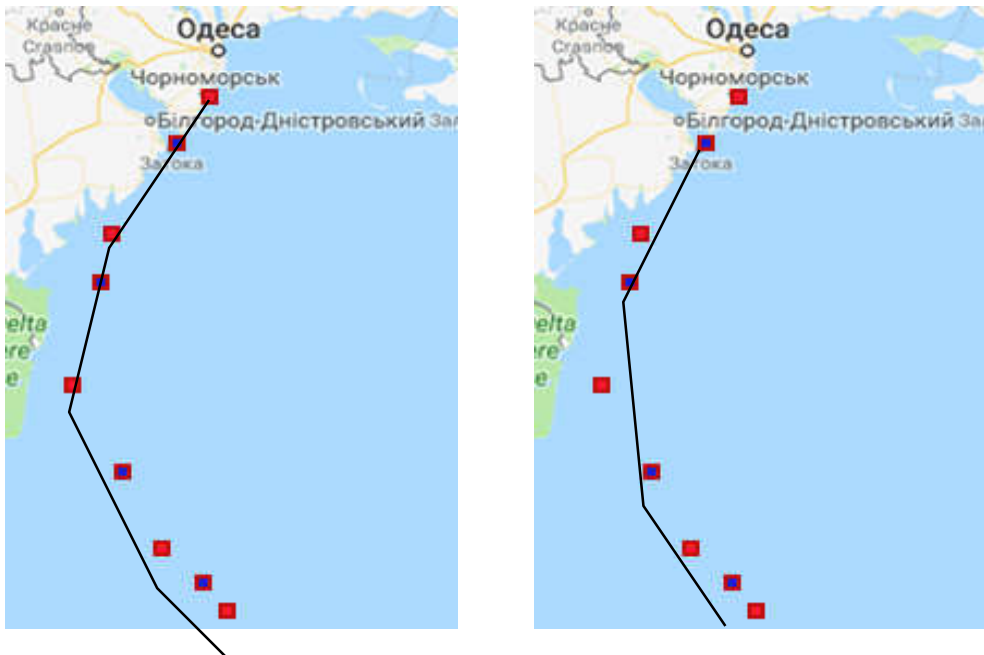


Рис. 2 – Відмінності при апроксимації різних маршрутів

З метою уникнення неоднозначності при визначенні метрики та забезпечення її

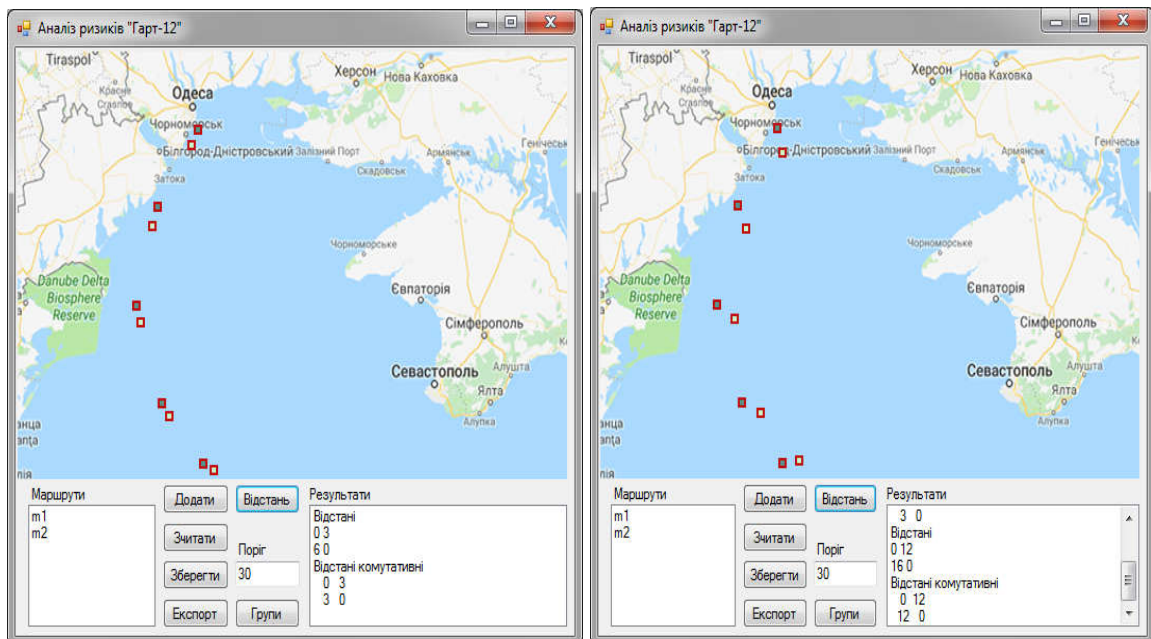
комутативності пропонується відстань між маршрутами обчислювати за виразом

$$R^k(M_1, M_2) = \min(R(M_1, M_2), R(M_2, M_1)) \quad (6)$$

Розглянемо приклади обчислення метрики (6) для різних варіантів маршрутів з поступовим зменшенням їх геометричної подібності (рисунок 3).

отриманих значень (6) показала, що суттєва для класифікації відмінність між маршрутами характерна для випадків, коли вони перевищують 30 км. Однак, ризики порушення прикордонного законодавства судами суттєво зростають при перевищенні значень  $R^k(M_1, M_2)$  порогового рівня 10 км.

Як впливає з рисунку 3, при віддаленні дискретних точок представлення двох досліджуваних маршрутів метрика (6) поступово зростає. Експертна оцінка





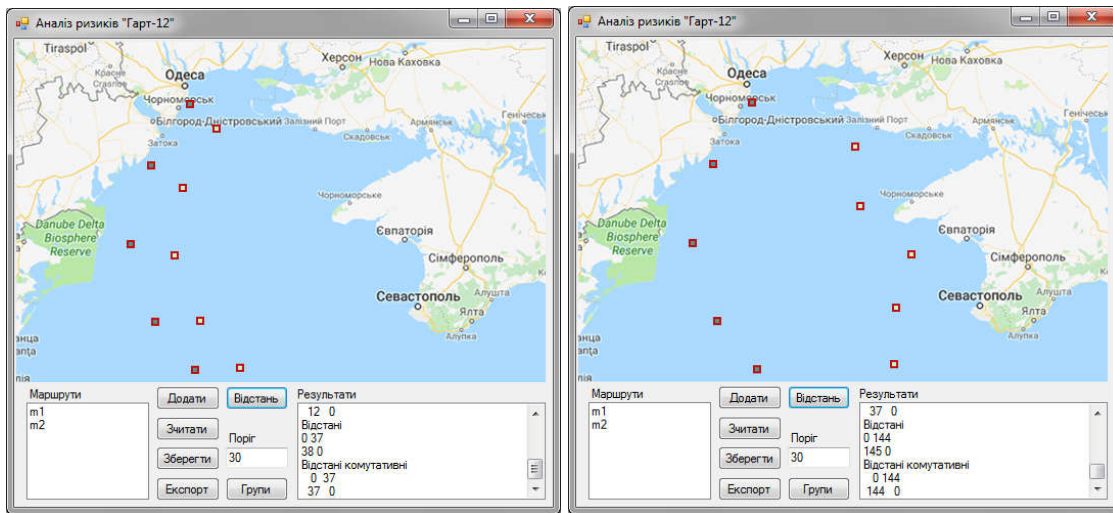


Рис. 3 – Приклади обчислення метрики (6)

Встановлення геометричної близькості маршрутів за (6) дає можливість провести їх подальшу класифікацію та поділ на кластери (кластеризацію) з визначенням центральних в цих кластерах маршрутів. Ці маршрути в подальшому пропонується використовувати як еталонні, відстані від яких можна застосовувати для класифікації нових даних, що поступають до системи і подальшої оцінки ризиків на основі визначення геометричних просторових аномалій руху суден.

Для проведення кластеризації маршрутів на основі наявних у базі «Гарт-12» даних пропонується побудувати матрицю відстаней  $R$ . Елементи цієї матриці  $r_{ij}$  визначимо наступним чином

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & i = j \\ R^k(M_i, M_j), & i \neq j \end{cases} \quad (7)$$

Після формування матриці  $R$  для кожного її рядка  $i$  обчислюється:

- кількість елементів у рядку  $n_s$ , які не перевищують порогового для кластеризації рівня  $r_{pk}$  (даний рівень визначається на основі експертної оцінки);

- сумарна відстань до маршрутів  $s_v$  відстані до яких не перевищують порогового для кластеризації рівня  $r_{pk}$ .

На основі отриманих даних, які сортується за зменшенням  $n_s$  (для елементів з однаковими значеннями  $n_s$  здійснюється сортування за збільшенням  $s_v$ ) формується впорядкована множина  $M_s$ , яка містить елементи  $(i, n_s(i), s_v(i))$ .

На основі множини  $M_s$ , здійснюється формування кластерів та включення до них маршрутів (класифікація маршрутів) за наступною методикою:

1. Якщо для першого елементу множини  $M_s$   $n_s(i) > 0$ , створюється новий кластер з центральним маршрутом  $i$  і до створеного кластеру додаються всі маршрути, відстань до яких від центрального маршруту не перевищує рівня  $r_{pk}$ .
2. З множини  $M_s$ , видаляється перший елемент  $i$ , при виконанні умови  $n_s(i) > 0$ , всі елементи які відповідають маршрутам доданим до кластера у попередньому кроці.
3. Кроки (1-2) повторюються до тих пір, поки потужність множини  $M_s$  є більшою за 0.

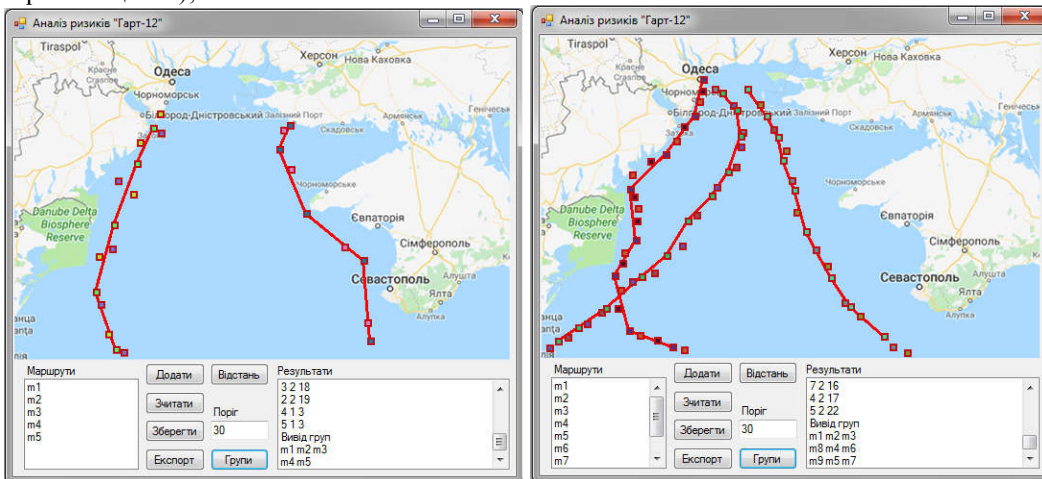


Рис. 4 – Приклади кластеризації даних про маршрути

Описаний вище метод кластеризації маршрутів заданих дискретними відліками в системі висвітлення надводної обстановки отримав алгоритмічну і програмну реалізацію з використанням системи програмування Visual Studio Express Edition та мови програмування С#. З використанням розробленої програми проведена класифікація даних про маршрути, результати якої представлені на рисунку 4 (центральні маршрути кластерів лінійно апроксимовані).

В результаті аналізу наявних даних в ІТС «Гарт-12» з використанням описаного вище методу кластеризації визначаються типові маршрути руху (центри відповідних кластерів). З використанням метрики (6) для нових даних, які поступають до системи висвітлення надводної обстановки, можливо встановити їх належність до одного з стандартних маршрутів та оцінивши ступінь їх подібності, провести оцінку ризиків.

#### *Література*

**1. Рачок, Р. В.** Формування концепції розбудови геоінформаційної системи у сфері забезпечення прикордонної безпеки / Р. В. Рачок // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2017. – № 2(72). – С. 295–310. **2. Боровик, О. В.** Визначення підходів до просторового аналізу даних в інформаційно-телекомунікаційній системі морської охорони «Гарт-12» / О. В. Боровик, Р. В. Рачок, В. Ю. Мазур // Збірник наукових праць Національної академії Державної

#### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

У роботі деталізована методика обчислення метрики для встановлення міри подібності маршрутів суден на основі даних в ІТС морської охорони «Гарт-12». Для забезпечення комутативності цієї метрики, проведено її уточнення.

З метою класифікації маршрутів розроблено метод кластеризації, який дозволяє встановивши належність даних про окремі маршрути до кластерів, визначити їх центри, як маршрути, сумарна відстань від яких до інших маршрутів у кластері є мінімальною.

Проведення кластеризації наявних даних про маршрути дозволяє в подальшому з використанням запропонованої метрики визначити просторові аномалії руху суден та проводити оцінку ступеня ризиків порушення прикордонного законодавства.

Напрямами подальших досліджень є формування методики оцінки ризиків на основі аналізу просторових аномалій руху суден.

прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2018. – № 1(75). – С. 295–310. **3. Мандель І. Д.** Кластерный анализ. - М.: Финансы и статистика, 1988. **4. Олдендерфер М. С.,** Блэшфилд Р. К. Кластерный анализ / Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ.; Под. ред. И. С. Ен юкова. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 215 с. **1. A.K. Jain and R.C. Dubes.** Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988. **2. R. Ng and J. Han.** Efficient and Effective Clustering Method for Spatial Data Mining.

#### **МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ МАРШРУТОВ СУДОВ В СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ НАДВОДНОЙ ОБСТАНОВКИ**

*Валентин Юриевич Мазур (канд. воен. наук, доцент)  
Олег Васильевич Боровик (докт. техн. наук, профессор)  
Роман Васильевич Рачок (канд. техн. наук, доцент)*

*Национальная академия Государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина*

*В статье решена задача классификации данных о маршрутах движения судов в системе освещения надводной обстановки. С целью такой классификации предложено использование кластеризации, метод проведения которой разработан в пределах данного исследования. Особенностью метода есть учет специфики представления данных о маршрутах движения судов в информационно-телекоммуникационной системе Морской охраны «Гарт-12». Эта специфика учтена в метрике и особенностях формирования маршрутных кластеров и определение их центров. Такой анализ данных в системе освещения надводной обстановки позволит решить задачу оценки рисков путем выявления пространственных аномалий в маршрутах движения судов.*

*Описаний в роботі метод кластеризації маршрутів заданих дискретними відліками в системі освітлення надводної обстановки отримав алгоритмічну і програмну реалізацію з використанням системи програмування Visual Studio Express Edition і мови програмування С#. З використанням розробленої програми проведена класифікація даних про маршрути. В результаті аналізу наявних даних в інформаційно-телекомунікаційній системі «Гарт-12» з використанням описаного в роботі методу кластеризації визначаються типові маршрути руху.*

движения (центры соответствующих кластеров). С целью классификации маршрутов разработан метод кластеризации, который позволяет определив принадлежность данных об отдельных маршрутах к кластеру можно определить их центры, как маршруты, суммарное расстояние от которых к другим маршрутам в кластере есть минимальным.

С использованием определенной метрики для новых данных, которые поступают к системе освещения надводной обстановки, возможно определить их принадлежность к одному из стандартных маршрутов и проведя оценку степени их сходства провести оценку рисков. Направлениями дальнейших исследований есть формирование методики оценки рисков на основе анализа пространственных аномалий движения судов.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационная система Морской охраны «Гарт-12», система освещения надводной обстановки, кластеризация, метрика, маршрут.

## METHOD OF CLUSTERIZATION OF VESSELS ROUTES IN THE SYSTEM OF COVERING THE SITUATION AT SEA

*Valentin Y. Mazur (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)*

*Oleh V. Borovyk (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Roman V. Rachok (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

*Bogdan Khmelniysky National Academy of the State Border Service of Ukraine, city of Khmelniysky, Ukraine*

The article solves the problem of classification of data on the routes of the vessels in the system of covering the situation at sea. For the purpose of this classification, the use of clusterization, the method of conducting of which was developed within the framework of this study, is proposed. The peculiarity of the method is to take into account the specificity of presentation the data on the routes of the vessels in the information and telecommunication system of marine guard "Gart-12". This specificity is taken into account in the metric and features of formation of route clusters and definition of their centers. Such an analysis of the data in the system of illumination of the surface environment will solve the problem of risk assessment by identifying spatial anomalies in the routes of the vessels.

Described in the work method of clustering routes specified by discrete reports in the system of illumination of the above-ground situation, received algorithmic and software implementation using a programming system Visual Studio Express Edition and a programming language C#.

Using the developed program, a classification of the route data was carried out. As a result of analysis of the available data in the information system of the «Hart-12» using the clustering method described in the work, typical routes of movement in the (center of the corresponding cluster are determined).

With the aim of classifying routes, a clustering method has been having determined that allows the identified data belonging to individual routes to the cluster to be determined by their centers as routes the total distance from which to the other routes in the cluster is minimal. With the use of a certain metric for new data that comes to the system of lighting the surface situation it is possible to determine their belonging to one of the standard routes and having conducted the assessment of their similarity to carry of their out a risk assessment.

Directions of further research is the formation of a methodology for risk assessment based on the analysis of spatial anomalies of vessel traffic.

**Key words:** information and telecommunication system of marine guarding "Gart-12", system of covering the situation at sea, clusterization, metric, route.

### References

**1. Rachok, R.V.** (2017) Formation of the concept of building a geographic information system in the field of border security provision [Formuvannya kontseptsiy i rozbudovy heoinformatsiynoyi systemy u sferi zabezpechennya prykordonnoyi bezpeky] / R.V. Rachok // Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences / Heads. Ed. Alekseyenko B. M. - Khmelniysky: NADPSU, 2017. - No. 2 (72). - P. 295-310. **2. Borovyk, O.V.** (2018) Definition of approaches to spatial analysis of data in the information and telecommunication system of maritime security "Gart-12" [Vyznachennya pidkhodiv do prostorovoho analizu danykh v informatsiyno-telekomunikatsiyniy

systemi mors koyi okhorony «Hart-12»] / O. V. Borovyk, R. V. Rachok, V. Yu. Mazur // Collection of scientific works of the National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine. Series: Military and Technical Sciences / Heads. Ed. Alekseyenko B. M. - Khmelniysky: NADPSU, 2018 - No. 1 (75). - P. 295-310. **3. Mandel, I. D.** (1988) Cluster analysis. - Moscow: Finance and Statistics. **4. Oldender M. S., Blasfield R. K.** (1989) Cluster Analysis / Factor, Discriminant, and Cluster Analysis: translated by I. S. Yenukova. - Moscow: Finance and Statistics, 215 p. **5. I. A.K. Jain and R.C. Dubes.** Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall, 1988. **2. R. Ng and J. Han.** Efficient and Effective Clustering Method for Spatial Data Mining.



УДК 355.6:355.7

*Іван Юрійович Марко* (доктор екон. наук, професор)<sup>1</sup>*Ірина Матвіївна Чернишова* (канд. військ. наук, с.н.с.)<sup>1</sup>*Тарас Володимирович Череватий*<sup>2</sup><sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна<sup>2</sup>Головне квартирно-експлуатаційне управління Збройних Сил України, Київ, Україна

## МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ ФІНАНСОВИХ РЕСУРСІВ МІЖ ЗАХОДАМИ РОЗКВАРТИРУВАННЯ З'ЄДНАНЬ (ЧАСТИН) У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

У статті представлена удосконалена методика розподілу виділених фінансових ресурсів між заходами, що виконуються під час розквартирування з'єднань (частин) Збройних Сил України в польових умовах з метою підтримання певного рівня боєздатності цих з'єднань (частин). Методика призначена для обґрунтування обсягу фінансових ресурсів необхідних для проведення успішного розквартирування з'єднання (частини) у польових умовах, а також для визначення порядку розподілу виділених фінансових ресурсів між заходами з розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах. Застосовувати її пропонується в штабах (службах) під час визначення потреби витратних матеріальних запасів, необхідних для здійснення зазначеного розквартирування, а також для оптимального розподілу виділених фінансових ресурсів між заходами з розквартирування. Запропонована методика має певні переваги: по-перше формалізує взаємозв'язок результатів розквартирування військ (сил) в польових умовах з досяжним рівнем боєздатності; по-друге містить в собі механізм розрахунку необхідних фінансових ресурсів для здійснення успішного розквартирування з'єднань (частин); по-третє, дозволяє оптимізувати розподіл виділених фінансових ресурсів між заходами розквартирування з'єднання (частини) з метою максимізації рівня його боєздатності. Застосування удосконаленої методики надасть можливість уникнути помилок під час визначення необхідних фінансових ресурсів для розквартирування військ (сил) в польових умовах, а також здійснити більш обґрунтований розподіл виділених фінансових ресурсів.

**Ключові слова:** розквартирування з'єднань (частин) в польових умовах; розподіл фінансових ресурсів; рівень боєздатності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сьогодні значна увага приділяється питанням підтримання бойової здатності Збройних Сил України (далі – ЗС України), а також витрачання бюджетних коштів на їх забезпечення. Вимоги до досягнення ЗС потрібного рівня боєздатності змушують більш детально обґрунтовувати фінансові витрати на їх потреби, зокрема під час розквартирування військ (сил) у польових умовах. Отже, розгляд питань із обґрунтування розподілу фінансового ресурсу між заходами розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах у взаємозв'язку із рівнем їх боєздатності є актуальним завданням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання обґрунтування фінансових витрат на оборону розглядається в багатьох джерелах вітчизняних та зарубіжних науковців, зокрема в [1, 2]. Зазначене питання завжди було актуальним та в основному досліджувалося з точки зору взаємозв'язку між обсягом оборонних видатків та розвитком економіки держави в цілому. В умовах обмеженості ресурсів необхідно здійснювати розподіл виділених фінансових ресурсів на ті чи інші заходи з метою максимізації впливу цих заходів на боєздатність з'єднань (частин). До того ж, питання визначення необхідного фінансового

ресурсу, зокрема для розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах та розподілу цих ресурсів між заходами із розквартирування військ потребують удосконалення та більш детального дослідження.

Враховуючи це **мета статті** полягає у представленні удосконаленої методики розподілу виділених фінансових ресурсів на заходи розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах з метою максимізації ймовірності їх успішного виконання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Методика розподілу фінансових ресурсів між заходами з розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах (далі – Методика) призначена для обґрунтування обсягу фінансових ресурсів необхідних для проведення успішного розквартирування з'єднання (частини) у польових умовах, а також для визначення порядку розподілу виділених фінансових ресурсів між заходами з розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах.

Застосовувати Методику пропонується в штабах (службах) під час визначення потреби витратних матеріальних запасів, необхідних для здійснення розквартирування з'єднань (частин) в

польових умовах, а також для оптимального розподілу виділених фінансових ресурсів для розквартирування з'єднань (частин) в польових умовах між заходами з розквартирування.

Методика надасть можливість встановити взаємозв'язок між потрібним рівнем боєздатності з'єднання (частини) та обсягом фінансових ресурсів, які необхідно виділити для забезпечення цього рівня. Крім того, Методика дозволить здійснити розподіл зазначених ресурсів між заходами з розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах.

Передумовами застосування Методики доцільно вважати таке.

1. Розквартирування військ у польових умовах – це розміщення з'єднань (частин, підрозділів), установ, військово-навчальних закладів у відведених, але не обладнаних для них місцях (таборах), а також створення необхідних умов для їх повсякденної діяльності та підтримання постійної бойової готовності.

2. Основними заходами розквартирування військ у польових умовах є розгортання та обладнання: наметового містечка або містечка з використанням збірно-розбірних житлових конструкцій; пунктів господарського забезпечення; учбових місць; медичного пункту; санітарних пунктів; місць стоянки техніки; місць обслуговування та ремонту техніки.

Із цих заходів, на погляд автора, пріоритетними з точки зору важливості (впливу на боєздатність) та таких, що потребують більших затрат щодо з'єднання (частини), є заходи, пов'язані зі створенням:

наметового містечка або містечка з використанням збірно-розбірних житлових конструкцій (захід № 1);

пунктів господарського, зокрема продовольчого, забезпечення (захід № 2);

учбових місць (захід № 3).

3. Очевидно, що заходи з розквартирування з'єднання (частини), поряд із заходами інших видів забезпечення, певною мірою будуть впливати на досяжний рівень  $\theta$  боєздатності цих військових формувань. Якщо прийняти виконаними заходи, які безпосередньо обумовлюють боєздатність (підготовка особового складу та забезпеченість матеріально-технічними засобами) з'єднання (частини), тоді можна вважати залежність рівня боєздатності з'єднання (частини) лише від результатів заходів з їх розквартирування.

Методика реалізується в п'ять етапів. Схема Методики розподілу фінансових ресурсів між заходами з розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах представлено на рис. 1.

На першому етапі визначаються заходи з розквартирування з'єднання (частини) у польових умовах та вихідні дані для реалізації зазначених заходів. Тобто, визначається склад з'єднання (частини), що розквартирується;  $N$ , (люд.) – чисельність особового складу; озброєння та військова техніка, яку необхідно розміщувати;

місце розташування; пора року. За кожним  $i$ -м заходом встановлюються норми забезпечення  $\alpha_{oi}$ , які можуть приймати значення в межах від  $\alpha_{\min oi}$  (мінімальне значення) до  $\alpha_{\max oi}$  (максимальне значення). Встановлюється площина  $S$  намету або збірно-розбірної житлової конструкції ( $m^2$ ) та його вартість  $c_1$  (грн.), а також об'єм  $V$  польової кухні (л,  $dm^3$ ) та її вартість  $c_2$  (грн.). Крім того, визначається вартість  $c_3$  (грн.) місць для навчання, яка враховує вартість навчально-матеріальної бази.

На другому етапі, враховуючи попередньо визначені нормативи, розраховуються нормативні (плановані) значення показників розквартирування. Так для заходу №1 розгортання та обладнання наметового містечка обчислюється: по-перше, розрахункова кількість  $M_{01}$  наметів або збірно-розбірних житлових конструкцій (од.) за формулою

$$M_{01} = \frac{\alpha_{o1} \cdot N}{S}; \quad (1)$$

по-друге, розрахункова вартість  $C_{01}$  усіх потрібних наметів (розрахункова кількість) або збірно-розбірних житлових конструкцій (грн.) за формулою

$$C_{01} = c_1 \cdot M_{01}. \quad (2)$$

Для заходу № 2 розгортання та обладнання пунктів харчового забезпечення обчислення відбуваються аналогічно. Розрахункова кількість  $M_{02}$  польових кухонь (од.) обчислюється формулою

$$M_{02} = \frac{\alpha_{o2} \cdot N}{V}. \quad (3)$$

Розрахункова вартість  $C_{02}$  усіх потрібних (розрахункова кількість) польових кухонь (грн.) обчислюється так

$$C_{02} = c_2 \cdot M_{02}. \quad (4)$$

Для заходу № 3 розгортання та обладнання місць для навчання розрахункова кількість  $M_{03}$  місць для навчання (од.) обчислюється формулою

$$M_{03} = \frac{N}{L}, \quad (5)$$

де  $L$  – кількість військовослужбовців, що одночасно навчаються в одному учбовому місці (люд.).

Розрахункова вартість  $C_{03}$  усіх потрібних (розрахункова кількість) місць для навчання (грн.) обчислюється так

$$C_{03} = c_3 \cdot M_{03}. \quad (6)$$

Результатом другого етапу є визначення обсягу необхідних фінансових ресурсів  $C_0$  для повного розквартирування певного з'єднання (частини) в польових умовах, що обчислюється за формулою

$$C_0 = C_{01} + C_{02} + C_{03}. \quad (7)$$

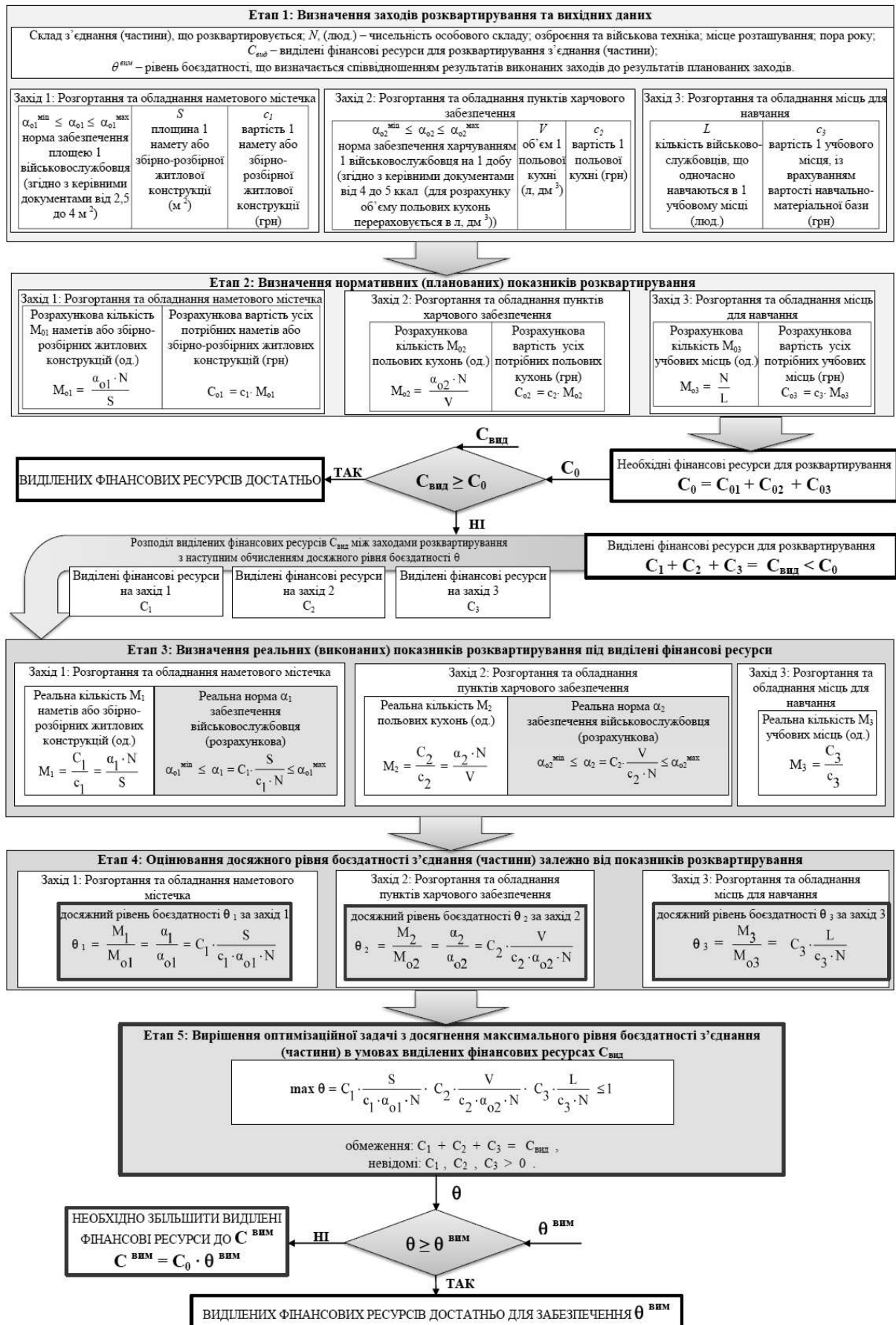


Рис. 1. Схема Методики розподілу фінансових ресурсів між заходами розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах



Якщо, фінансових ресурсів виділяється менше ніж необхідно  $S_{вид} < C_0$ , то виділені ресурси слід перерозподілити між заходами з розквартирування ( $S_{вид} = C_1 + C_2 + C_3$ ) таким чином, щоб максимізувати рівень боєздатності  $\theta$  з'єднання (частини), що розквартирується.  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$  – фінансові ресурси, що виділяються на відповідний захід.

Отже, на третьому етапі визначаються реальні (виконані) показники розквартирування під виділені фінансові ресурси. Так, для заходу №1 розгортання та обладнання наметового містечка обчислюється реальна кількість  $M_1$  наметів або збірно-розбірних житлових конструкцій (од.) за формулою

$$M_1 = \frac{C_1}{c_1} = \frac{\alpha_1 \cdot N}{S}; \quad (8)$$

де  $\alpha_1$  – реальна норма забезпечення військовослужбовців площею.

При цьому цей показник знаходиться в межах від  $\alpha_{01}^{min}$  (мінімальне значення) до  $\alpha_{01}^{max}$  (максимальне значення) відповідно до законодавчо встановлених нормативів і розраховується за формулою

$$\alpha_{01}^{min} \leq \alpha_1 = C_1 \cdot \frac{S}{c_1 \cdot N} \leq \alpha_{01}^{max}. \quad (9)$$

Для заходу №2 розгортання та обладнання пунктів харчового забезпечення обчислення відбуваються аналогічно. Так, реальна кількість  $M_2$  наметів або збірно-розбірних житлових конструкцій (од.) за формулою

$$M_2 = \frac{C_2}{c_2} = \frac{\alpha_2 \cdot N}{V}; \quad (10)$$

де  $\alpha_2$  – реальна норма забезпечення військовослужбовців харчуванням.

При цьому цей показник знаходиться в межах від  $\alpha_{02}^{min}$  (мінімальне значення) до  $\alpha_{02}^{max}$  (максимальне значення) відповідно до законодавчо встановлених нормативів і розраховується за формулою

$$\alpha_{02}^{min} \leq \alpha_2 = C_2 \cdot \frac{V}{c_2 \cdot N} \leq \alpha_{02}^{max}. \quad (11)$$

Для заходу №3 розгортання та обладнання місць для навчань реальна кількість  $M_3$  місць для навчань (од.) обчислюється за формулою

$$M_3 = \frac{C_3}{c_3}. \quad (12)$$

На четвертому етапі оцінюється досяжний рівень  $\theta$  боєздатності з'єднання (частини) залежно від показників розквартирування за кожним заходом. Так, для заходу №1 розгортання та обладнання наметового містечка визначається досяжний рівень боєздатності  $\theta_1$ . Враховуючи (1) та (8), отримаємо таку залежність

$$\theta_1 = \frac{M_1}{M_{01}} = \frac{\alpha_1}{\alpha_{01}} = C_1 \cdot \frac{S}{c_1 \cdot \alpha_{01} \cdot N}. \quad (13)$$

Аналогічно для заходу №2 розгортання та обладнання пунктів харчового забезпечення визначається досяжний рівень боєздатності  $\theta_2$ . Враховуючи (3) та (10), отримаємо таку залежність

$$\theta_2 = \frac{M_2}{M_{02}} = \frac{\alpha_2}{\alpha_{02}} = C_2 \cdot \frac{V}{c_2 \cdot \alpha_{02} \cdot N}. \quad (14)$$

Досяжний рівень боєздатності  $\theta_3$  для заходу №3 розгортання та обладнання місць для навчань враховуючи (5) та (12) обчислюється за формулою

$$\theta_3 = \frac{M_3}{M_{03}} = C_3 \cdot \frac{L}{c_3 \cdot N}. \quad (15)$$

На п'ятому етапі вирішується оптимізаційна задача. Розглядуваний процес розквартирування з'єднання (частини) вважається реалізованим, якщо виконані всі зазначені вище незалежні один від одного заходи. Отже, події, пов'язані з цими заходами, є сумісними та незалежними. Виходячи з цього, ймовірність впливу результатів проведених заходів з розквартирування з'єднання (частини) у польових умовах на боєздатність з'єднань (частин) може обчислюватися із використанням теореми добутку ймовірностей для незалежних подій таким чином [5]:

$$\theta = \theta_1 \cdot \theta_2 \cdot \theta_3. \quad (16)$$

Із (16) випливає, що обчислення величини  $\theta$  здійснюється на основі визначених згідно (13–15) значень  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ . Отже,

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_1 \cdot \theta_2 \cdot \theta_3 = \\ &= \frac{C_1 \cdot S}{c_1 \cdot \alpha_{01} \cdot N} \cdot \frac{C_2 \cdot V}{c_2 \cdot \alpha_{02} \cdot N} \cdot \frac{C_3 \cdot \alpha_{03}}{c_3 \cdot N}. \quad (17) \end{aligned}$$

Очевидно, що фінансові ресурси  $C_{вид} \leq C_0$ , які виділяються на проведення розглядуваних заходів розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах, будуть розподілятися між цими заходами таким чином, щоб виконувалося таке співвідношення:  $C_1 + C_2 + C_3 = C_{вид}$ . Отже, виходячи з цього, можна розглядати оптимізаційну задачу, яка передбачає розподіл виділених фінансових ресурсів  $C_{вид} < C_0$  між заходами розквартирування військ у польових умовах для отримання таких результатів  $M_1, M_2, M_3$ , які дозволять максимізувати досяжний рівень боєздатності  $\theta$ , що в даному випадку залежить лише від результатів заходів з розквартирування з'єднання (частини):

$$\max \theta = C_1 \cdot \frac{S}{c_1 \cdot \alpha_{01} \cdot N} \cdot C_2 \cdot \frac{V}{c_2 \cdot \alpha_{02} \cdot N} \cdot C_3 \cdot \frac{L}{c_3 \cdot N}, \quad (18)$$

за обмеженнями  $C_1 + C_2 + C_3 = C_{вид}$ , де невідомі  $C_1, C_2, C_3 > 0$ .

Як бачимо, у даній задачі цільова функція нелінійна, тому в цілому розглядувана оптимізаційна задача належить до задач нелінійного програмування. Вирішення цієї задачі (18) можна здійснювати

ітераційним способом, що дозволить розв'язати встановлену залежність  $\theta = f(C_1, C_2, C_3)$ .

Завершальним етапом є порівняння досяжного рівня  $\theta$  боєздатності з'єднання (частини) та необхідного  $\theta^{\text{вим}}$ . При цьому необхідний рівень боєздатності  $\theta^{\text{вим}}$  встановлює особа, що приймає рішення. Якщо  $\theta \geq \theta^{\text{вим}}$ , то виділених фінансових ресурсів достатньо для забезпечення необхідного рівня боєздатності з'єднання (частини). В іншому випадку необхідно збільшити виділені ресурси. Очевидно, якщо  $C_0$  забезпечує рівень боєздатності з'єднання (частини) на рівні 1, то для забезпечення необхідного рівня боєздатності  $\theta^{\text{вим}}$  слід на розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах виділити  $C^{\text{вим}} = C_0 \cdot \theta^{\text{вим}}$ .

Новизною методики, на відміну від існуючого підходу, є:

по-перше, формалізовано взаємозв'язок результатів розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах з досяжним рівнем його боєздатності;

по-друге, запропоновано механізм розрахунку необхідних фінансових ресурсів для здійснення

успішного розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах;

по-третє, здійснено оптимізацію розподілу виділених фінансових ресурсів між заходами розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах з метою максимізації рівня його боєздатності.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована методика дозволить уникнути помилок під час визначення необхідних фінансових ресурсів для розквартирування з'єднання (частини) в польових умовах, а також здійснювати більш обґрунтований розподіл виділених фінансових ресурсів.

Подальші дослідження будуть пов'язані з проведенням чисельного експерименту, що має підтвердити працездатність запропонованої методики, а також розробленням рекомендацій з розподілу виділених фінансових ресурсів на розквартирування з'єднань (частин) у польових умовах, що буде сприяти підвищенню боєздатності цих з'єднань (частин).

### Література

1. Проблеми ефективності використання воєно-економічних ресурсів Збройних Сил України на сучасному етапі. Навч. посібник / За ред. М. М. Кирієнка. Київ: КВГУ, 1998. 180 с.
2. Викулов С.Ф. Экономика военного строительства: эволюция взглядов на проблемы, методы, решения. Москва:

«Граница», 2013. 608 с. 3. Вентцель Е. С. Теория вероятности и ее инженерные приложения /Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1988. 478 с.

## МЕТОДИКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ РЕСУРСОВ МЕЖДУ МЕРОПРИЯТИЯМИ РАСКВАРТИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ (ЧАСТЕЙ) В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Иван Юрьевич Марко (д-р экон. наук, профессор)<sup>1</sup>

Ирина Матвеевна Чернышова (канд. воен. наук, с.н.с.)<sup>1</sup>

Тарас Владимирович Череватый<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Главное квартирно-эксплуатационное управление Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

В статье представлена улучшенная методика распределения выделенных финансовых ресурсов между мероприятиями, которые выполняются для расквартирования соединений (частей) Вооруженных Сил Украины в полевых условиях с целью поддержания определенного уровня боеспособности этих соединений (частей). Методика предназначена для обоснования объемов финансовых ресурсов, необходимых для проведения успешного расквартирования соединений (частей) в полевых условиях, а также для определения порядка распределения выделенных финансовых ресурсов между мероприятиями по расквартированию соединений (частей) в полевых условиях. Ее применение предлагается в штабах (службах) во время определения потребности в расходных материальных средствах, необходимых для осуществления указанного расквартирования, а также для оптимального распределения выделенных финансовых ресурсов между мероприятиями по расквартированию. Предложенная методика имеет ряд преимуществ: во-первых формализует взаимосвязь результатов расквартирования войск (сил) в полевых условиях с достигаемым уровнем боеспособности; во-вторых содержит механизм расчета необходимых финансовых ресурсов для проведения успешного расквартирования соединений (частей); в-третьих, позволяет оптимизировать распределения выделенных финансовых ресурсов между мероприятиями расквартирования соединения (части) Вооруженных Сил Украины в полевых условиях с целью максимизировать уровень его боеспособности. Использование улучшенной методики дает возможность избежать ошибок во время определения необходимых финансовых ресурсов для расквартирования войск (сил) в полевых условиях, а также выполнять более обоснованное распределение выделенных финансовых ресурсов.

*Ключевые слова:* расквартирование соединений (частей) в полевых условиях; распределение финансовых ресурсов; уровень боеспособности.

**METHODOLOGY OF DISTRIBUTION THE FINANCIAL RESOURCES BETWEEN ACTIVITIES OF HOUSING UNITS (PARTS) IN THE FIELD CONDITIONS**

*Ivan Marco (Doctor of Economic Sciences, Professor)<sup>1</sup>  
Iryna Chenyshova (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>  
Taras Cherevatyi<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup>*General Department Service of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The article presents an improved methodology for allocating the allocated financial resources between the activities that are performed to housing the units (military formations) of the Armed Forces of Ukraine in the field with the purpose of maintaining a certain level of combat capability of these formations (units). The methodology is dedicated to justify the amount of necessary financial resources for the successful housing of unit (military formation) in the field and to determine the allocation of allocated financial resources between the arrangements for housing the units (military formations) of the Armed Forces of Ukraine in the field. Its application is proposed at headquarters (services) during the determination of the need for expendable material resources necessary for the implementation of this quartering, as well as for the optimal allocation of allocated financial resources between the quartering arrangements. The proposed methodology has several advantages: firstly, it formalizes the relationship between the results of housing troops (forces) in the field with the achieved level of combat capability; secondly, it contains a mechanism for calculating the necessary financial resources for the successful housing of units (military formations); thirdly, it allows to optimize the allocation of allocated financial resources between the arrangements for housing the unit (military formation) of the Armed Forces of Ukraine in the field with the aim of maximizing the level of its combat capability. The use of improved methodology makes it possible to avoid mistakes during the determination of the necessary financial resources for housing troops (forces) in the field, and also to carry out a more justified allocation of allocated financial resources.*

**Key words:** *housing of units (military formations) in the field; distribution of financial resources; level of combat capability.*

**References**

1. The problems of effectiveness using military-economic resources of the Armed Forces of Ukraine at the present stage. Teaching manual / ed. **M. M. Kiriienko**. Kyiv: KVGI, 1998. 180 p. 2. **Vikulov S.F.** Economics of military construction: the evolution of views on problems, methods,

solutions. Moscow: "Border", 2013. 608 p. 3. **Ventzel E.S.** Theory of probability and its engineering applications / **E.S. Ventsel, L.A. Ovcharov** Moscow: The science, Home Edition of Physical and Mathematical Literature, 1988. 478 p.

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ ОРГАНУ УПРАВЛІННЯ РОЗВІДКОЮ

У статті запропоновано методику обґрунтування раціональної структури органів управління розвідкою на основі методу кластерного аналізу, метою якого є пошук наявних структур, що виражається в утворенні груп схожих між собою об'єктів – кластерів. Вибір стратегії кластеризації полягає у визначенні правил об'єднання об'єктів у кластери. Дані до кластерного аналізу підготовлюються шляхом формування матриці співвідношень. На відміну від інших методів, цей метод дає змогу класифікувати об'єкти не за однією, а за декількома ознаками одночасно, як сукупність взаємопов'язаних функціональних підсистем з визначенням функцій кожної з них. Наведено варіант дендрограми об'єднання кластерів (структурних підрозділів) за виміром близькості функцій та завдань. Результати дослідження обґрунтовані практичними розрахунками і можуть бути застосовані для удосконалення науково-методичного апарату визначення, оцінювання ефективності розроблених варіантів структури органу управління розвідки та вибору найбільш прийнятної альтернативи.

**Ключові слова:** орган управління розвідкою, структура, кластерний аналіз, Збройні Сили України.

### Вступ

#### Постановка проблеми.

Постійне реформування Міністерства оборони і Збройних Сил України, у тому числі органів управління розвідкою (ОУР) усіх рівнів, яке відбувалося переважно за рахунок скорочення (оптимізації) їх чисельності, призвело до дисбалансу між фактичними можливостями та функціями, які на них покладені. ОУР виявились нездатними в повному обсязі виконувати свої функції в умовах особливого періоду, а їх організаційно-штатна структура, як і структура органів розвідки оперативного і тактичного рівнів – здатною своєчасно і ефективно виконувати нетрадиційні і специфічні завдання (їх значний обсяг), які на них покладаються в умовах ведення гібридної війни.

Такий стан справ вимагає негайних кардинальних змін та глибокого реформування, а не подальшого удосконалення існуючої системи воєнної розвідки України. Постає гостра необхідність зміни підходу (підходів) до побудови комплексу розвідки ЗС України (у тому числі ОУР). Зазначені підходи повинні формуватись на основі принципів багатофункціональності, достатньої ефективності функціонування, збалансованості компонентів, оперативної мобільності, воєнно-економічної доцільності, сумісності систем управління компонентів (ОУР) та адекватності існуючій (прогнозованій) обстановці та умовам застосування.

#### Аналіз остатніх досліджень і публікацій.

Проведений аналіз досліджень та публікацій [1–6] свідчить, що на цей час розроблені певні підходи до вирішення завдання визначення та обґрунтування організаційної структури органів

військового управління, угруповань військ на основі побудови моделей функціонування складних систем військового призначення, якими є органи військового управління всіх рівнів.

Зокрема, визначені специфічні особливості визначення раціонального складу складної системи військового призначення, якою є ОУР, а саме: неповнота й невизначеність вихідної інформації при функціонуванні системи в різних умовах обстановки; багатокритеріальність завдання, що пов'язано з необхідністю врахування великої кількості часткових показників; наявність кількісних і якісних показників, які необхідно враховувати; неможливість застосування класичних методів оптимізації [7].

Існуючі підходи визначають структуру ОУР без чіткого розбиття їх на складові: група, відділ, управління тощо, цілісного науково-методичного апарату визначення структури ОУР на цей час немає.

Тому розробка науково обґрунтованих підходів до визначення раціональної структури ОУР є актуальним науково-практичним завданням.

**Метою статті є:** розробка методики визначення (обґрунтування) структури ОУР оперативного рівня.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

ОУР являє собою організовану сукупність фахівців, які виконують різні завдання за своїм змістом і напрямом. Для створення структури такого органу потрібно об'єднати виконавців завдань у групи, служби, відділи, управління за обраним показником. Таким показником може бути близькість робіт, які виконують ці фахівці.

Для вирішення цього наукового завдання доцільно використати метод кластерного аналізу, метою якого є пошук наявних структур, що виражається в утворенні груп схожих між собою об'єктів – кластерів, для структурних підрозділів ОУР – групи, служби, відділи, управління. На відміну від інших методів, цей метод дає змогу класифікувати об'єкти не за однією, а за декількома ознаками одночасно [4].

Використання методики визначення структури ОУР, що ґрунтується на використанні апарату кластерного аналізу, передбачає ряд обмежень та припущень:

завдання, що покладаються на ОУР, у межах певної підсистеми, мають бути одного рівня виконання;

масив даних до кластерного аналізу встановлюється шляхом проведення експертного оцінювання;

участь кожної групи у виконанні поставлених завдань оцінюється експертом у відсотковому відношенні так, щоб сума за всіма завданнями становила 100%.

У загальному вигляді проведення кластерного аналізу передбачає кілька етапів: підготовка даних до кластерного аналізу; вибір міри відстані між об'єктами та її обчислення; вибір стратегії кластеризації; вибір методу кластерного аналізу; інтерпретація результатів кластеризації.

Дані до кластерного аналізу підготовлюються шляхом формування матриці співвідношень. Вихідна множина складається з  $m$  підрозділів, що виконують  $k$  завдань, які покладаються на ОУР (табл.1).

Таблиця 1. Матриця співвідношень

	Завдання $k_1$	Завдання $k_2$	Завдання $k_i$
Підрозділ $m_1$	$m_1/k_1$	$m_1/k_2$	$m_1/k_i$
Підрозділ $m_2$	$m_2/k_1$	$m_2/k_2$	$m_2/k_i$
...	...	...	...
Підрозділ $m_j$	$m_j/k_1$	$m_j/k_2$	$m_j/k_i$

При залученні для формування матриці співвідношень  $X_{mk}$  групи з  $Y$  експертів числове значення судження визначається як середнє арифметичне окремих суджень експертів:

$$\alpha_x = \frac{\sum_{b=1}^Y q_b \alpha_b}{Y}, \quad (1)$$

де  $\alpha_x$  – судження  $b$ -го експерта;

$q_b$  – вага  $b$ -го експерта.

Наступним кроком є вибір міри відстані між об'єктами та її обчислення. В кластерному аналізі існує декілька підходів до визначення міри

відстаней: евклідова відстань, квадрат евклідової відстані, відстань Чебишева, відсоток невідповідності, 1-коефіцієнт кореляції Пірсона, манхетинівська відстань, метрика Мінковського, відстань Махаланобіса. Для кількісних шкал, якою є матриця співвідношень груп виконавців до завдань, застосовується евклідова відстань.

Евклідова відстань між об'єктами являє собою геометричну відстань між ними у багатовимірному просторі і визначається за формулою:

$$l_{rc} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (y_{ri} - y_{ci})^2}, \quad (2)$$

$$\text{де значення } y_{ri} = \frac{\alpha_{xi} - \bar{\alpha}_x}{S_x}; y_{ci} = \frac{\alpha_{ix} - \bar{\alpha}_x}{S_x}$$

$\bar{\alpha}_x$  – середнє арифметичне значень  $\alpha_x$  за завданнями;

$S_x$  – стандартне відхилення значень суджень експертів за завданнями;

$k$  – кількість завдань.

З проведенням послідовних обчислень відстаней між усіма групами виконавців, будується матриця відстаней між ними:

$$L = \begin{pmatrix} 0 & l_{12} & \dots & l_{1c} \\ l_{21} & 0 & \dots & l_{2c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ l_{r1} & l_{r2} & & 0 \end{pmatrix}$$

при  $r = c$   $l_{rc} = 0$ ,  $r, c = 1, 2, \dots, m$ . Чим менше значення  $l_{rc}$ , тим ближче знаходяться між собою групи виконання завдань.

Вибір стратегії кластеризації полягає у визначенні правил об'єднання об'єктів у кластери. Основними правилами кластеризації є [4]:

стратегія одиночного зв'язку. Стратегія ніби нанизує два кластери разом, і в результаті кластери подаються у вигляді довгих "ланцюжків";

стратегія повного зв'язку. Стратегія добре працює, коли кластери належать різним класам;

стратегія незваженого попарного середнього ефективна у випадку реального об'єднання об'єктів як у "кущі", так і в "ланцюжки", що дає змогу показати ієрархічне об'єднання об'єктів;

стратегія зваженого попарного середнього. Ця стратегія також дає змогу об'єднати об'єкти як у "кущі", так і в "ланцюжки" і використовується тоді, коли передбачають появу кластерів нерівного розміру;

стратегія Варда. Вона вважається ефективною, але при її використанні створюються кластери малого розміру.



Для визначення структури ОУР доцільно обрати стратегію зваженого попарного середнього, яка дає змогу об'єднати групи виконавців з їх ієрархічним поданням і з визначенням їх розміру. Розрахунок проводиться за таким виразом:

$$P(K_s K_t) = \frac{1}{n_s n_t} \sum_{L_r=1}^{K_s} \sum_{L_c=1}^{K_t} d(L_r, L_c), \quad (3)$$

де  $P(K_s K_t)$  – відстань між об'єктами (кластерами)  $K_s$  і  $K_t$ ;

$n_s, n_t$  – кількість елементів в кластерах  $K_s$  і  $K_t$  відповідно;

$L_r, L_c$  – об'єкти (кластери), за якими відбувається пошук подібності;

$d$  – відстань між  $L_r$  та  $L_c$ .

Для кінцевої інтерпретації отриманих даних доцільно обрати метод деревоподібної кластеризації, що забезпечує побудову ієрархічного кластерного дерева у вигляді дендрограми (рис. 1).

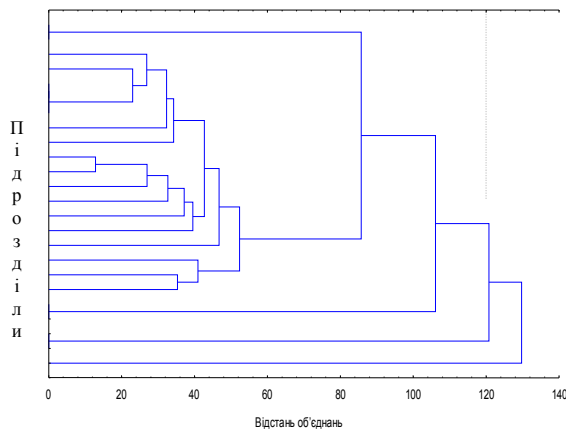


Рисунок 1. Приклад дендрограми об'єднання кластерів (варіант)

На кінцевому етапі здійснюється інтерпретація отриманих результатів. Інтерпретуючи кластерні дерева, слід намагатися в межах кожного з виділених кластерів знайти певний смисловий інваріант, який пояснює причину об'єднання об'єктів у цей кластер. Для цього додатково можна використати вихідний масив даних. У результаті такого аналізу необхідно знайти суть об'єднання кластерів у відповідні підсистеми ОУР.

На підставі наведеного, алгоритм методики визначення структури ОУР має вигляд, як показано на рис. 2.

### Література

1. Косо́гов О.М. Методика визначення структури системи інформаційної безпеки Міністерства оборони України та Збройних Сил України / О.М.Косо́гов, А.О.Сірик // 36. наук. праць. – Х.: Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба №3 (52), 2017, – С. 30–34.

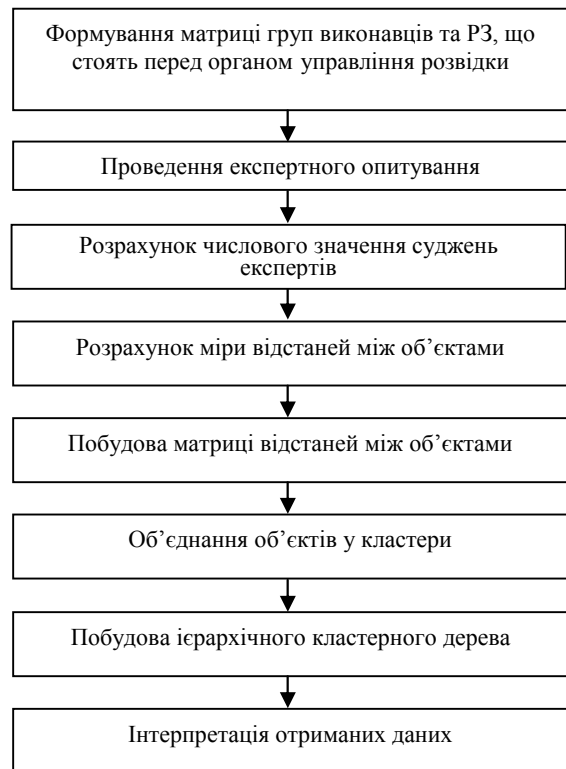


Рисунок 2. Алгоритм методики визначення структури ОУР

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонована методика визначення раціональної структури ОУР на основі методу кластерного аналізу. Метою кластерного аналізу є пошук наявних структур, що виражається в утворенні груп схожих між собою об'єктів – кластерів. На відміну від інших методів, цей метод дає змогу класифікувати об'єкти не за однією, а за декількома ознаками одночасно як сукупність взаємопов'язаних функціональних підсистем з визначенням функцій кожної з них.

Викладені результати дослідження обґрунтовані практичними розрахунками і можуть бути застосовані для удосконалення науково-методичного апарату визначення, оцінювання ефективності розроблених варіантів структури ОУР та вибору найбільш прийнятної альтернативи.

Подальші дослідження слід спрямувати на розробці методів оцінювання ефективності ОУР.

2. Потьомкін М. М. Методика визначення раціонального складу складної системи військового призначення на основі модифікованого методу ELECTRE [Текст] / М. М. Потьомкін // 36. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2008. – № 3 (45). – С. 62–68.  
3. Кластерний аналіз. Загальне поняття, його

математичні основи та завдання. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ib-ko.com/book\\_346\\_glava70\\_&-2.7\\_k](http://ib-ko.com/book_346_glava70_&-2.7_k). 4. Методичні вказівки щодо формування структурних підрозділів Міністерства оборони України та визначення їх чисельності. – К.: Міністерство оборони України, 2003. – 11 с. 5. **Комаров В.С.** Методичний підхід до обґрунтування раціонального складу органів військового управління / В.С.Комаров, О.М.Косошов, В.Ф. Курдюк // Зб. наук. праць. – Х.: Харківський національний університет Повітряних Сил

імені Івана Кожедуба №2 (51), 2017, – С. 40–45. 6. **Романченко І. С.** Використання таксономічних методів при проведенні досліджень у військовій справі [Текст] / І. С. Романченко, О. М. Загорка // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2007. – № 3 (41). – С. 5–16. 7. Елементи дослідження складних систем військового призначення [Текст] / О. М. Загорка, С. П. Мосов, А. І. Сбитнев, П. І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.

### МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ РАЗВЕДКОЙ

*Олексиук Вадим Виталийович*

*В статье предложена методика обоснования рациональной структуры органов управления разведкой на основе метода кластерного анализа, целью которого является поиск имеющихся структур, который выражается в образовании групп похожих между собой объектов - кластеров. Выбор стратегии кластеризации заключается в определении правил объединения объектов в кластера. Данные для кластерного анализа готовятся путем формирования матрицы соотношений. В отличие от других методов, этот метод дает возможность классифицировать объекты не за одной, а за несколькими признаками одновременно, как совокупность взаимосвязанных функциональных подсистем с определением функций каждой из них. Приведен вариант дендограммы объединения кластеров (структурных подразделений) за измерением близости функций и задач соответственно подсистемам системы. Результаты исследований обоснованы практическими расчетами и могут быть использованы для усовершенствования научно-методического аппарата определения, оценки эффективности разработанных вариантов структур ОУР и выбора наиболее принятой альтернативы.*

**Ключевые слова:** орган управления разведкой, структура, кластерный анализ, Вооруженные Силы Украины.

### THE METHOD FOR SUBSTANTIATING THE RATIONAL STRUCTURE OF INTELLIGENCE MANAGEMENT

*Vadim V. Oleksiuk*

**Military unit A1906 Kyiv, Ukraine**

*The article proposes a method for substantiating the rational structure of intelligence management on the basis of the cluster analysis method, which goal is to search for available structures, expressed in the formation of groups of similar objects - clusters. The Choice to strategies to clusterizations is concluded in determination of the rules of the association object in кластера. Data for cluster analysis prepares the matrix of the correlations by shaping.*

*Unlike other methods, this method makes it possible to classify objects not just one, but several attributes at the same time as a set of interrelated functional subsystems with the definition of the functions of each of them. A variant of the dendrogram is shown to combine clusters (structural subsections) to measure the proximity of functions and tasks, respectively, to the subsystems of the system. The results of the studies are justified by practical calculations and can be used to improve the scientific and methodological apparatus for determining, evaluating the effectiveness of the developed options for ESD structures and selecting the most acceptable alternative.*

**Key words:** intelligence management, structure, cluster analysis, Armed Forces of Ukraine

### References

1. **Kosogov A. M.** Methods of the determination of the structure of the system to information safety Ministry of defense Ukraines and Armed Power of the Ukraine / A. M. Kosogov, A. A. Siryk // Zb. nauk. robot. - H.: Harikovskiy national university of Air Power of the name Ivana Kozheduba 3 (52), 2017, - S. 30-34. 2. **Potemkin M. M.** Methods of the determination of the rational composition of the complex military system on base of the modified method ELECTRE [Text] / M. M. Potemkin // Zb. nauk. pr. CND\_ZS Ukrainy. - K., 2008. - 3 (45) - S. 62-68. 3. The Cluster analysis. The General notion, his(it)s mathematical bases and problems. [Electronic resource - a Mode of the access: [http://ib-ko.com/book\\_346\\_glava70\\_&-2.7\\_k](http://ib-ko.com/book_346_glava70_&-2.7_k). 4. The Methodical instructions for shaping structured subsection

Ministry of defense of the Ukraine and determination their chislennosti. - K.: Ministry of defense of the Ukraine, 2003. - 11 s. 5. **Komarov V. S.** Methodical approach to motivation of the rational composition organ military control / V. S. Midge, O. M. Kosogov, V. F. Kurdyuk // Zb. nauk. robot. - H.: Harikovskiy national university of Air Power of the name Ivana Kozheduba 2 (51), 2017, - S. 40-45. 6. **Romanchenko I. S.** Use the taxonomic methods when undertaking the studies in military deal [Text] / I. S. Romanchenko, O. M. Zagorka // Zb. nauk. pr. CND\_ZS Ukrainy. - K., 2007. - 3 (41) - S. 5-16. 7. Elements of the study of the complex military systems [Text] / O. M. Zagorka, S. P. Monsieur, A. I. Sbitnev, P. I. Stuzhuk. - K.: NAOU, 2005. - 100

*Юрій Борисович Прібілєв (канд. техн. наук)*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ КОНТРОЛЬНО-ВИПРОБУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ

*У статті запропоновано концепцію побудови автоматизованої контрольно-випробувальної станції, яка заснована на поєднанні методу побудови функціональної організації контрольно-випробувальної станції та методу синтезу структури контрольно-випробувальної станції на основі програмно-апаратних блоків, що дозволяє спростити та підвищити оперативність розробки програми контролю, скоротити терміни побудови та обсяг апаратних засобів контрольно-випробувальної станції, забезпечити їх уніфікацію та подальшу модифікацію та здійснити проектування КВС за мінімумом витрат. Розроблена концепція побудови автоматизованої контрольно-випробувальної станції наведена у вигляді послідовного вирішення ряду завдань, що об'єднані у двох етапах. На першому етапі здійснюється синтез інформаційного вигляду контрольно-випробувальної станції (визначення множини функцій, що реалізуються контрольно-випробувальною станцією), а на другому – синтез структури контрольно-випробувальної станції на основі програмно-апаратних блоків.*

**Ключові слова:** *контрольно-випробувальна станція, програма контролю, програмно-апаратний блок.*

### Вступ

Зростання темпів старіння озброєнь та військової техніки зенітних ракетних військ (ЗРВ) [1] має наслідком те, що існуючі контрольно-випробувальні станції (КВС), які є на постачанні ЗС України, не завжди забезпечують достовірний контроль технічного стану зенітних керованих ракет (ЗКР). Розробка нових зенітних ракетних комплексів (ЗРК) супроводжується зростанням їх складності та технологічного рівня, що вимагає підвищення ефективності контролю. Тому одночасно з побудовою нових зразків ЗКР та модернізацією існуючих ЗКР актуальною проблемою є побудова сучасних КВС, які є головним інструментом надання обслуговуючому персоналу достовірної інформації про технічний стан (ТС) ЗКР [2].

#### Постановка проблеми.

Побудова КВС, як складної технічної системи (СТС) потребує вирішення однієї з глобальних проблем синтезу СТС – розв'язання суперечностей між привабливістю і перспективністю нового, але неосвоєного і в значній мірі сумнівного, і конкретністю, надійністю, але обмеженістю старого, відпрацьованого і відомого. Завжди існує недостатній обсяг апріорної інформації, що має пряме відношення до нових ідей, що і створює проблему. На жаль, спокуса і тяга до сталих технічних рішень і поглядів на СТС в цілому настільки великі, що вони об'єктивно і насильно насаджують традиційні підходи до вирішення завдань синтезу і сприяють ненавмисному приховуванню нових технічних ідей.

Але використання традиційних підходів при проектуванні нових КВС, хоча і дозволяє побудувати КВС з необхідними технічними характеристиками, занадто обтяжливе для бюджету. Тому актуальною є розробка нової

концепції, що дозволить здійснити проектування та побудову нового покоління КВС з необхідними технічними характеристиками за мінімумом витрат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** ЗКР є складною технічною системою, яка характеризується різноманітними показниками, які необхідно контролювати під час експлуатації [3]. Розробкою методів технічної експлуатації ЗКР і підтримання технічної готовності ЗРК займалися автори [4, 5].

У роботі [2] запропонований підхід до побудови уніфікованої універсальної автоматизованої КВС, на основі якого у статті [6] розроблений метод синтезу структури КВС на базі уніфікованого ряду програмно-апаратних блоків (ПАБ). У корисній моделі [7] наведений спосіб синтезу КВС за допомогою дерева функцій, що описує функціональну організацію системи. Але комплексна концепція, що зв'язує функціональну організацію КВС та структурну організацію КВС, розроблена ще не була.

**Метою статті** є розробка концепції побудови автоматизованої КВС, на основі комплексування методу побудови функціональної організації КВС та методу синтезу структури КВС на базі ПАБ, що дозволить спростити та підвищити оперативність розробки програм контролю, скоротити терміни розробки КВС, забезпечити уніфікацію і можливість подальшої модифікації КВС та здійснити проектування КВС за мінімумом витрат.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо основні етапи синтезу функціональної організації КВС, що дозволяє виконати вимоги замовника та спростити складання програми контролю ЗКР. У [7] показано, що алгоритм побудови програми

контролю КВС можна представити у вигляді дерева функцій системи (ДФС). Вихідними даними для формування ДФС є цільове призначення і основні функції КВС, які сформульовані в технічному завданні замовником. ДФС представляє декомпозицію цільової функції системи  $F^0$  множини основних функцій  $\{F^j\}$  на більш елементарні функції, що реалізовані на наступних рівнях декомпозиції. Реалізовані на  $i$ -му рівні функції  $F_i^j$  є мікрофункціями відносно до макрофункції  $F_{i-1}^j$  ( $i-1$ )-го порядку, що породжує їх.

Згідно запропонованого методу, декомпозиція триває до тих пір, поки не з'явиться можливість зв'язати функції нижніх рівнів дерева з відповідними ПАМ КВС. Результатом синтезу ДФС є безліч функцій, які можливо розділити на дві групи: основні і додаткові. Основні функції – це функції, без реалізації яких неможливо проведення повного комплексного контролю ЗКР. Додаткові функції розширюють можливості системи, сферу її застосування і сприяють поліпшенню показників якості КВС.

Далі складається таблиця можливих (допустимих) функціональних зв'язків між функціями, що реалізуються цією КВРС, за допомогою якої отриманий вираз, що описує варіанти функціональної побудови КВС. Спростити цей вираз дозволяє побудова графової моделі, що складається за допомогою матриці суміжності. Внутрішньоваріантна оптимізація системи здійснюється перебором усіх можливих варіантів та пошуком найкоротшого з них, що також дозволяє спростити та підвищити оперативність складання програми контролю КВС.

Таким чином, удосконалений метод побудови функціональної організації КВС, який відрізняється від відомих переходом від множинного опису функцій КВС до графової моделі, дозволяє спростити та підвищити оперативність пошуку варіантів функціональної побудови програми контролю КВС.

Подальше підвищення ефективності побудови КВС за рахунок скорочення термінів і вартості розробки КВС досягається побудовою КВС як програмно-апаратної системи з урахуванням взаємозв'язку апаратних засобів та їх програмного забезпечення (ПЗ). У [2] доказана перспективність синтезу КВС з урахуванням принципів модульності – як ряду уніфікованих ПАБ. Проектування КВС на основі ПАБ може бути представлено на двох рівнях. Перший рівень – це вибір та застосування одного або декількох стандартизованих структурних рішень на основі ПАБ: цифрових інтерфейсів, варіантів розподілу обсягу обробки інформації між центральною ЕОМ і периферійними процесорами, варіанти системного ПЗ і т.і. Другий рівень – це синтез структури КВС, що забезпечує формування стимулюючих і обробку контрольованих сигналів

за допомогою розроблених на першому рівні стандартних ПАБ КВС.

При наявності уніфікованого ряду ПАБ проектування структури КВС зводиться до визначення складу ПАБ з необхідними характеристиками. Побудова КВС як програмно-апаратної системи накладає особливості на процес проектування, визначає особливості і сукупність завдань, вирішення яких є необхідним для розробки КВС та включає наступні етапи.

1. Визначення вихідної множини уніфікованих ПАБ, враховуючи вимоги за характеристиками контрольованих і стимулюючих сигналів з урахуванням заданої моделі ЗКР. У вихідну множину для кожного контрольованого і стимулюючого сигналу включаються всі можливі ПАБ, які можуть забезпечити характеристики даного сигналу (стимулюючий або контрольований сигнал на певному контакті ЗКР). Для формалізації даного етапу характеристики сигналів повинні бути задані у формалізованому вигляді, наприклад, у вигляді записів операторів, що містять найменування та значення характеристик сигналів. Технічні характеристики базових ПАБ також повинні бути представлені у формалізованому вигляді.

2. Для сигналів, що не забезпечуються базовими ПАБ, розробляються спеціальні ПАБ, конфігурації яких включаються в вихідну множину.

3. Для заданого переліку контрольованих і стимулюючих сигналів і алгоритмів контролю проводиться синтез складу ПАБ, виходячи з критеріїв ефективності проектованої КВС – забезпечення максимальної достовірності контролю КВС при забезпеченні заданих вимог за вартістю контролю і тривалістю контролю. За результатами синтезу для кожного контрольованого і стимулюючого сигналу визначається конкретний ПАБ та формується склад уніфікованих та спеціальних ПАБ.

4. На етапі вибору стандартних рішень на основі ряду уніфікованих ПАБ вибирається ЕОМ КВС та системне ПЗ.

5. Для обраних спеціальних ПАБ розробляються спеціальні апаратні засоби та ПЗ спеціальних ПАБ. Після чого формується повний склад апаратних та програмних блоків для побудови КВС.

6. На базі повного складу апаратних засобів проводиться апаратне проектування КВС (розробляються схема з'єднань КВС, схема розміщення апаратних засобів в конструкції КВС).

7. З сукупності складу програмних модулів ПАБ проводиться розробка вихідних програм контролю ЗКР з урахуванням розроблених при проектуванні уніфікованих ПАБ, уніфікованих описів сигналів та завдань контролю, уніфікованих операцій управління ПАБ, а також програм самоконтролю КВС.

8. Здійснюється розробка описів ПАБ, на основі яких з урахуванням опису з'єднань КВС

розробляється база даних КВС для забезпечення трансляції модулів програм контролю.

9. Після розробки бази даних КВС здійснюється трансляція вихідних програм контролю та їх налагодження. Модулі програми контролю розробляються незалежно від неї. Після виготовлення зразка КВС проводиться комплексне налагодження програм контролю і ПЗ КВС та випробування КВС.

Проектування КВС на основі ПАБ в порівнянні з проектуванням на базі апаратних засобів різко спрощує процес побудови КВС. За досвідом побудови КВС у державному київському конструкторському бюро “Луч”, створення КВС зводиться на 80-90% до вибору складу ПАБ. При цьому витрати на розробку КВС в цілому (включаючи розробку конструкторської, програмної документації, виготовлення зразків, рішення системних питань, настройку) зменшуються у 2-3 рази порівняно з методом апаратної будови.

Концепція побудови КВС наведена у вигляді методологічної схеми на рис. 1.

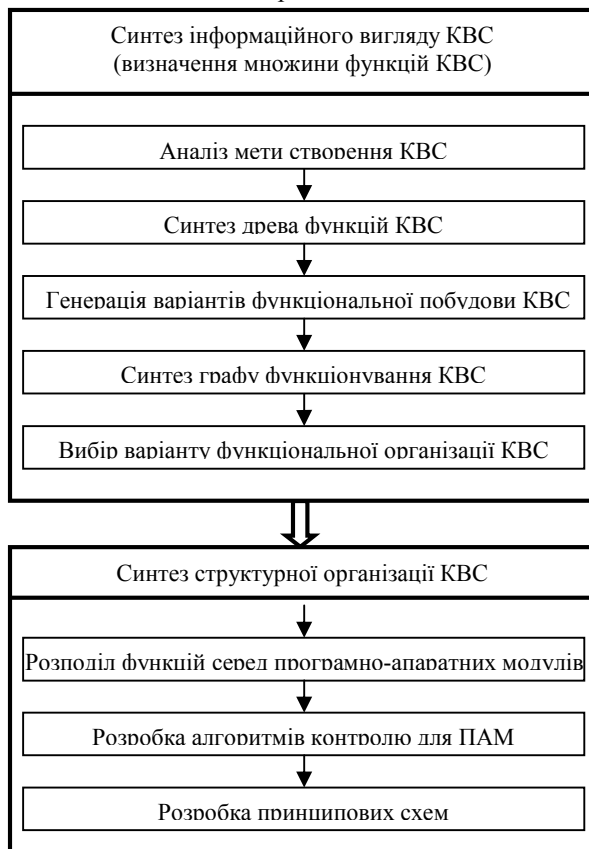


Рисунок 1 – Концепція побудови контрольно-випробувальної станції

### Література

**1. Карпенко Д.В.** Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України: Науковий журнал “Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України”. 2017. № 2(27). С.75–78. **2. Прибілев Ю.Б.** Підхід до побудови уніфікованої універсальної автоматизованої контрольно-випробувальної станції ракетного озброєння. /

Методологічна схема побудови автоматизованої КВС наведена у вигляді послідовного вирішення ряду завдань. На першому етапі проводиться синтез інформаційного вигляду КВС (визначення множини функцій, що реалізуються КВС). На другому етапі – синтез структурної організації КВС на основі ПАБ.

За результатами аналізу мети створення КВС та її призначення визначаються цільова функція, що відповідає призначенню КВС, основні та додаткові (сервісні) функції, що реалізуються системою. Функціональна організація КВС є її інформаційним виглядом, який синтезується і оптимізується для кожного варіанту функціонального розбиття КВС. Вибирається варіант, що є найкращим з точки зору обраних показників якості системи. Функціональна організація, яка відповідає обраному інформаційному вигляду, є основою для розробки структурної організації та вибору комплексу ПАБ та ПЗ КВС.

Методика структурного проектування КВС заснована на виборі вихідної множини ПАБ з уніфікованого ряду ПАБ для забезпечення заданих вимог щодо контролю ЗКР, визначенні оптимального складу ПАБ при мінімальних витратах на КВС та апаратного і програмного проектування КВС як цілісної системи.

Важливим етапом розробки структурної організації КВС є оптимізація співвідношення між апаратними та програмними засобами, що реалізують функції КВС. Це завдання вирішується шляхом пошуку такого розподілу функцій, за якого забезпечується екстремум показника якості системи.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, у статті вперше запропоновано концепцію побудови автоматизованих КВС, яка заснована на поєднанні методу побудови функціональної організації КВС та методу синтезу структури КВС на основі ПАБ, що дозволяє спростити та підвищити оперативність розробки програми контролю, скоротити терміни побудови та обсяг апаратних засобів КВС, забезпечити їх уніфікацію та подальшу модифікацію.

Розроблена концепція побудови автоматизованої КВС наведена у вигляді послідовного вирішення ряду завдань, що об'єднані у двох етапах. На першому етапі проводиться синтез інформаційного вигляду КВС (визначення множини функцій, що реалізуються КВС), а на другому – синтез структури КВС на основі ПАБ.

Ю. Б. Прибілев, Л. В. Сакович. // Наука і оборона. – 2017. – № 1. – С. 42-48. **3. Архангельский И. И.** Проектирование зенитных управляемых ракет. / И. И. Архангельский П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Г. Светлов и др. – М.: МАИ, 2001. – 732 с. **4. Гриб Д. А.** Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання

боеготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах [Текст] / Д. А. Гриб, Б. М. Ланецький, В. В. Лук'янчук // Наука і оборона. – 2012. – №3. – С. 55-63. **5. Пермяков О. Ю.** Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем військового призначення. / О. Ю. Пермяков, Ю. Б. Прибілев, О. О. Дюбанов. // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 48-52. **6. Прибілев Ю. Б.** Метод синтезу структури

контрольно-випробувальної станції / Ю. Б. Прибілев // Науковий журнал „Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони“. К.: НУОУ, вип. №2(29), 2017, с.65-70. **7. Прибілев Ю. Б.** Спосіб синтезу структури автоматизованої системи контролю та діагностики / Ю. Б. Прибілев, А.В. Шишацький // Рішення про видачу деклараційного патенту на корисну модель 03.11.2017 №26770/ЗУ/17.

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

*Юрий Борисович Прибылев (канд. техн. наук, доцент)*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье предложена концепция построения автоматизированной контрольно-испытательной станции, которая основана на сочетании метода построения функциональной организации контрольно-испытательной станции и метода синтеза структуры контрольно-испытательной станции на основе программно-аппаратных блоков, которая позволяет упростить и повысить оперативность разработки программы контроля, сократить сроки построения и объем аппаратных средств контрольно-испытательной станции, обеспечить их унификацию и дальнейшую модификацию и осуществить проектирование контрольно-испытательной станции с минимальными затратами. Разработанная концепция построения автоматизированной контрольно-испытательной станции приведена в виде последовательного решения ряда задач в двух этапах. На первом этапе проводится синтез информационного вида контрольно-испытательной станции (определение множества функций, реализуемых контрольно-испытательной станцией), а на втором - синтез структуры контрольно-испытательной станции на основе программно-аппаратных блоков.*

**Ключевые слова:** контрольно-испытательная станция, программа контроля, программно-аппаратный блок.

## CONCEPT OF CONSTRUCTION OF CONTROL AND TEST STATION

*Yurii Pribyliev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The article proposes the concept of the construction of automated control and test station, which is based on the combination of the method of constructing the functional organization of the control and test station and the method of synthesizing the structure of the control and test station on the basis of software-hardware blocks, which allows simplifying and increasing the efficiency of the development of the control program, reducing the construction time and the volume of hardware control and test station, unification and further modification. The proposed concept allows to design the control and testing station with minimal costs. The developed concept of the construction of automated control and test station is presented in the form of a consistent solution of a number of tasks that combine in two stages. At the first stage, the synthesis of the informational appearance of the control and test station (determination of the plurality of functions implemented by the control and test station) is carried out, and the second - the synthesis of the structure of the control and test station on the basis of software and hardware blocks. Functional organisation of the control and testing station is the basis for the separation of the structural organisation of the control and testing station.*

**Key words:** control and test station, program of control, software-hardware unit.

### References

**1. Karpenko D.V.** Stan ta perspektyvy rozvytku zennitnogo raketnogo ozbrojennja Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy: Naukovyj zhurnal "Nauka i tekhnika Povitrjanykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy". 2017. №2(27). S.75-78. **2. Pribyljev Ju.B.,** Sakovyeh L.V. Pidkhyd do pobudovy unifikovanoji universalnoji avtomatyzovanoji kontroljno-vyprobuvalnoji stanciji raketnogo ozbrojennja: Naukovo-teoretychnyj ta naukovo-praktychnyj zhurnal "Nauka i obrona". Kyjiv. 2017. №1. S. 42-48. **3. Arkhangheljskij Y. Y.** Proektyrovanye zenutnykh upravljajemykh raket. / Y. Y. Arkhangheljskij P. P. Afanasj'ev, Y. S. Gholubev, V. Gh. Svetlov y dr. – M.:MAY, 2001. – 732 s. **4. Ghryb D. A.** Udoskonalennja metodiv tekhnichnoji ekspluataciji i remontu jak osnova pidtrymannja bojehotovogho stanu zennitnogo raketnogo ozbrojennja v suchasnykh umovakh [Текст] /

D. A. Ghryb, B. M. Lanecjkij, V. V. Luk'janchuk // Nauka i obrona. – 2012. – №3. – S. 55-63. **5. Permjakov O. Ju.** Modelj systemy diaghnostuvannja, tekhnichnogho obslughovuvannja ta remontu skladnykh tekhnichnykh system vijsjkovogho pryznachennja. / O. Ju. Permjakov, Ju. B. Pribyljev, O. O. Djubanov. // Nauka i obrona. – 2016. – №2. – S. 48-52. **6. Pribyljev Ju. B.** Metod syntezy struktury kontroljno-vyprobuvalnoji stanciji / Ju. B. Pribyljev // Naukovyj zhurnal „Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony“. K.: NUOU, vyp. №2(29), 2017, s.65-70. **7. Pribyljev Ju. B.** Sposib syntezy struktury avtomatyzovanoji systemy kontrolju ta diaghnostyky / Ju. B. Pribyljev, A.V. Shyshacjkij // Rishennja pro vydachu deklaracijnogho patentu na korysnu modelj 03.11.2017 №26770/ZU/17.

*Ігор Сергійович Романченко (доктор військ. наук, професор)*

*Віктор Іванович Гвоздь (канд. військ. наук)*

*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕКТОРУ БЕЗПЕКИ І ОБОРОНИ УКРАЇНИ

*Аналіз подій останніх років свідчить, про те що інформаційне забезпечення прийняття рішень з воєнної безпеки є вкрай важливим, однак його розвитку в Україні не приділяється достатньо уваги. В державі існує низка розвідувальних органів, однак зв'язки між ними слабо розвинені, що призводить до розпорошення їх зусиль та ресурсів. Практично відсутня координація роботи розвідувального співтовариства з боку керівництва держави, не відпрацьований порядок замовлення та оцінювання інформації, що також негативно впливає на роботу розвідувальних органів.*

*Для усунення зазначених проблемних питань пропонується створити систему інформаційного забезпечення сектору безпеки і оборони, яка базується на принципі ієрархічності та в якій чітко встановлюються напрямки замовлення та проходження розвідувальної інформації, а також забезпечується координація зусиль її суб'єктів. Така система, на думку авторів, значно підвищить обґрунтованість рішень, які приймаються з питань забезпечення воєнної безпеки, дозволить більш раціонально використовувати ресурси та збільшить ефективність функціонування розвідувальних органів України.*

*Ключові слова: система інформаційного забезпечення, сектор безпеки і оборони, воєнна безпека.*

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Разом із зростанням ролі інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень з питань забезпечення воєнної та національної безпеки, підвищується необхідність у створенні відповідної системи, яка б забезпечувала своєчасне надання актуальної та достовірної інформації.

Однак на теперішній час в Україні не існує такої системи в сталому вигляді. Завдання інформаційного забезпечення виконують окремі організації (розвідувальні органи), між якими відсутні зв'язки, що призводить до розпорошення зусиль та зниження ефективності їх роботи. Крім цього, відсутні зворотні зв'язки між споживачами та постачальниками інформації, не відпрацьований порядок замовлення та оцінювання інформації, що також негативно впливає на роботу розвідувальних органів.

Зазначені проблеми призвели до серйозної кризи, що охоплює практично всі сфери суспільного життя, при цьому, більшість значущих рішень, зокрема з питань воєнної безпеки, в сучасних умовах приймаються без глибокого і всебічного аналізу їх наслідків.

Саме тому актуальним є завдання визначення загальної структури системи інформаційного забезпечення (СІЗ) сектору безпеки і оборони (СБіО), а також вимог до неї та її складових.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** Останнім часом видана низка публікацій, присвячених діяльності розвідувальних

співтовариств різних країн світу [1]–[6], однак концептуальні питання обґрунтування вимог до системи інформаційного забезпечення СБіО практично не розглядалися.

**Мета статті** полягає у викладенні концептуальних положень обґрунтування вимог до СІЗ.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Важливим етапом обґрунтування вимог до СІЗ є визначення її обрису та концептуального уявлення щодо процесів, які відбуваються в цій системі. Авторами у [7]–[9] розглядалися окремі концепції, які дозволяють розв'язати цю задачу.

Відповідно до концепцій: ієрархічності розвідувальної інформації у СІЗ [7], циклічності інформаційного забезпечення у системі інформаційного забезпечення [8], та єдиного розвідувального простору [9], пропонується таке схематичне бачення СІЗ України (рис. 1).

До СІЗ входять такі складові, як суб'єкти забезпечення національної (воєнної) безпеки, розвідувальні органи, координаційні органи та інформаційна інфраструктура [9]–[10]. Вони знаходяться в тісній взаємодії, а рішення з питань воєнної безпеки приймаються керівництвом держави (споживачами) з урахуванням добутої розвідувальної інформації.

Розглянемо основні аспекти запропонованої концепції.

Вважаємо, що інформаційне забезпечення (розвідувальна діяльність) є одним з різновидів

інформаційної роботи, основний принцип якої – чіткий розподіл понять: відомості (дані), інформація й знання.

Як відомості можуть виступати статистика, уривки інформації тощо, про те що становить

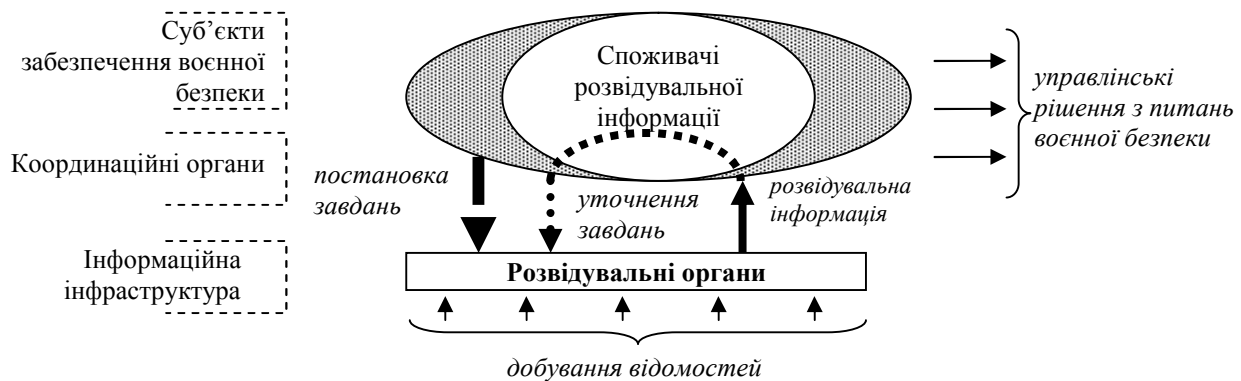


Рисунок 1 – Концептуальна схема СІЗ СБіО України (базовий варіант)

інтерес, однак, не можна прийняти правильне рішення, виходячи тільки з даних, незалежно від того, наскільки вони точні або об'ємні.

Інформація, навпаки, являє собою певну сукупність відомостей, які були відібрані, оброблені й проаналізовані, після чого їх можна використовувати для подальших дій.

Синтезовані рішення й рекомендації являють собою кінцевий інформаційний продукт — знання. Особі, що ухвалює рішення, потрібні саме інформація й знання, а не просто відомості.

Така градація відповідає положенням концепції ієрархічності розвідувальної інформації [7] та визначеним у ній видам діяльності (оперативна аналітика, інформаційна робота, аналітична діяльність), при цьому ланцюг виконуваних дій не змінюється незалежно від рівня інформації.

Уся інформація, що передається від розвідувальних органів до споживачів поділяється на:

– стратегічну – інформація про глобальні процеси в економіці, політиці, військовій сфері і т.д., яка можуть виявити який-небудь вплив (позитивний або негативний) на державу. Така інформація необхідна для прийняття стратегічних рішень щодо глобальної мети розвитку держави;

– тактичну – інформація для прийняття рішень щодо оптимізації шляхів досягнення глобальної мети, з урахуванням зміни обстановки.

– оперативну – інформація для прийняття керівництвом обґрунтованих рішень щодо розв'язання поточних проблем держави.

Інформація стратегічного та тактичного характеру повинна надходити до посадових осіб, які займаються плануванням та несуть відповідальність за прийняття стратегічних рішень. Крім того, необхідно не тільки забезпечити отриману інформацією всіх зацікавлених осіб, але й одночасно забезпечити контроль над її цільовим використанням.

У запропоновану на рис. 1 концептуальну схему закладені основні положення концепції циклічності інформаційного забезпечення [8], а

саме:

- планування та постановка завдань;
- добування даних;
- обробка розвідувальних даних – перетворення їх у розвідувальну інформацію;
- аналіз і синтез розвідувальної інформації (перетворення її в знання – висновки та рекомендації);
- розповсюдження (доведення до споживачів).

Для подальшого визначення вимог до СІЗ України пропонується поділити її на три рівні:

– верхній, до нього відносяться суб'єкти забезпечення воєнної безпеки – споживачі розвідувальної інформації, які безпосередньо керують СІЗ та відповідають за підготовку та прийняття управлінських рішень щодо забезпечення належного ступеня воєнної безпеки держави;

– середній – на ньому здійснюється інформаційна робота та аналітична діяльність з оброблення отриманих розвідувальних відомостей;

– нижній – рівень, на якому добуваються розвідувальні відомості та відбувається їх первинне оперативне оброблення (оперативна аналітика).

Таким чином, схема наведена на рис. 1 перетворюється на більш деталізовану (рис. 2).

Відповідно до запропонованої схеми пропонується визначати вимоги до СІЗ за рівнями (верхній, середній, нижній). Це дозволить більш гнучко та раціонально визначати склад необхідних сил та засобів на кожному з рівнів, визначити потрібну ефективність їх функціонування для забезпечення належного рівня інформаційного забезпечення, якості управлінських рішень, що приймаються з питань воєнної безпеки.

Тобто, під час визначення вимог до СІЗ держави доцільно розглядати такі рівні:

- управління (верхній);
- інформаційно-аналітичний (середній);
- виконавчий (нижній).

На кожному з рівнів перелік можливостей до яких, власне, й мають визначатися вимоги.

Слід зауважити, що хоча всім рівням СІЗ



притаманний єдиний набір можливостей, що суттєво полегшує дослідження, вимоги до їх значень на кожному з рівнів можуть розрізнятися.

Так, наприклад, рівень професійних якостей

кадрів має більше значення на нижньому рівні порівняно з якістю експертного середовища, однак на середньому рівні до них пред'являються

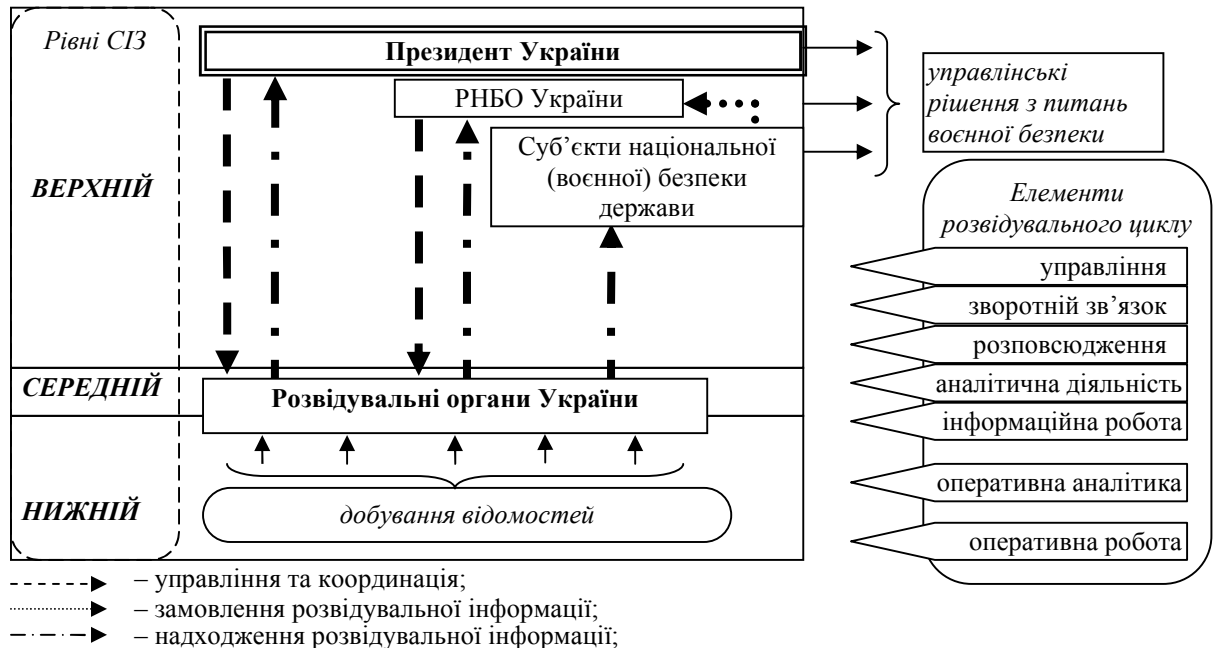


Рисунок 2 – Концептуальна схема СІЗ СБіО України (розширений варіант)

приблизно однакові вимоги, а на верхньому рівні професійні якості мають переваги над якістю експертного середовища.

Крім цього, вимоги до СІЗ на різних рівнях значною мірою залежать від рівня та спрямованості загроз війсьній та національній безпеці.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонований концептуальний

підхід дозволяє визначити по-перше – узагальнений вигляд системи інформаційного забезпечення держави, по-друге – підхід до визначення вимог до зазначеної системи. Такий підхід полягає в послідовному ієрархічному розгляді всіх ланок СІЗ та визначенні вимог до можливостей її складових із добування, оброблення, накопичення та передавання інформації.

### Література

1. Пыхалов И. В. Спецслужбы США. - С-П.: Издательский Дом "Нева" Издательство "ОЛМА-ПРЕСС", 2002. - 480 с. 2. Кондратов А. И. Внешнеполитическая деятельность государства и динамические категории политической науки. - М.: Граница, 2011. - 220 с. 3. Плэтт В. Информационная работа стратегической разведки. - М., 1998. - 155 с. 4. Семченко О. І. Забезпечення інформаційної безпеки держави. Підручник. - К., 2015. - 672 с. 5. Маломуж М. Розвідувальне співтовариство України не потребує нових штучних надбудов. <http://cacds.org.ua/ru/comments/323>. 6. Philippe M. Dans le secret des services: la France malade de ses espions?. - Paris, 2007. - 464 p. 7. Романченко І. С., Гвоздь В. І.

Концепція ієрархічності розвідувальної інформації у системі інформаційного забезпечення воєнної безпеки України // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. - К., 2017. № 3 (81). - С. 29–32. 8. Романченко І. С., Гвоздь В. І. Концепція циклічності інформаційного забезпечення у системі інформаційного забезпечення воєнної безпеки України // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. - К., 2017. № 4 (82). - С. 31–38. 9. Романченко І. С., Гвоздь В. І. Концепція єдиного розвідувального простору держави // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. - К., 2018. № 1 (83). - С. 55–62. 10. Закон України "Про основи національної безпеки України" від 19.06.2003 № 964-IV (зі змінами). Відомості Верховної Ради України від 26.09.2003, № 39, стаття 351.

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕКТОРА БЕЗОПАСНОСТИ И ОБОРОНЫ УКРАИНЫ

Романченко Игорь Сергеевич (д-р воен. наук, профессор)  
 Гвоздь Виктор Иванович (канд. воен. наук)

Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

Анализ событий последних лет свидетельствует, что информационное обеспечение принятия решений по военной безопасности крайне важно, однако его развитию в Украине не уделяется достаточно внимания. В государстве существует ряд разведывательных органов, однако связи между

ними слабо развиты, что приводит к распылению их усилий и ресурсов. Практически отсутствующая координация работы разведывательного сообщества со стороны руководства государства, не отработанный порядок заказа и оценивания информации, что также отрицательно влияет на работу разведывательных органов.

Для устранения указанных проблемных вопросов предлагается создать систему информационного обеспечения сектора безопасности и обороны, которая базируется на принципе иерархичности и в которой четко устанавливается порядок заказа и прохождения разведывательной информации, а также обеспечивается координация усилий ее субъектов. Такая система, по мнению авторов, значительно повысит обоснованность решений, которые принимаются по вопросам обеспечения военной безопасности, позволит более рационально использовать ресурсы и увеличит эффективность функционирования разведывательных органов Украины.

**Ключевые слова:** система информационного обеспечения, сектор безопасности и обороны, военная безопасность.

## CONCEPTUAL PRINCIPLES OF PROVISION OF A RATIONALE FOR THE REQUIREMENTS FOR THE INFORMATION SUPPORT FOR THE SECURITY AND DEFENSE SECTOR OF UKRAINE

*Romanchenko Ihor Serhiyovych (Doctor of Military Sciences, Professor)*

*Hvozd Victor Ivanovych (Candidate of Military Sciences)*

*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The analysis of the last years' events shows that the information support to the decision making on military security is extremely important, but its development in Ukraine is not given enough attention. There are a number of intelligence agencies in the state, but cooperation between them is poorly developed, which leads to the dispersal of their efforts and resources. In fact, there is no coordination of the work of the intelligence community by the state leadership, the order of requesting and evaluation of information is not worked out, which also negatively affects the work of intelligence agencies.*

*In order to address these problematic issues, we propose to create a system of information support to the security and defense sector, based on the principle of hierarchy, in which the directions of requesting and passing of the intelligence information are clearly determined, and coordination of the efforts of its subjects is ensured. Such a system, in the opinion of the authors, will significantly increase the validity of the decisions taken on ensuring military security, will allow more rational use of resources and will increase the efficiency of the work of intelligence agencies in Ukraine.*

**Key words:** information support system, security and defense sector, military security.

### References

- 1. Pyhalov I. V.** (2002), US Special Services. [*Specsluzhby SShA*], St. P.: Publishing Houses "Neva", "OLMA-PRESS", 480 p.
- 2. Kondratov A. I.** (2011), Foreign Political Activity of the State and Dynamic Categories of Political Science. [*Vneshnepolytycheskaja dejatel'nostj ghosudarstva y dynamycheskye kateghoryy polytycheskoj nauky*], M.: "Granitsa", 220 p.
- 3. Platt V.** (1998), Informational Work of Strategic Intelligence. [*Informacionnaja rabota strategicheskoy razvedki*], Moscow, 1998. 155 p.
- 4. Semchenko O. I.** (2015), Providing Information Security of the State. Textbook. [*Zabezpechennja informacijnoji bezpeky derzhavy. Pidruchnyk*], Kyiv, 672 p.
- 5. Malomuzh M.** The Intelligence Community of Ukraine Does Not Need New Artificial Additional Structures. [*Rozvidualjne spivtovarystvo Ukrainy ne potrebuje novykh shtuchnykh nadbudov*], <http://cacds.org.ua/en/comments/323>.
- 6. Philippe M.** (2007), Dans le secret des services: la France malade de ses espions?. Paris, 464 p.
- 7. Romanchenko I. S., Hvozd V. I.** (2017), The Conception of Hierarchy of Intelligence Information in the System of Ukraine's Military Security Information Support. Collection of articles, Works of the Central Scientific Library of the Ukrainian Armed Forces. [*Koncepcija ijerarkhichnosti rozvidualjnoji informaciji u systemi informacijnogho zabezpechennja vojennoji bezpeky Ukrainy*], Kyiv, 2017. Issue 3(81), P. 29–32.
- 8. Romanchenko I. S., Hvozd V. I.** (2017), The Conception of Cyclicity of Information Support in the System of Ukraine's Military Security Information Support. Collection of articles, Works of the Central Scientific Library of the Ukrainian Armed Forces. [*Koncepcija cyklichnosti informacijnogho zabezpechennja u systemi informacijnogho zabezpechennja vojennoji bezpeky Ukrainy*], Kyiv, Issue 4(82), P. 31–38.
- 9. Romanchenko I. S., Hvozd V. I.** (2018), The Concept of a Single Intelligence Space of a State. Collection of articles, Works of the Central Scientific Library of the Ukrainian Armed Forces. [*Koncepcija jedynogho rozvidualjnogho prostoru derzhavy*], Kyiv, Issue 1(83), P. 55–62.
- 10. Law of Ukraine** "On the Principles of National Security of Ukraine" of June 19, 2003 No. 964-IV (as amended). [*Pro osnovy nacionaljnoji bezpeky Ukrainy*], "Information from the Verkhovna Rada of Ukraine" of September 26, 2003, No. 39, P. 351.

*Ольга Федорівна Сальнікова (доктор держ. управління, с.н.с.)*

*Віктор Сисойович Корендович (канд. техн. наук, доцент)*

*Павло Андрійович Мінесь*

*Сергій Ігорович Антоненко*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## АНАЛІЗ ВОЄННИХ АСПЕКТІВ ГІБРИДНОЇ ВІЙНИ: ЇХ ЗМІСТ ТА УРОКИ ПРОТИДІЇ

*Воєнні дії Російської Федерації з початку лютого 2014 року в Україні актуалізували парадигму збройного конфлікту, коли сторона, що вчиняє агресію, себе не афішує. Така модель, що поєднує різні засоби ведення воєнних дій із застосуванням звичайних видів озброєння, нерегулярних військ і формувань, вчинення терористичних актів і застосування сепаратистських рухів відома у світі з початку XXI ст. як гібридна війна. Саме зміна парадигми сучасного збройного конфлікту та гібридна агресія РФ проти України прискорили трансформації і структурні зрушення у секторі безпеки та оборони України. Розвиток і повноцінне функціонування сектору безпеки та оборони України, який би відповідав умовам сучасного воєнного конфлікту, практично неможливі без наукового аналізу воєнних аспектів гібридної війни та об'єктивного діагностування проблем діяльності існуючої системи воєнної безпеки в умовах операції об'єднаних сил. У статті проаналізовано воєнні аспекти гібридної війни та запропоновано пріоритетні напрями протидії російській гібридній війні, а також майбутнім гібридним загрозам.*

*Ключові слова:* гібридна війна; оборона держави; застосування збройних сил; сили оборони; система управління збройними силами; об'єднане керівництво силами оборони.

### Вступ

Збройну агресію Росії проти України ми пов'язуємо з особливою формою її ведення, яка на початку XXI століття стала відомою як "гібридна війна". Фахівці сходяться на думці, що ця особлива форма війни не є новою. Так, зокрема, системно привернув увагу до проблеми гібридної війни американський науковець Френк Хоффман [1, 2], зазначивши у квітні 2009 року: "...Деякі аналітики припускають, що майбутні конфлікти будуть мультимодальними та багатоваріантними, не вписуючись в рамки простої характеристики (чорне – біле) однієї з форм ведення війни. Ці аналітики закликають приділяти більшу увагу змішаним формам війни, частота яких зростає. Така концепція найчастіше характеризується як гібридна війна. Ця теорія ґрунтується на інших уявленнях про конфлікт, які заслуговують на увагу".

**Постановка проблеми.** Досвід протидії сучасній російській збройній агресії підтверджується принциповим визначенням Клаузевіца щодо війни [3], зокрема й гібридної, як продовження політики однієї держави щодо підпорядкування іншої з використанням політичних, економічних, інформаційних, соціальних засобів, підтримуваних бойовими діями збройних сил, нерегулярних військових формувань та кримінальних елементів, диверсіями та саботажем. Застосування збройної сили є обов'язковим компонентом, інакше гібридна війна не є війною, тільки застосування збройної сили приносить страх, смерть, фізичну розруху, чим

значно підсилює дії інших компонентів. Особливістю застосування збройної сили в гібридній війні є те, що агресор всіляко це заперечує, маскуючи свої бойові дії та прагнучи показати їх як громадянську війну у країні-жертві. У цій війні ніхто зі сторони агресора не хоче стати героєм. Якщо початок "класичних" війн легко простежується в історії, то визначити дату початку гібридної війни складно, її ніколи не оголошують. Також складно визначити час закінчення війни. Дату початку гібридної війни РФ проти України можна пов'язати з конфліктом у районі острова Тузла чи однією з перших газових "війн", де чітко простежуються економічні засоби тиску, які тільки у 2014 році стало можливим поєднати з терміном "гібридна війна". Саме газові війни та потужні пропагандистські компанії, що сіяли страх серед центральноєвропейських країн, які зіштовхнулися з проблемою нестачі газу всередині зими, є прикладом того, що країна-жертва може і не знати, що агресор вже почав і веде проти неї гібридну війну, до якої згодом буде додано і збройний компонент.

З огляду на зазначене створення і повноцінне функціонування сектору безпеки та оборони України, який би відповідав умовам сучасного воєнного конфлікту практично неможливі без наукового аналізу воєнних аспектів гібридної війни та об'єктивного діагностування проблем діяльності сучасної системи воєнної безпеки в умовах операції об'єднаних сил.

Актуальність теми зумовлена тим, що модель сектору безпеки та оборони має відповідати

умовам новітнього конфлікту, насамперед з ознаками гібридної війни, а її реформування сприяти зміцненню спроможностей, підвищенню готовності до виконання завдань за призначенням та участі у проведенні спільних бойових дій (операцій) з підрозділами НАТО [4–7]. Для відсічі та стримування агресора Україні разом з її міжнародними партнерами необхідно мати чітке розуміння природи й характеру гібридного конфлікту. Без глибокого філософського та наукового аналізу воєнних аспектів феномену гібридної війни створити і реалізувати ефективну систему міжнародної та національної безпеки практично неможливо, а спроби емпіричного розв'язання сучасних проблем сектору безпеки та оборони, більшість з яких за змістом і масштабами не мають аналогів в історії, не дають бажаних результатів, а іноді навіть посилюють негативні наслідки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми забезпечення обороноздатності, воєнної організації держави, сектору безпеки і оборони, основні тенденції розвитку та ймовірні форми збройних конфліктів майбутнього, у тому числі гібридних, розглядали вітчизняні та зарубіжні науковці О. Василенко, В. Горбулін, О. Дузь-Крятченко, О. Ільшов, В. Ліпкан, Е. Лютвак, І. Попов, В. Телелім, М. Требін, В. Чорний, Г. Яворська. Від початку ХХІ ст. концептуально обґрунтовували поняття гібридної війни насамперед американські воєнні теоретики Р. Глен, Дж. Гордон, Д. Кілкален, Дж. Маккуен, Дж. Маттіс, Дж. Мацумура, У. Немет, Е. Сімпсон, Р. Уїлкі, Н. Фрейер, Ф. Гоффман, норвезький фахівець Г. Карлсен, нідерландський – Ф. ван Каппен та ін.

У колективній монографії, підготовленій фахівцями Національного інституту стратегічних досліджень за загальною редакцією В. Горбуліна [8], детально досліджено феномен гібридної війни, її сутність у контексті системної кризи світової безпеки та парадигму як новітнього виду глобального протистояння.

Разом із тим питання воєнних аспектів гібридної війни у працях науковців опрацьовано недостатньо. Очевидно, що сучасна гібридна загроза українській державності з боку РФ потребує пошуку нових, актуальних та адекватних відповідей на щоденні виклики. На часі – розроблення системної відповіді, стратегії на довгострокову перспективу.

Перебіг сучасних воєн свідчить про необхідність розгляду та врахування не лише філософських, політичних, інформаційних, соціокультурних, техніко-економічних та геополітичних, а й воєнних складових парадигми сучасного гібридного воєнного конфлікту.

Водночас реформування системи воєнної безпеки потребує додаткових досліджень воєнних аспектів гібридної війни у теорії військового управління.

Зміна парадигми сучасного збройного конфлікту та гібридна агресія РФ проти України прискорили трансформації і структурні зрушення у секторі безпеки та оборони України. Розвиток і повноцінне функціонування сектору безпеки та оборони України, який би відповідав умовам сучасного воєнного конфлікту, практично неможливо без наукового аналізу воєнних аспектів гібридної війни та об'єктивного діагностування проблем діяльності існуючої системи воєнної безпеки в умовах операції об'єднаних сил.

**Метою цієї статті** є аналіз воєнних аспектів гібридної війни та обґрунтування пріоритетних напрямів протидії російській гібридній війні і майбутнім гібридним загрозам.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Головними ознаками гібридної війни вважаються: агресія без офіційного оголошення війни, приховування країною-агресором своєї участі в конфлікті, широке використання нерегулярних збройних формувань (у т.ч. під прикриттям мирного населення), нехтування агресором міжнародними нормами ведення бойових дій та чинними угодами і досягнутими домовленостями, взаємні заходи політичного та економічного тиску (за формального збереження зв'язків між двома країнами), широка пропаганда та контрпропаганда із застосуванням “брудних” інформаційних технологій, протистояння у кібернетичному просторі тощо.

Для розуміння проблеми визначимо які ж аспекти гібридної війни можна вважати саме воєнними. Звернемо увагу на висловлювання начальника генерального штабу країни-агресора В. Герасимова у статті “Ценность науки в предвидении” [9]: “... И сами “правила войны” существенно изменились. Возросла роль невоенных способов в достижении политических и стратегических целей, которые в ряде случаев по своей эффективности значительно превзошли силу оружия...”. Там же наведено доцільне співвідношення воєнних та невоєнних заходів – 1:4. При цьому до воєнних заходів віднесено: інформаційне протиборство, стратегічне стримування, ведення бойових дій та ведення міжнародних операцій, що є класичними формами ведення війни, але в контексті гібридної війни важливе їх співвідношення з невоєнними методами.

Розглянемо воєнні аспекти гібридної війни в контексті їх реалізації РФ проти України з огляду на такі положення: гібридна війна не може існувати без військової компоненти; форми та способи застосування збройної сили посилюють всі невоєнні складові гібридної війни (політичну, економічну, інформаційну, соціальну тощо), але при цьому не перевищують порогового рівня, який відповідає відкритій агресії; застосування військової сили посилюється невоєнними формами протиборства. Зважаючи на це воєнними

аспектами гібридної війни будемо вважати:

інформаційне протиборство або інформаційну війну, що безпосередньо посилюють ефект від бойових дій;

ведення бойових дій сторонами конфлікту; стримування агресії (стосується країни-жертви гібридної війни).

Зупинимося на кожному з цих аспектів.

**Інформаційне протиборство**, спрямоване на дезінформацію і на перший погляд його складно вважати воєнним аспектом, але насправді неможливо відокремити від воєнних дій, адже його результат часто перевершує воєнний ефект. Дезінформація є способом психологічного впливу, що полягає в намірі надати об'єкту таку інформацію, яка введе його в оману стосовно справжнього стану справ та створить спотворену реальність. Інформаційне протиборство полягає в поширенні перекручених, неповних або свідомо неправдивих відомостей для досягнення пропагандистських, воєнних (введення противника в оману), комерційних або інших цілей [10].

У цьому контексті доцільно згадати Резолюцію Європарламенту від 15 січня 2015 року щодо України, пунктом 5 якої визначено, що Європарламент рішуче засуджує агресивну і експансіоністську політику Росії та розв'язану і неоголошену гібридну війну проти України, яка практично включає інформаційну війну з елементами кібервійни, використання регулярних і нерегулярних сил, пропаганду, енергетичний шантаж, економічний тиск, дипломатичну та політичну дестабілізацію [11].

Російська Федерація розпочала інформаційне протиборство ще задовго до анексії Криму, нарощуючи його паралельно з підвищенням рівня протистояння в ході Революції гідності, формуванням неприйняття її ідей та цінностей значними верствами населення, особливо в Криму та на Сході України. Саме інформаційна складова (дезінформація та пропаганда) сприяла захопленню та анексії Криму, а потім створенню осередків сепаратизму на Донбасі, застосуванню "живих щитів" проти розгортання українських військ в АТО. Без інформаційного впливу для досягнення такого результату агресор мав би докласти набагато більших зусиль. Наведемо інші цілі та результати дезінформації та пропаганди в гібридній війні проти України:

створення хаосу та страху, вчинення провокацій;

дискредитація влади України та її здатності захистити державу і народ, маніпуляції історичною пам'яттю;

дискредитація Збройних Сил України (національна армія не є кращою за противника стосовно дотримання прав людини, режиму припинення вогню, особистої поведінки, тому не слід надавати допомогу власним ЗС)

дискредитація ідеї європейської та

євроатлантичної інтеграції, західних демократичних цінностей (твердження, що НАТО не здатне забезпечити безпеку країн-партнерів, є агресором і загрожує РФ; санкції впливають на країни Заходу, а не на РФ; всі брешуть, тому неможна покладатися на свої ЗМІ; всі західні уряди є маріонетками США);

виправдовування агресора (Росія не є агресором, а її реакція є природною через необхідність забезпечувати безпеку у своїх сферах впливу будь-якими засобами);

поширення ідеї глобальної залежності країн пострадянського простору та сусідів від російських енергоносіїв.

**Ведення бойових дій** агресором у гібридній війні має свої особливості. Щоб уникнути перевищення порогу прихованості збройної агресії, Росія прагнула використати слабкі сторони сил оборони України. Це природно для будь-якої війни, але слід зауважити, що агресор цю можливість використав повною мірою. Серед слабких елементів, які забезпечили перевагу агресору особливо в початковому періоді війни, ми виокремо лише шість, наведених нижче.

*По-перше.* Російське керівництво враховувало недостатню ефективність системи державного управління суб'єктами забезпечення національної безпеки України у воєнній сфері та відсутність на час розв'язання агресії об'єднаного керівництва силами оборони. Наявність цих чинників забезпечила не оголошення правового режиму воєнного стану, обмежила повноваження військового командування в зоні бойових дій, позбавила українських військових можливості залучати місцеве населення та ресурси місцевих підприємств для організації оборонних робіт, а також проведення мобілізації, чим скористалися сепаратисти й російські військові підрозділи. Стратегічні комунікації та інфраструктура виявилися незахищеними, без надійної охорони та оборони, що значно активізувало диверсійні дії противника на залізничному транспорті, шляхопроводах та інших вузлах стратегічних транспортних комунікацій. Сепаратистсько налаштовані представники місцевого населення за підтримки спецслужб РФ безкарно вчиняти протиправні дії (блокували пересування військових колон, не давали змоги військам проводити навантаження та розвантаження на визначених станціях, вчиняли провокації проти військовослужбовців, погрожували проукраїнське налаштованим громадянам).

Агресор скористався також нашим зволіканням зі створення Ставки Верховного Головнокомандувача, яка мала забезпечувати стратегічне керівництво Збройними Силами України, іншими військовими формуваннями та правоохоронними органами в особливий період. Генеральний штаб Збройних Сил України у такому разі мав стати робочим органом Ставки ВГК і на законних підставах організувати

збирання, систематизацію та аналіз розвіданих, наявних у розпорядженні різних відомств, планувати операції, визначати оперативні завдання усім складовим силам оборони, координувати їх зусилля, готувати проекти оперативних директив та наказів Ставки ВГК тощо.

*По-друге.* Надання воєнному конфлікту статусу антитерористичної операції призвело до покладання керівництва на Антитерористичний центр при Службі безпеки України, який згідно зі статтею 5 Закону “Про боротьбу з тероризмом” відповідає за “організацію та проведення антитерористичних заходів, координацію діяльності суб’єктів боротьби з тероризмом відповідно до визначеної законодавством України компетенції”. Зазначене посприяло агресору в позиціонуванні себе як “сторони, що не бере участі в конфлікті”.

За цих умов військове командування виявилось підпорядкованим Антитерористичному центру, а не навпаки, як це передбачено воєнним станом. Із початком антитерористичної операції 13 квітня 2014 року військові формування під керівництвом штабу Антитерористичного центру діяли відповідно до завдань і традицій такого виду операцій. Основними їх завданнями були звільнення захоплених російськими диверсантами будівель та арешт диверсійних груп.

Природно, що в умовах фактичного ведення воєнних дій посадові особи АТЦ при СБУ відповідно до специфіки фахової підготовки мали ускладнення об’єктивно оцінювати обстановку, що складалася внаслідок активного застосування збройних формувань, приймати доцільні рішення, ставити обґрунтовані завдання військам та грамотно управляти ними.

Серед проблеми, що виникли через запровадження антитерористичної операції, а не збройної відсічі агресії Росії, слід виокремити відсутність можливості судити за законами воєнного часу російських військовослужбовців, сепаратистів, найманців, оскільки вони є терористами, а не комбатантами, які потрапили у полон. Оскільки не визначений стан війни між державами, на українських військових, які потрапляють у полон чи до російських військ, теж не поширюється статус військовополонених, а отже, й Женевські та Гаазькі конвенції про захист їхніх прав і правила поведінки з ними.

*По-третє.* Агресор покладався на пасивність військових формувань України щодо блокування комунікацій Донбасу та прикриття державного кордону, вилучення зброї у місцевого населення. Важливо зазначити, що рішення про проведення у рамках АТО воєнної операції з відновлення контролю над кордоном і створення 10-кілометрової буферної зони були прийнято із запізненням. Власне, це мало б бути першочерговим завданням із прикриття державного кордону на самому початку російської воєнної агресії, а не через чотири місяці потому,

коли було втрачено контроль над прикордонними районами.

*По-четверте.* Агресор передбачав, що українська сторона не візьме до уваги підступність його дій, а саме можливість збройного вторгнення російських військ на територію України, а також можливість завдання вогневих ударів збройними силами Росії по українських силах зі своєї території. Певний час українська сторона недооцінювала противника, вважаючи, що веде боротьбу з “терористами”, а не підготовленими та добре оснащеними бойовими підрозділами, і серйозного спротиву противника не очікувала. Віра агресора у безкарність і всюдозволеність є характерною ознакою цієї війни. Знищення малайзійського лайнера рейсу МН-17 є тому підтвердженням.

Так, внаслідок недооцінювання обстановки під час визначення співвідношення сил у прикордонній смузі (вузькому коридорі уздовж кордону з Росією, де з правого флангу – російські війська, а з лівого – проросійські бойовики) та відсутності достовірних розвідувальних даних Сили швидкого реагування у складі підрозділів чотирьох механізованих бригад опинилися під артилерійським вогнем російських військ із російської території та зазнали значних втрат.

Особливо слід зазначити, що українські війська не вели вогонь у відповідь по російських агресорах. Це ще один воєнний аспект гібридної війни: війська держави, яка офіційно не перебуває у стані війни, не лише вчиняють збройне вторгнення, а й ведуть артилерійський вогонь зі своєї території по військах нібито дружньої держави.

Гібридний характер конфлікту обумовлював тактику застосування сил противника. Російські війська використовувались, як правило, у другому ешелоні або резерві, прикривали тили і фланги, здійснювали вогневу підтримку силами самохідної та реактивної артилерії, в тому числі великокаліберними системами, забезпечували радіоелектронну й артилерійську розвідку. Підрозділи, які складаються з найманців, використовувалися переважно як передові загони для розвідки боєм українських позицій та перевірки боєздатності українських військ, несли службу на блокпостах. Саме вони зазнавали основних втрат, а їх бійці попадали в полон.

*По-п’яте.* Агресор створив потужну сепаратистську мережу в Україні, особливо в Криму та на сході країни, що активно забезпечувала початковий період збройної агресії, а також продовжує діяти як базовий ключовий елемент підтримання соціального напруження в суспільстві, провокацій, часто – і політичного протистояння.

*По-шосте.* Агресор передбачав використовувати політичні та дипломатичні механізми для формального відмежування від конфлікту (він нібито не є його учасником – це

громадянська війна), визначив для себе статус миротворця, а також прагнув заморозити конфлікт у своїх інтересах, запропонувавши використовувати миротворчий контингент на окупованих територіях “з метою охорони миротворців ОБСЄ”.

Після підписання Мінських домовленостей війська противника, на відміну від українських підрозділів, вели систематичні бойові дії попри їх заборону. Перемир'я, запроваджене цими угодами, противник активно використовував для підвищення рівня бойової підготовки ударних підрозділів найманців, поповнення їх кваліфікованим особовим складом, здійснював маневри з бойовим злагодженням, поповнював і ремонтував бойову техніку. Приклад цьому операція російських окупаційних військ в січні – лютому 2015 року в районі ДЕБАЛЬЦЕВО.

Російська Федерація активно використовує свій статус члена Ради Безпеки ООН, що має право вето для практичного блокування рішень щодо України.

Водночас Україна довела здатність відстоювати свій суверенітет та територіальну цілісність держави, а її ЗС – спроможність вести бойові дії в умовах гібридної війни.

Найвагомішим результатом є те, що Україна вистояла проти сильнішого ворога і не дала йому можливості реалізувати проект “Новоросія”.

В Україні попри всі складнощі проведено мобілізацію, значно покращено логістичне забезпечення військ та їх підготовку. З урахуванням набутого досвіду було змінено характер АТО. Головними завданнями стали, з одного боку, недопущення широкомасштабного вторгнення російських військ, що потребувало зміцнення й перекриття кордону підрозділами ЗС України, а з іншого – мінімізація ескалації бойових дій з метою локалізації втягнення в бойові дії цивільного населення та мінімізації жертв серед нього.

Збройні Сили України, крім інших завдань визначених на початку АТО, що полягали в охороні та обороні військових об'єктів тощо, виконували завдання з вогневого придушення груп збройного опору російських диверсантів і сепаратистів, вогневої підтримки бойових дій спецпідрозділів, забезпечення розвідувальною інформацією та зв'язком сил АТО, знищення блокпостів противника та диверсійно-розвідувальних груп, повітряної підтримки й перекидання аеромобільних груп у зоні бойових дій.

У відповідь на дії диверсантів, “зелених чоловічків” та бандформувань було прийнято рішення про створення корпусу спецпідрозділів МВС загальною чисельністю 12 тис. осіб на основі цивільних формувань по всій території держави.

Службу безпеки України залучено до ширших антидиверсійних дій із виявлення російських диверсантів, запобігання диверсіям та

нейтралізації шпигунської мережі російських спецслужб не лише в зоні АТО, а й по всій країні.

Для підсилення дій силових структур у рамках АТО, у тому числі з місцевого населення було створено лояльні до України добровольчі загони самооборони (зокрема батальйони “Донбас”, “Азов”, “Дніпро”). Їх дії з блокування пересування бойовиків, проведення рейдів у зайнятих сепаратистами районах, охорони місцевих органів влади, не захоплених сепаратистами, виявилися досить ефективними.

Частини і підрозділи Національної гвардії України через опосередковані бойові дії з незаконними збройними формуваннями, відсутність чіткої лінії фронту і тилу почали вести бойові дії за принципом “всюди фронт”.

Внаслідок вжитих заходів вдалося не лише стабілізувати обстановку в тилу, а й розпочати поступове звільнення від бойовиків території Донецької та Луганської областей.

Так, у період з травня до серпень 2014 року штаб АТО спланував та провів низку операцій зі звільненню з-під контролю терористів більше 100 населених пунктів регіону, серед них МАРІУПОЛЬ, СЛОВ'ЯНСЬК, КРАМАТОРСЬК, ЩАСТЯ, СІВЕРСЬК, РУБІЖНЕ, ДЗЕРЖИНСЬК, ЛИСИЧАНСЬК.

У цей період дії сил АТО на тактичному рівні були переважно наступальними. При цьому традиційні для наступу заходи (масована вогнева підготовка та підтримка атаки, розгортання військ у батальйонні, ротні, взводні колони для переходу в атаку, прорив, що полягає у зламі оборони противника на обраних напрямках, оволодіння опорними пунктами, першою позицією), застосовували рідше, ніж вибіркоче високоточне ураження критичних об'єктів противника, рішучий обхід противника з флангів та його оточення, широке застосування маневру військами, вогнем та запасами, рейдові, десантно-штурмові, пошуково-ударні дії, дії повітряних десантів та їх поєднання.

Так, під час прикриття державного кордону на загрозованих ділянках у районі ЧЕРВОНОПАРТИЗАНСЬК – ІЗВАРИНЕ у червні 2014 року основним способом дій військ були глибокі (від 10 до 170 км) рейдові дії. Також під час цієї операції було відведено свої війська, виведено їх з-під удару противника.

У ході операції зі звільнення ЯМПОЛЯ та ЗАКОТНОГО основними способами застосування були пошукові та штурмові дії.

Під час забезпечення захоплення Луганського аеродрому 80 оаебр провела рейд близько 80 км та штурмовими діями оволоділа ним.

Результатом реалізації завдань операції в період з травня до серпня 2014 року стало звуження периметру району конфлікту майже на 530 км (з 950 до 420 км).

В оборонних боях застосовувалися мобільні дії військ, які означали не тільки швидке пересування

військ до початку та у ході бойових дій, а й своєчасний маневр вогнем, вихід з-під ударів противника, високоточний вогонь по його критичних об'єктах. У боях за ПСКИ та Донецький аеропорт 93 омбр незважаючи на значне перевищення нормативних показників (смуга оборони шириною 30 км і глибиною 45 км) застосувала спосіб маневреної оборони діяла вдало й утримала визначений рубіж.

**Стримування агресора** в гібридній війні є особливо важливим її воєнним аспектом як у ході особливій фазі війни для унеможливлення переходу гібридної війни у відкриту агресію, так і після припинення бойових дій. Стримування передбачає проведення комплексу політичних, дипломатичних, економічних, інформаційних заходів всіма складовими сектору безпеки та оборони. В рамках статті наведено тільки ті заходи стримування, які стосуються воєнних аспектів гібридної війни:

створення ефективної системи управління суб'єктами забезпечення національної безпеки України у воєнній сфері, визначення чіткої вертикалі підпорядкованості та відповідальності, починаючи від Верховного головнокомандувача ЗС України до командира відділення (бойової машини). Система управління має базуватися на реалістичному плані оборони. Розроблення Плану оборони України, який би об'єднав всі програмні та планувальні документи з питань оборони забезпечить урахування всіх потенційних можливостей та їх системну реалізацію в інтересах збереження суверенітету та територіальної цілісності України;

визначення відповідального органу з планування оборони держави. Хоча ГШ формально є головним військовим органом, для нього це буде дуже обтяжливо, через необхідність планування політичних, економічних та інших державних заходів, а єдина система управління дасть змогу організувати ефективну взаємодію всіх складових сил оборони для стримування і відбиття гібридній агресії;

плани мають спиратися на реальні спроможності всіх складових сил оборони; в свою чергу спроможності потребують системного розвитку в рамках удосконаленої системи оборонного планування для здатності протидіяти гібридним загрозам;

підготовка населення, у тому числі організація руху опору на окупованих територіях;

підготовка території до оборони з урахуванням того, що деякі регіони можуть бути захоплені ворогом. створення відповідних баз, складів озброєння, мереж зв'язку тощо, корегування дислокації військових частин, підприємств ОПК та об'єктів критичної військової інфраструктури, уникнення випадків розташування зазначених об'єктів поблизу державного кордону;

підготовка всіх категорій військовослужбовців до дій в умовах гібридної війни. Командний склад

усіх рівнів повинен мати практичні навички щодо організації взаємодії підрозділів Збройних Сил України з представниками МВС, Національної гвардії, СБУ тощо;

удосконалення підготовки військ, до ведення класичних форм збройного протистояння, а, також урахування особливостей гібридної війни, ведення бойових дій у населених пунктах, протидії провокаційним діям "цивільного населення" під час висування колон, розташування поблизу населених пунктів, розвантаження на залізничних станціях тощо), проведення заходів психологічної підготовки, виховання у військовослужбовців готовності використовувати зброю проти людей. Докорінна зміна системи підготовки офіцерів запасу на воєнних кафедрах у цивільних вищих навчальних закладах;

не лише протидія в інформаційному просторі протилежній стороні, а нормативно-правовий захист Збройних Сил України та інших військових формувань від негативного інформаційного впливу всередині держави, законодавче врегулювання та впровадження цензури, порядку й обмеження допуску журналістів в інформаційне поле, пов'язане із веденням бойових дій;

уточнення у територіальній обороні порядку охорони важливих державних, регіональних і місцевих об'єктів в умовах правового режиму воєнного стану, використання значного потенціалу державних і приватних охоронних структур, розроблення механізму їх залучення до охорони важливих державних об'єктів.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Попри стирання традиційних уявлень про війну, викладена ще Клаузевіцем теза про те, що війна має постійну природу та змінний характер залишається актуальною (хоча не всі поділяють таку точку зору, вважаючи, що природа війни може змінитися під впливом нових технологій та форм війни, а війна може мати "іншу граматику", яка ґрунтується на повстанських операціях). Під час аналізу гібридних воєн сучасності важливо це пам'ятати та розрізняти їх природу та характер. Ключовим завданням для пошуку відповіді на гібридний виклик стає оцінювання її воєнного аспекту, розуміння того, який елемент структури конфлікту залишиться незмінним, а який еволюціонуватиме.

Війна завжди буде актом насильства, який має на меті змусити суперника виконати вашу волю. Мотиви війни, сформульовані ще Фукідідом, так само будуть незмінні: страх, гордість й вигода. Характер та форма війни значною мірою залежать від технологій, економіки і рівня суспільного розвитку акторів. Наприклад, використання дронів та роботів у бойових діях вже є звичним. Недержавні актори так само можуть бути стороною військового протистояння, більше того, їх значущість у воєнних конфліктах імовірно



зросте. З розвитком комп'ютерних мереж кібервійни стають зброєю терористичних організацій та елементом гібридних воєн.

Досвід, набутий Україною, показав особливості військової парадигми сучасної гібридної війни, яка прискорила оборонні трансформації та структурні зрушення в секторі безпеки та оборони України спрямовані на мінімізацію загроз державному суверенітету, створення умов для відновлення

територіальної цілісності у межах міжнародно визнаного державного кордону України, гарантування мирного майбутнього України як суверенної і незалежної, демократичної, соціальної, правової держави, а також забезпечення нової якості оборонного сектору, інтеграції України до Європейського Союзу та формування умов для вступу в НАТО.

### Література

1. Hoffman F.G. Hybrid Warfare and Challenges / F.G. Hoffman // Joint Force Quarterly. – 2009. – 1st Quarter. – No 52. – P. 34–39. 2. Hoffman F.G. 'Hybrid Threats': Neither Omnipotent Nor Unbeatable [Електронний ре-сурс] / F.G. Hoffman. – Режим доступу: [http://operationaladaptation.com/unify\\_uploads/files/Hoffman%202010%20Hybrid%20Threats.pdf](http://operationaladaptation.com/unify_uploads/files/Hoffman%202010%20Hybrid%20Threats.pdf). 3. Клаузевиц К. О войне : в 2 т. / К. Клаузевиц. – М. : ООО "Изд-во АСТ" ; СПб. : Terra Fantastica, 2002. 4. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року "Про Стратегію національної безпеки України" від 26 травня 2015 року № 287/2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.president.gov.ua/documents/19521.html](http://www.president.gov.ua/documents/19521.html). 5. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 2 вересня 2015 року "Про нову редакцію Военної доктрини України" від 24 вересня 2015 року № 555/2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443>. 6. Указ Президента України

"Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року "Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України" від 14 березня 2016 року № 92/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.president.gov.ua/documents/922016-19832](http://www.president.gov.ua/documents/922016-19832). 7. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року "Про Стратегічний оборонний бюлетень України" від 6 червня 2016 року № 240/2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.president.gov.ua/documents/2402016-20137](http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137). 8. Світова гібридна війна: український фронт : монографія / За заг. ред. В. П. Горбуліна. – К.: НІСД, 2017. – 496 с. 9. Герасимов В. В. Ценность науки в предвидении // Военно-промышленный курьер. – 2013. – № 8 (476). – 27 февр. 10. Вікіпедія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Дезінформація>. 11. Європейська правда [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.eurointegration.com.ua](http://www.eurointegration.com.ua)

### АНАЛИЗ ВОЕННЫХ АСПЕКТОВ ГИБРИДНОЙ ВОЙНЫ: ИХ СОДЕРЖАНИЕ И УРОКИ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Ольга Федоровна Сальникова (д.н.ду., с.н.с.)  
Виктор Сысоевич Корендович (к.т.н, доцент)  
Павел Андреевич Минеев  
Сергей Игоревич Антоненко

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

Военные действия Российской Федерации с начала февраля 2014 года в Украине актуализировали парадигму вооруженного конфликта, когда сторона осуществляющая агрессию не афиширует себя. Модель, которая объединяет разные средства ведения военных действий с применением обычных видов вооружения нерегулярных войск и формирований, осуществление террористических актов и применение сепаратистских движений, известна в мире с начала XXI века как гибридная война. Именно изменение парадигмы современного вооруженного конфликта и гибридная агрессия РФ против Украины ускорили трансформацию и структурные изменения в секторе безопасности и обороны Украины. Создание и полноценное функционирование сектора безопасности и обороны, соответствующего условиям современного военного конфликта практически невозможны без научного анализа военных аспектов гибридной войны и объективного диагностирования проблем современной системы военной безопасности в условиях операции объединенных сил. В статье проанализированы военные аспекты гибридной войны и предложены приоритетные направления противодействия российской гибридной войне, а также будущим гибридным угрозам.

**Ключевые слова:** гибридная война; оборона государства; применение вооруженных сил; система управления вооруженными силами; объединенное руководство силами обороны.

### MILITARY ASPECTS HYBRID WARFARE'S COUNTERING: CONTENT AND LESSONS LEARNED

Ol'ga F. Salnikova (Doctor Science du., s.n.s.)  
Victor S. Korendovych (Ph.D., Associated professor)  
Serhii I. Antonenko  
Pavlo A. Minieiev

*National Defense University of Ukraine Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*Military actions of Russian Federation in the Eastern Ukraine since February 2014 has activated paradigm of armed conflict, when the aggressor does not display himself. Such a model, which integrates different means of conventional warfare, regular and irregular formations, terrorism and separatism, is well known since the beginning of 21 centuries as the hybrid war. Such a change of modern warfare paradigm and hybrid aggression of Russian Federation against Ukraine have built up impetus for acceleration transformation and structural changes in Security and Defence Sector (SDS) of Ukraine. Creation and effective functioning SDS of Ukraine which corresponds to modern armed conflict is impossible without scientific analysis of the military aspects hybrid war and comprehensive diagnostic the problems of functioning existing system of military security in the conditions of the Joint Forces operation. In the article has analysed the military aspects of hybrid war and proposed priority directions of Russian hybrid war countering as well as future hybrid threats.*

**Key words:** hybrid warfare; defense of state; armed forces employment; defence forces, C2 of Armed Forces; joint management of defence forces

### References

- 1. Hoffman F.G.** Hybrid Warfare and Challenges / F.G. Hoffman // Joint Force Quarterly. – 2009. – 1st Quarter. – No 52. – P. 34–39.
- 2. Hoffman F.G.** 'Hybrid Threats': Neither Omnipotent Nor Unbeatable [Electronic resource] / F.G. Hoffman. – available at: [http://operationaladaptation.com/unify\\_uploads/files/Hoffman%202010%20Hybrid%20Threats.pdf](http://operationaladaptation.com/unify_uploads/files/Hoffman%202010%20Hybrid%20Threats.pdf).
- 3. Carl Philipp Gottlieb von Clausewitz.** 'On War'. OOO publishing house ACT СПб Terra Fantastica, 2002.
- 4. The Decree of the President of Ukraine** "About the decision of The National Security and Defense Council of Ukraine on the 6<sup>th</sup> of May 2015" About the National Security Strategy of Ukraine " of 26 May 2015 № 287/2015 [*Pro rishennya Radi natsional'noi bezpeki i oboroni Ukraini vid 6 travnya 2015 roku "Pro Strategiyu natsional'noi bezpeki Ukraini" vid 26 travnya 2015 roku № 287/2015*], available at <http://www.president.gov.ua/documents/19521.html>.
- 5. The Decree of the President of Ukraine** "About the decision of The National Security and Defense Council of Ukraine on 2 September 2015" About the new edition of the Ukrainian Doctrine" on the 24<sup>th</sup> of September 2015 № 555/2015 [*Pro rishennya Radi natsional'noi bezpeki i oboroni Ukraini vid 2 veresnya 2015 roku "Pro novu redaktsiyu Voënnoi doktrini Ukraini" vid 24 veresnya 2015 roku № 555/2015*], available at <http://www.president.gov.ua/documents/5552015-19443>.
- 6. The Decree of the President of Ukraine** " About the decision of The National Security and Defense Council of Ukraine on the 4<sup>th</sup> of February 2016" About the Concept of the security and defense sector of Ukraine development" of 14 of March 2016 № 92/2016 [*Pro rishennya Radi natsional'noi bezpeki i oboroni Ukraini vid 4 bereznya 2016 roku "Pro Kontseptsiyu rozvitku sektoru bezpeki i oboroni Ukraini" vid 14 bereznya 2016 roku № 92/2016*]?, available at <http://www.president.gov.ua/documents/922016-19832>.
- 7. Decree of the President of Ukraine** "About the decision The National Security and Defense Council of Ukraine on the 20<sup>th</sup> of May 2016 "About the Strategic Defense Bulletin of Ukraine" of 6 of October, 2016, № 240/2016 [*Pro rishennya Radi natsional'noi bezpeki i oboroni Ukraini vid 20 travnya 2016 roku "Pro Strategichniy oboronniy byuleten' Ukraini" vid 6 chervnya 2016 roku № 240/2016*], available at <http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137>.
- 8. World Hybrid War: Ukrainian Front: the monography** [*Svitova gibridna vйна: ukrains'kiy front : monografiya*] / under V. Gorbulin.edition - K.: NISS, 2017. - 496 c. – P. 34–39.
- 9. Valery Gerasimov, The Value of Science is in the Foresight.** Military-Industrial Kurier. 2013. # 8(476).
- 10. Wikipedia** [Electronic resource], available at: <https://uk.m.wikipedia.org/wiki/Дезінформація>.
- 11. European Pravda** [Електронний ресурс]. – available at: [www.eurointegration.com.ua](http://www.eurointegration.com.ua)

*Андрій Вікторович Тристан* (канд. техн. наук, с.н.с.)<sup>1</sup>  
*Сергій Валерійович Осієвський* (канд. техн. наук, доцент)<sup>1</sup>  
*Валерій Григорович Паталаха* (канд. військ. наук)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна*  
<sup>2</sup>*Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна*

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ДЕГРАДАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Висока динаміка збройної боротьби у повітрі потребує підвищення оперативності прийняття рішень. Розвиток інформаційних технологій, який значно полегшив збір, обробку, передачу даних, вплинув і на процеси управління та застосування Збройних Сил. Сучасні інформаційні технології стирають просторові межі між об'єктами взаємодії, з одного боку спрощуючи комунікаційні процеси, а з іншого – ускладнюючи їх організаційну і функціональну структуру. Розвиток систем підтримки прийняття рішень як у складі перспективних автоматизованих систем управління, так і у вигляді окремих програмних модулів є перспективним науковим дослідженням сучасності, пов'язаним зі створенням інтелектуальних інформаційних технологій.

Інформаційна технологія автоматизованого аналізу процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем розглядається як сукупність моделей, методів, алгоритмів збору, обробки та передачі інформації про стан своєї й протидіючої системи, критичних точок впливу та формування управляючих впливів, спрямованих на досягнення інформаційної переваги, реалізації принципів рефлексивного управління та програмування дії противника. Інформаційна технологія є складовою інформаційного забезпечення перспективної системи підтримки прийняття рішень. Розроблені інформаційні методи обробки інформації ведуть до зміни структури складових систем управління та автоматизації Повітряних Сил, що знижує кількість критичних точок та реалізує принципи мережецентризму в управлінні.

**Ключові слова:** база даних (знань); інтелектуальний аналіз даних; інформаційна технологія; система підтримки прийняття рішень; складна організаційно – технічна система; системний аналіз; структурна модель; функціональна модель.

### Вступ

Незважаючи на прагнення світової спільноти до миру та сталого, гармонійного розвитку країн, світ у XXI столітті не став безпечніше та стикається з новими викликами, формами та способами ведення боротьби. Суперництво між країнами еволюціонувало від прагнення захопити ресурси та території до формування визначеного світогляду людей, що спостерігається останні 4 роки в нашій країні. Стрімкий розвиток інформаційних технологій, який значно полегшив спілкування та збір, обробку, передачу даних, вплинув і на процеси управління та застосування Збройних Сил. Розвиток засобів зв'язку, інформаційних технологій стирає просторові межі між об'єктами взаємодії, з одного боку спрощуючи комунікаційні процеси, а з іншого – ускладнюючи їх організаційну і функціональну структуру. Інтеграція технічної та організаційної структури призводить до появи складних організаційно-технічних систем, ефективність функціонування яких, синтез і деградація залежить як від технічної компоненти, так і від організації системи.

Розвиток сучасних концепцій ведення збройної боротьби, в тому числі і “гібридної війни” проти України свідчить, що перемогу здобуде не сторона, яка зможе забезпечити максимальний потенціал на фронті, а та сторона, яка здатна буде оперативно знайти “критичні точки” противника та спланувати ураження (вплив) саме їх у відповідній динаміці боротьби. В даному випадку сторона конфлікту повинна розглядатися як складна організаційно-технічна система (СОТС), що має мету функціонування, та складну внутрішню структуру.

**Постановка проблеми.** Послідовний пошук критичних точок противника в динаміці часу та вплив на них [1, 2, 3] дозволить реалізувати принципи рефлексивного управління та рефлексивного програмування [4], коли СОТС через множини впливів противника буде діяти за планом першої сторони. В такому протистоянні на перший план виходить не просто потенціал угруповання, а здатність оперативно приймати рішення та здійснювати вплив на ті елементи системи противника, які призведуть до втрати мети її функціонування.

Слід зазначити, що поєднання системного підходу у формалізації процесів збройної

боротьби із застосуванням сучасних інформаційних технологій дозволяє підвищити оперативність прийняття рішень та стійкість організаційно-технічних систем.

Розвиток системного підходу для опису умов та порядку взаємодії складних систем в реальному світі, теорії катастроф, динамічного хаосу вимагає нових підходів до формалізації даних процесів для автоматизованої обробки з застосуванням сучасних інформаційних технологій.

Загальні системні концепції дозволяють перейти до нових наукових досліджень на стику кібернетики, штучного інтелекту, інформаційних технологій, математичного моделювання, оптимального управління.

### **Аналіз остатніх досліджень і публікацій.**

Стаття є продовженням робіт з дослідження процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем [1 – 3, 5]. Методологічною основною розробки вимог та архітектури інформаційної технології є роботи [6], вимоги до побудови систем підтримки прийняття рішень розкриті в роботах [4, 7].

**Метою статті** є розроблення вимог та архітектури інформаційної технології автоматизованого аналізу процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Інформаційна технологія є складовою частиною системи підтримки прийняття рішень (СППР) та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо планування впливу на критичні точки протиборчої СОТС та захисту критичних точок власної СОТС, а також вироблення адекватних моделей відновлення СОТС після впливу противника.

Архітектурою інформаційної технології є комплекс взаємопов'язаних рішень на базі основних принципів вибору стандартів і технологій для створення взаємодіючих програм в СППР, а також для формування вимог до необхідного для розробки й функціонування цих програм технологічним, технічним і телекомунікаційним засобам і іншим видам забезпечення. Схема застосування інформаційної технології автоматизації процесів деградації та відновлення СОТС при підготовці до ведення бойових дій, що ґрунтується на реалізації принципів рефлексивного управління, наведена на рис. 1, а у ході ведення бойових дій на рис. 2.

Розділення алгоритмів збору обробки та передачі інформації на етапи ведення бойових дій пов'язано з тим, що на першому етапі виконуються функції прогнозу та моделювання. Крім того органи управління СОТС не обмежений в часі на прийняття рішення. На

етапі ведення бойових дій застосування даної інформаційної технології полягає в ітераційному її застосуванні в динаміці оновлення інформації. Оскільки противник також буде здійснювати управління та змінюватися в процесі ведення бойових дій, зміні будуть підлягати і критичні точки. Іншими словами, критичні точки на початкових фазах удару повітряного противника можуть бути змінені на інших фазах.

Завдання інформаційної технології на етапі ведення бойових дій:

- надавати органам управління актуальну інформацію про необхідні впливи на елементи СОТС противника для реалізації принципів рефлексивного програмування (примусення противника до дій, які завідомо йому не вигідні) [8];

- надавати органам управління актуальну інформацію про стан підсистем власної СОТС для проведення процедур відновлення (адаптації).

Проведемо аналіз вимог, що висуваються до програмно-апаратних комплексів, визначимо функції, які повинна виконувати інформаційна технологія у складі системи підтримки прийняття рішення та порядок її взаємодії з користувачами. Обґрунтуємо вибір концепції створення системи й необхідні для її функціонування засоби.

Система підтримки прийняття рішень призначена для вироблення обґрунтованих рішень та доведення їх до органів управління СОТС для досягнення мети її функціонування.

Головною особливістю інформаційної технології підтримки прийняття рішень є метод організації взаємодії обчислювальної системи та людини, що приймає рішення.

Вироблення рішення, що є основною метою такої взаємодії, здійснюється в результаті ітераційного процесу, в якому приймають участь:

- а) система підтримки прийняття рішень у ролі обчислювального комплексу;

- б) органи управління СОТС як управляючий орган, що задає вхідні дані та оцінює отриманий від програмно-апаратного комплексу результат.

Центральними вимогами до СППР є достовірність отриманих результатів, оперативність розрахунків (актуальність проведених розрахунків в динаміці бою) та контрольованість впливів (СППР лише рекомендує, а людина приймає рішення та повністю за нього відповідає).

Закінчення цього процесу проходить за рішенням людини при прогнозованому досягненні заданих критеріїв ефективності функціонування СОТС або за відсутністю часу (часовий критерій прийняття рішення) за умови вибору раціонального варіанту вибору траєкторії управління.

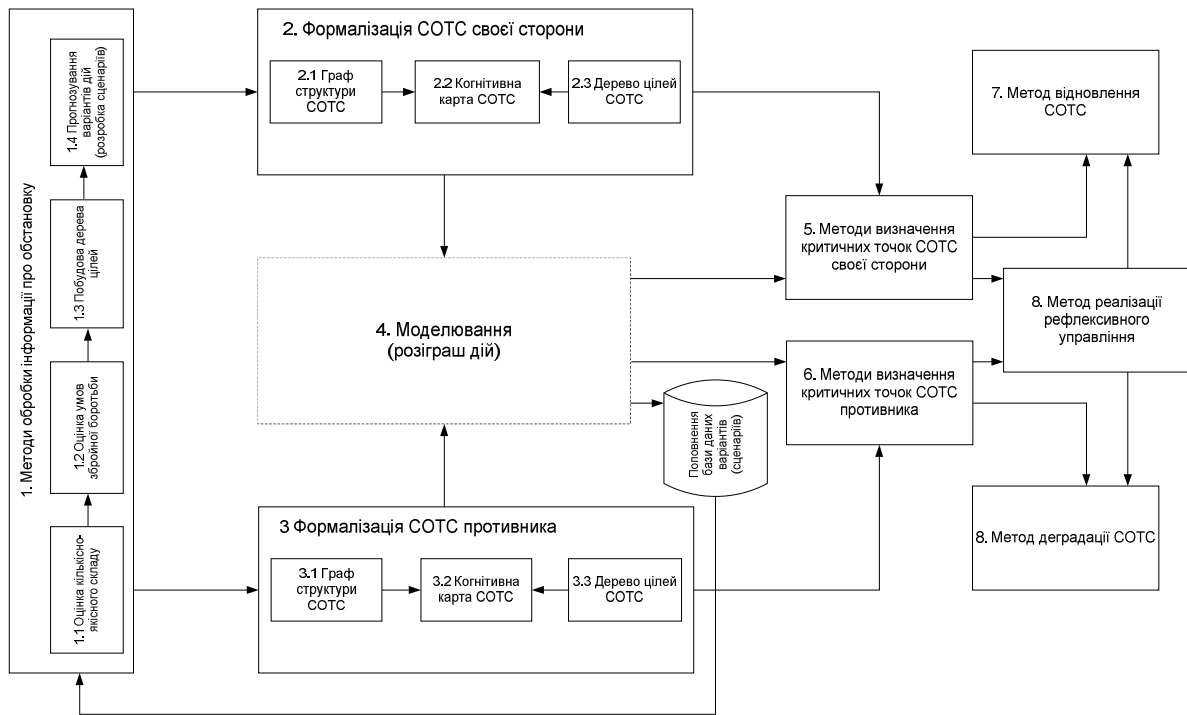


Рис.1. Схема застосування інформаційної технології аналізу процесів деградації та відновлення COTS (етап підготовки до ведення бойових дій)

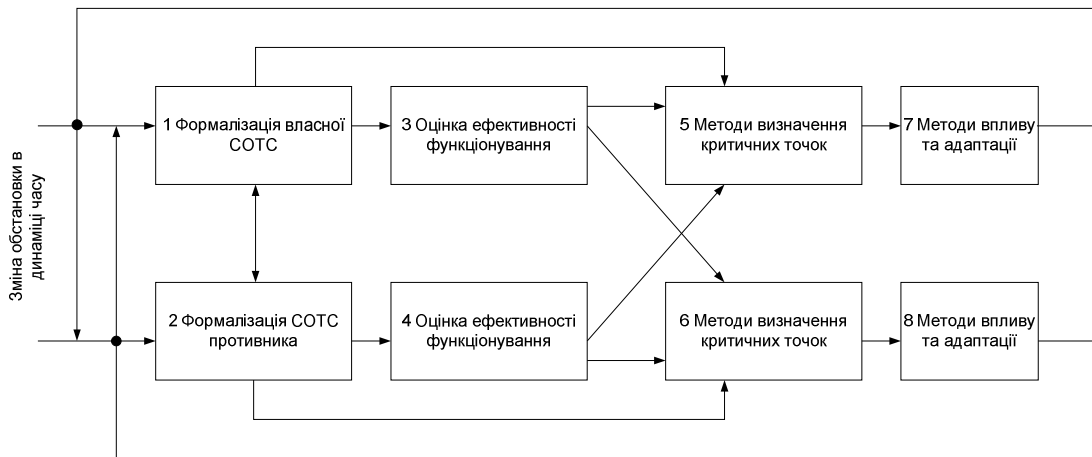


Рис.2. Схема застосування інформаційної технології аналізу процесів деградації та відновлення COTS (етап ведення бойових дій)

Визначимо особливості функціонування інформаційної технології СППР аналізу процесів деградації та відновлення COTS:

- 1) орієнтація на рішення погано структурованих (формалізованих) задач, використання в алгоритмах СППР методів нечітких множин, нечітких мір, інтелектуального аналізу даних;
- 2) використання у складі алгоритмічного (математичного) забезпечення методів прийняття рішень в умовах невизначеності;
- 3) сполучення традиційних методів доступу та обробки даних з можливостями математичних моделей та методами рішення задач на їх основі;
- 4) урахування системи переваг органу управління COTS;
- 5) висока адаптивність, що забезпечує

можливість пристосовуватися до особливостей технічного та програмного забезпечення, а також до вимог користувача;

- 6) реалізація принципів рефлексивного управління.

СППР може використовуватися на будь-якому рівні управління, що характерно для ієрархічної та мережецентричної структури побудови системи управління, тобто, рішення (пропозиції до рішення, замисел), що приймаються на різних рівнях системи управління повинні бути координовані.

При взаємодії людини, яка приймає рішення (ЛПР) з СППР відносно аналізу процесів деградації та відновлення COTS прецедентами роботи є:

- 1) формалізація COTS за допомогою

теоретико-графової моделі та моделі когнітивної карти;

2) побудова дерева цілей для СОТС (як власної, так і протилежної);

3) застосування методу оцінки стійкості системи та вироблення рекомендацій відносно зміни структури СОТС;

4) застосування методів деградації СОТС;

5) застосування методів відновлення СОТС.

Програмна реалізація даних методів у складі інформаційної технології (ІТ) аналізу процесів деградації та відновлення СОТС дозволяє сформулювати рекомендації щодо реалізації принципів рефлексивного управління СОТС в процесі їх протидії.

Для рішення поставлених завдань ІТ повинна бути інтегрована до СППР перспективної автоматизованої системи управління з єдиною БД (базою знань (БЗ), сховищем даних (СД)), методами інтелектуального аналізу даних та прогнозу.

Реляційні бази даних становляться не придатними для вирішення завдань аналізу процесів деградації та відновлення СОТС, які вирішуються відповідною ІТ в СППР з наступних причин:

– існує фізична відмінність між об'єктами, на які направлена операційна активність, і об'єктами, необхідними для аналізу, планування і прийняття рішень;

– існуючі технології забезпечення обробки реляційних баз даних фундаментально відрізняються від технологій підтримки прийняття рішень;

– неможливість перетворення різномірних даних в єдину інформацію для ЛПР.

Шляхом вирішення даної проблеми є інтеграція раніше роз'єднаних деталізованих даних в єдиному сховищі даних (СД), їх узгодження і агрегація: даних про попередні сценарії розвитку подій, даних за результатами аналізу процесів деградації та відновлення СОТС, даних із зовнішніх джерел. Призначення СД СППР постачання необхідної інформації ЛПР. Основними рисами проєктуемого СД є:

– предметна орієнтованість, що сприяє спрощенню аналізу і підвищенню швидкості виконання аналітичних запитів;

– інтегрованість базами даних СППР та перспективної АСУ для обробки різномірної інформації та її агрегацію;

– прив'язка до часу та можливість аналізувати динаміку зміну станів СОТС методами інтелектуальної обробки даних.

Програмно-технологічна архітектура СД враховує, що СППР повинна надавати ЛПР можливість деталізування інформації, тобто операцію Drill down.

Ключовою технологією СД для СППР є OLAP (On - line Analytical Processing) система, яка забезпечує високу швидкість формування

аналітичних звітів, що представляють собою багатомірні куби.

Дана технологія дозволяє обробляти масиви даних, однак не дає нової інформації про об'єкт дослідження (СОТС). Таку інформацію дають засоби інтелектуального аналізу даних до яких відноситься і ІТ аналізу процесів деградації та відновлення СОТС.

Таким висновок робимо на підставі:

по-перше, ІТ породжує знання про структуру, критичні точки та методи відновлення системи з безпосередньо даних про систему;

по-друге, ІТ дозволяє отримати нові знання про СОТС на основі збережених сценаріїв ситуацій та варіантів їх розвитку [5]

Таким чином, просто аналіз даних, так само, як і їх обробка, не спричиняє збільшення інформації про СОТС, а може лише обробляти наявну інформацію на базі відомих формальних процедур. ІАД, що реалізується ІТ аналізу процесів деградації та відновлення СОТС пов'язаний з додаванням до СД інформації про об'єкт, моделі і методи, з привнесенням гіпотез, ідей, моделей, сценаріїв, висновків (рекомендацій).

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована інформаційна технологія автоматизованого аналізу процесів деградації та відновлення складних організаційно-технічних систем, як технології інтелектуального аналізу даних, що ґрунтується на об'єктно-орієнтованому методі проєктування, складається з сукупності моделей, методів та алгоритмів збору, обробки та передачі інформації системи підтримки прийняття рішень. Застосування технологій дозволяє досягти інформаційну перевагу та реалізувати принципи рефлексивного управління й програмування дій противника.

Особливостями функціонування ІТ аналізу процесів деградації та відновлення СОТС є:

орієнтація на рішення погано структурованих (формалізованих) задач, використання в алгоритмах СППР методів нечітких множин, нечітких мір, інтелектуального аналізу даних;

використання у складі алгоритмічного (математичного) забезпечення методів прийняття рішень в умовах невизначеності;

сполучення традиційних методів доступу та обробки даних з можливостями математичних моделей та методами рішення задач на їх основі;

урахування системи переваг органу управління СОТС;

висока адаптивність, що забезпечує можливість пристосовуватися до особливостей технічного та програмного забезпечення, а також до вимог користувача.

реалізація принципів рефлексивного управління.

*Література*

1. **Тристан А. В.** Методика структурного аналізу і оцінки руйнування складних систем / А. В. Тристан, О. А. Заболотний, В. В. Гридіна, В. Г. Паталаха // Республіка Казахстан, г. Уральськ. Уральський научний вестник – 2015. - № 5 (136). С. 77-81. 2. **Тристан А. В.** Комплексна модель руйнування складних організаційно-технічних систем / А. В. Тристан, Т. М. Курцева, В. Г. Паталаха // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. - 2016. - № 4. - С. 100-104. 3. **Тристан А. В.** Застосування аналізу когнітивних моделей складних систем в комплексі задач планування вогневого ураження системи підтримки прийняття рішення / А. В. Тристан, С. В. Немченко // Системи обробки інформації. - 2012. - № 5. - С. 53-56. 4. **Тристан А. В.** Методика розпізнавання замислу дій повітряного противника командиром частини (підрозділу) ППО СВ із застосуванням системи підтримки прийняття рішення / А. В. Тристан, І. М. Тіхонов // Системи озброєння і військова техніка. - 2011. - № 2. - С. 101-105. 5. **Тристан А. В.** Полієдральний аналіз у дослідженні структурно складних систем для

рішення задачі вибору об'єктів вогневого ураження / А. В. Тристан, В. В. Гридіна, О. М. Козак, С. Л. Городецький // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - 2014. - № 4. - С. 15-19. 6. **Буч Г.** Язык UML. Руководство пользователя: пер. с англ. (Серия "Для программистов") / Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. – М.: ДМК, 2000. – 432 с. 7. **Тристан А. В.** Вимоги до системи підтримки прийняття рішення командира частини (підрозділу) військ протиповітряної оборони Сухопутних військ / А. В. Тристан, С. М. Піскунов, І. М. Тіхонов // Системи озброєння і військова техніка. - 2011. - № 1. - С. 214-217. 8. **Іонов М. Д.** On Reflexive Control of Enemy in Combat / М. D. Ionov // Military thought (English edition) No. 1 (January 1995), P. 46-47. 9. **Миркин Б. Г.** Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений. – М.: изд. дом ВШЭ, 2011 – 711 с. 10. **Теорія прийняття рішень органами військового управління:** монографія / В. І. Ткаченко, Г. А. Дробаха, Є. Б. Смірнов, А. В. Тристан, та ін. / За ред. В. І. Ткаченка, Є. Б. Смірнова // Міністерство оборони України. – Х.: ХУ ПС. – 2008. – 545 с.

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ДЕГРАДАЦИИ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Андрей Викторович Тристан (канд. техн. наук, с.н.с)<sup>1</sup>  
Сергей Валерьевич Осиевский (канд. техн. наук, доцент)<sup>1</sup>  
Валерий Григорьевич Паталаха (канд. воен. наук)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Харковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина*

<sup>2</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

Высокая динамика вооруженной борьбы в воздухе нуждается в повышении оперативности принятия решений. Развитие информационных технологий (ИТ), что значительно облегчило сбор, обработку, передачу данных, повлияло и на процессы управления и применения Вооруженных Сил. Современные информационные технологии стирают пространственные границы между объектами взаимодействия, с одной стороны упрощая коммуникационные процессы, а с другой - усложняя их организационную и функциональную структуру. Развитие систем поддержки принятия решений (СППР) как в составе перспективных автоматизированных систем управления, так и в виде отдельных программных модулей является перспективным научным исследованием современности, связанным с созданием интеллектуальных информационных технологий.

Информационная технология автоматизированного анализа процессов деградации и восстановления сложных организационно-технических систем рассматривается как совокупность моделей, методов, алгоритмов сбора, обработки и передачи информации о состоянии своей и противодействующей системы, критических точек воздействия и формирования управляющих воздействий, направленных на достижение информационного превосходства, реализации принципов рефлексивного управления и программирования действий противника. Информационная технология является составляющей информационного обеспечения перспективной системы поддержки принятия решений. Предложенные информационные методы обработки информации ведут к изменению структуры составляющих систем управления и автоматизации Воздушных Сил, что снижает количество критических точек и реализует принципы сетецентризма в управлении.

**Ключевые слова:** база данных (знаний); интеллектуальный анализ данных; информационная технология; система поддержки принятия решений; сложная организационно - техническая система (СОТС); системный анализ; структурная модель; функциональная модель.

**INFORMATION TECHNOLOGY FOR AUTOMATED ANALYSIS OF DEGRADATION AND RESTORATION PROCESSES OF COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS**

<sup>1</sup>*Andrey V. Tristan (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

<sup>1</sup>*Sergey V. Osiyevskiy (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

<sup>2</sup>*Valery G. Patalaha (Candidate of Military Sciences)*

<sup>1</sup>*Kharkov National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkov, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The high dynamics of the armed fight in mid air needs increase of operationability of making decision. Growth of information technologies (IT), that facilitated collection, treatment, communication of data considerably, influenced and on the processes of management and employment of the Armed Forces. Modern information technologies wear away spatial borders between the objects of cooperation, from one side simplifying of communication processes, and from other - complicating their organizational and functional structure. Employment of the decision support systems (DSS) both in composition perspective control and combat systems and as separate programmatic modules is the long-range scientific research of contemporaneity, related to creation of intellectual information technologies.*

*Information technology of the automated analysis of processes of degradation and renewal of the difficult organizationally-technical systems is examined as totality of models, methods, algorithms of collection, treatment and transfer information about state of own and counteractive system, critical points of influence and forming of the managing influences sent to the achievement of informative superiority, realization of principles of reflection control and programming of opponent actions. Information technology is the constituent of dataware of the perspective decision support system. Offered informative methods of information treatment conduce to the change of structure of constituents in control and automation system of Air Forces, that reduces the amount of critical points and will realize principles of network-centric in a control.*

**Key words:** *database (knowledge); intellectual data analysis; information technology; decision support system; complex organizational and technical system; system analysis; structural model; functional model*

### References

**1. Tristan A. V.** A method of structural analysis and evaluation of the destruction of complex systems / A. V. Tristan, O. A. Zabolotny, V. V. Gridina, V. G. Patalakha // Republic of Kazakhstan, Uralsk. Ural Scientific Bulletin - 2015. - No. 5 (136). Pp. 77-81.  
**2. Tristan A. V.** Complex model of destruction of complex organizational and technical systems / A. V. Tristan, T. M. Kurtseva, V. G. Patalakha // Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces. - 2016. - No. 4. - P. 100-104.  
**3. Tristan A. V.** Application of the analysis of cognitive models of complex systems in the complex of tasks of planning of fire damage of the system of decision support support / A. V. Tristan, S. V. Nemchenko // Systems of information processing. - 2012. - No. 5. - P. 53-56.  
**4. Tristan A. V.** A method of recognition of the design of action of an air enemy by the commander of a part (unit) of air defense by using a decision support system / A. V. Tristan, I. M. Tikhonov // Systems of armament and military equipment. - 2011. - No. 2. - P. 101-105.  
**5. Tristan A. V.** The field analysis in the study of structurally complex systems for solving the problem of the choice of

objects of fire damage / A. V. Tristan, V. V. Gridina, O. M. Kozak, S. L. Gorodetsky // Science and equipment of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine. - 2014. - No. 4. - P. 15-19.  
**6. Buch G.** The UML Language. User's Guide: Per. from english (Series for programmers) / Buch G., Rambo D., Jacobson A. - M.: DMK, 2000. - 432 p.  
**7. Tristan A. V.** Requirements to the system of support for decision-making of the commander of the subdivision of the Air Defense Forces of the Land Forces / A. V. Tristan, S. M. Piskunov, I. M. Tikhonov // Systems of Armament and Military Equipment. - 2011. - No. 1. - P. 214-217.  
**8. Ionov M. D.** On Reflexive Control of Enemy in Combat / M. D. Ionov // Military thought (English edition) No. 1 (January 1995), P. 46-47.  
**9. Mirkin B.G.** Methods of cluster analysis to support decision making. - M.: Izd. HSE House, 2011 - 711 p.  
**10. The theory of decision-making by military authorities:** monograph / V.I Tkachenko, G.A. Drobakh, Ye.B. Smirnov, A.V Tristan, and others. / Ed. V.I Tkachenko, Ye.B. Smirnov // Ministry of Defense of Ukraine. - X.: XU PS. - 2008 - 545 pp.



*Едуард Миколайович Бовда (канд. техн. наук)*

*Олександр Миколайович Гук*

*Оксана Григорівна Гаврилюк*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна*

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

*В статті проведено аналіз існуючих підходів та методів оцінки ефективності телекомунікаційної мережі та її системи управління. Розглянуто поняття ефективності, класифікація та існуючі підходи по її оцінці. Наведено ряд показників ефективності телекомунікаційної мережі, які характеризують цільову, технічну (технологічну), економічну ефективність телекомунікаційної мережі. Розглянуто показники ефективності системи управління телекомунікаційною мережею. Представлена методика оцінки ефективності методів маршрутизації, як підсистеми управління маршрутизацією системи управління телекомунікаційної мережі, яка складається з семи етапів. Показники ефективності методів маршрутизації при цьому розглядаються як три групи показників, що поділяються на глобальні, локальні та експлуатаційно-фінансові. Наведено ефективність методів маршрутизації (за параметрами продуктивності, часу затримки передачі пакетів) при зміні топології та різних методах маршрутизації при фіксованих значеннях вхідного навантаження та розмірності мережі. Показано, що ефективність системи управління визначається ефективністю телекомунікаційної мережі.*

**Ключові слова:** *ефективність, система управління, телекомунікаційна мережа, показник ефективності.*

### Вступ

При роботі органів військового управління різного рівня виникає потреба в оцінці ефективності системи управління. До її складу входить система управління телекомунікаційними мережами, яка має в собі автоматизовану систему управління зв'язком. Задачі управління, які опрацьовує система управління телекомунікаційними мережами, вирішуються поетапно, відповідно з етапами управління, що складаються з планування, розгортання та оперативного управління.

Важлива роль тут належить етапу оперативного управління, де за прийнятими показниками та критеріями ефективності постійно оцінюється стан мереж, і приймаються міри (відповідно до плану та реальної обстановки) по втриманню показників ефективності функціонування в заданих межах або здійснюється їх системна (користувальницька) оптимізація.

Особливістю даного етапу є те, що задачі оперативного управління (на відмінність задач планування) вирішуються змішаним способом (централізовано/децентралізовано) у режимі реального часу, а за змістом багаторазово їх повторюють.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній момент існують різні підходи до отримання необхідних кінцевих результатів в оцінці ефективності. Один з підходів характеризує оцінку ефективності елементів-підсистем зв'язку телекомунікаційної мережі. Другий – характеризує окремі показники ефективності (наприклад, час затримки пакетів), за якими визначають

ефективність в цілому системи. Існує також підхід, в якому враховано два попередні підходи тощо.

Таким чином, проблема полягає в обґрунтованості оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами, що здатна об'єктивно оцінити внесок системи управління до загальної ефективності роботи всієї мережі зв'язку військового призначення та її системи управління.

### Аналіз остатніх досліджень і публікацій.

Для оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами існує підхід, який дозволяє розв'язати це завдання за двома складовими: оцінка функціональної або структурної живучості. За показник живучості можливо прийняти показник стійкості системи. Проведення такої оцінки є важливим для вирішення комплексної задачі оцінки системи управління телекомунікаційними мережами в сучасних умовах ведення збройної боротьби.

В роботі [1] розглянуто різні підходи до вибору показників, які використовуються для оцінки ефективності мереж зв'язку. Обґрунтовано використання для оцінки ефективності мережі зв'язку узагальненого показника. Дано визначення оптимальної робочої точки по навантажувальним характеристикам для елемента мережі зв'язку, що описується системою масового обслуговування.

В статті [2] проведена класифікація методів маршрутизації, запропонованих для застосування в мобільних радіомережах та дана їх коротка характеристика. Проведена декомпозиція проблеми маршрутизації в мобільних радіомережах на завдання. Запропоновано

проводити розробку нових методів маршрутизації по класах, кожен з яких задовольняє типу трафіку, наявного обладнання в вузлах і умов функціонування мобільних радіомереж. Розглянуто схеми системного аналізу та синтезу методів маршрутизації і методика оцінки їх ефективності.

В роботі [3] пропонується метод управління маршрутизацією в безпроводових сенсорних мережах з динамічною топологією в умовах нестабільності зв'язків між їх вузлами. Ідея методу полягає у динамічному виборі цільової функції управління маршрутами з урахуванням типу маршрутизації і нестабільності зв'язків між вузлами безпроводової сенсорної мережі. Запропоновано адаптивний метод управління маршрутизацією для бездротових сенсорних мереж, що передбачає: функціонування в мережі множини методів маршрутизації; динамічне формування метрик вибору маршруту з урахуванням нестабільності зв'язків між вузлами бездротової сенсорної мережі; управління топологією мережі як складовою частиною маршрутизації; інтелектуалізацію процесів прийняття рішення по маршрутизації. Адаптивне управління маршрутизацією дозволяє здійснювати мережну і призначену для користувача оптимізацію за рахунок адаптації до поточної ситуації на мережі, типу переданої інформації і підвищення рівня обґрунтованості прийнятих маршрутних рішень.

В роботі [4] проведено аналіз і запропоновано інтегральну класифікацію існуючих методів адаптивного розподілу інформаційних потоків в корпоративних обчислювальних мережах. Розроблено адаптивну методіку комплексної оцінки ефективності функціонування корпоративних обчислювальних мереж на основі призначених для користувача критеріїв результативності та своєчасності доставки абонентських повідомлень, що враховує такі характеристики інформаційного обміну між абонентами мережі: різномірний пріоритетний трафік; обсяги переданих повідомлень; часи передачі кожного повідомлення; функціонування мережі в стаціонарних і перехідних станах.

В роботі [5] показано шляхи підвищення ефективності функціонування автоматизованих мереж радіозв'язку на основі застосування нових методів маршрутизації інформаційних потоків в мережах з динамічною топологією. Розроблено методіку оцінки ефективності методів маршрутизації в автоматизованих мережах радіозв'язку та проведено дослідження ефективності функціонування різних методів маршрутизації.

У статті [6] описана методика проведення порівняльної оцінки ефективності систем супутникового зв'язку з штучними супутниками (ШСЗ) на різних типах орбіт. Методика розроблена з використанням методу, заснованого на застосуванні умовних критеріїв переваги з

введенням узагальненого показника якості. Наводиться приклад порівняльної оцінки ефективності систем супутникового зв'язку з ШСЗ на *GEO*, *MEO* і *LEO* орбітах.

В роботі [7] запропонований показник ефективності мереж зв'язку та їх елементів, що забезпечує можливість їх об'єктивного порівняння на етапах створення, вдосконалення та експлуатації, а також встановлення обґрунтованих тарифів. Описана сукупність значень показників якості функціонування визначає стану елементів мережі та мережі в цілому та характеризує їх здатність до навантаження. Розглянуто поняття стратифікації мережі зв'язку як складної системи, зі специфікаціями реалізованих протоколів передачі та обробки і з використанням відомих аналітичних моделей на базі систем масового обслуговування або імітаційного моделювання. Викладено метод визначення показника ефективності і оптимальної робочої точки функціонування мережі зв'язку та її елементів.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що розглянуті підходи в оцінці ефективності в не повній мірі відповідають вимогам, що накладаються на сучасні системи управління телекомунікаційними мережами.

**Метою статті** є створення методики оцінки ефективності системи управління телекомунікаційними мережами.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Поняття ефективності можна застосовувати як до системи управління телекомунікаційною мережею, так до телекомунікаційної мережі. Розглянемо спочатку основні поняття ефективності в цілому.

Ефективність системи управління телекомунікаційними мережами – це створення сприятливих умов для досягнення посадовими особами поставлених цілей в найкоротший термін при найвищих якісних і кількісних показниках та найменших витратах ресурсів. Оскільки завданням управління є цілеспрямований вплив на керований об'єкт для забезпечення досягнення поставлених цілей, ефективність управління може бути оцінена за ступенем досягнення цих цілей: за кінцевими результатами діяльності (забезпечення зв'язку з потрібною якістю), за якістю планування (відпрацювання плануючих документів), за продуктивністю роботи системи управління (затримки при обробці даних, кількість інформації, що передана в одиницю часу), за надійністю роботи системи управління (інтенсивність відмов, коефіцієнт готовності, зручність обслуговування) тощо.

На практиці при оцінці ефективності системи управління застосовуються кілька підходів.

**Цільовий підхід** – оцінка за ступенем реалізації поставлених цілей – виконання тієї чи іншої програми в залежності від вирішення конкретних завдань, досягнення намічених технологічних

показників, прогнозованих станів.

*Ресурсний підхід* – оцінка ефективності управління в залежності від ступеня використання ресурсів, як пов'язаних з самим управлінням, так і всіх ресурсів, які залучені при забезпеченні зв'язку. Для цього необхідно отриманий результат порівняти з тими витратами, за допомогою яких він отриманий, зіставити одну абсолютну величину – ефект, з іншою абсолютною величиною – витратами, що дає відносну ж величину – ефективність:  $E_{\phi} = E/V$ . Тобто, ефективність – отримання необхідного максимального результату з найменшими витратами.

*Оцінка досягнутого стану військ зв'язку, його місця в системі управління* – оцінка динаміки основних показників за порівнянний період часу, зіставлення їх з нормативними величинами.

*Комплексний підхід* – поєднує в собі всі попередні.

Ефективність системи управління – специфічна категорія, що відображає рівень і динаміку розвитку управління, якісну та кількісну сторону цього процесу.

За змістом можна виділити військову і економічну ефективність управління, ефективність на етапах управління (планування, розгортання, оперативного управління), ефективність на тактичному (підрозділ), оперативно-тактичному, стратегічному рівнях управління, за методом розрахунку ефективності – абсолютна (по конкретній системі управління) і відносна (у порівнянні з іншими аналогічними системами управління) і т.д.

Виділяють наступні види оцінки ефективності управління:

1. За метою оцінки: визначення стану і напрямків розвитку системи управління; визначення результативності та ефективності системи управління та шляхів їх подальшого підвищення.

2. За характером оцінки: військовий, методологічний, функціональний, економічний, соціальний, організаційний, технологічний, правовий аспекти.

3. По взаємозв'язку системи управління і керованого об'єкта: з позиції всієї системи та з позицій системи управління як частини цілого.

4. По об'єкту оцінки: комплексна оцінка всієї системи управління і складових її компонентів.

5. За спрямованістю оцінки: динамічні (процеси) і статичні (структурні) характеристики системи управління.

6. За критеріями оцінки: кількісна та якісна.

7. За методами оцінки: експертний, бальний, коефіцієнтний, екстраполяційний, евристичний, порівняльний, системний тощо.

Для вираження ефективності управління застосовується ряд часткових понять:

1. Ефективність роботи посадової особи системи управління.

2. Ефективність управлінської діяльності системи управління або окремих його органів і підрозділів.

3. Ефективність процесу управління (при виробленні та реалізації конкретного управлінського рішення).

4. Ефективність системи управління (з урахуванням ієрархії управління).

5. Ефективність механізму управління (методів, важелів, стимулів).

6. Ефективність вдосконалення управління.

Загалом, розглядають ефективність управління як сукупність трьох складових:

1. Ефективність діяльності посадових осіб системи управління.

2. Ефективність діяльності підрозділів (органів, пунктів) управління.

3. Ефективність системи управління в цілому.

Показники ефективності управління впливають з вимог, що пред'являються до системи управління. Це вимоги: економічності (здатності впливати на керований об'єкт з найменшими витратами), оперативності (своєчасності отримання і переробки інформації, підготовки, прийняття та виконання рішень), надійності системи управління, щоб уникнути втрати інформації, різних помилок, раціональності (якісний аспект, що характеризує організованість системи управління), результативності (кількісний аспект).

На сьогодні не існує сталих підходів у визначеності ефективності. Тому є така особливість, яка полягає в проблемі визначення, кількісного виміру ефективності управління.

Система управління телекомунікаційними мережами (рис. 1) складається з певної кількості підсистем управління, які входять до складу підсистеми підтримки прийняття рішень. Це підсистеми, які визначають зміст роботи системи управління: управління маршрутизацією (методи управління маршрутизацією), управління топологією, управління навантаженням, управління якістю обслуговування, управління ресурсами тощо.

**Показники ефективності системи управління телекомунікаційними мережами.**

Провести оцінку ефективності системи управління телекомунікаційними мережами, як окремої людино-машинної системи, можна умовно за наступними ознаками:

- достатності її структурних елементів – відповідності кількості та розміщення елементів інформаційно-телекомунікаційних вузлів (ІТВ) по рівням та зонам відповідальності;

- повноти та своєчасності отриманої інформації, яка достатня для виконання завдань за призначенням.

Показником повноти структури системи управління може бути коефіцієнт повноти оснащення пунктів управління сучасними засобами автоматизації і зв'язку:

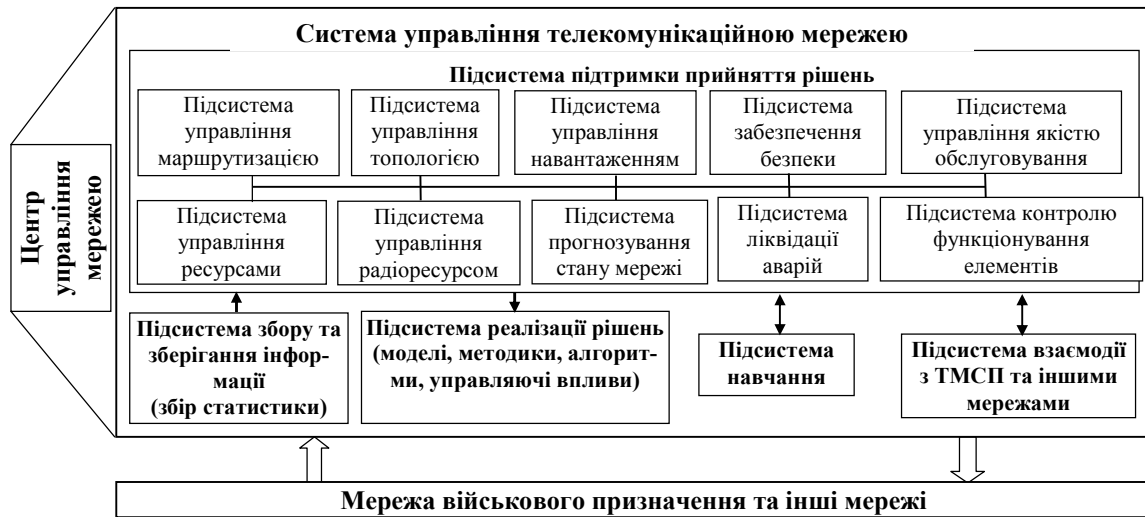


Рисунок 1. Функціональна структура системи оперативного управління телекомунікаційними мережами

$$C = \frac{N_{\text{авт}}}{N_{\Sigma}}, \quad (1)$$

де  $N_{\text{авт}}$  – кількість пунктів управління, що оснащенні сучасними засобами автоматизації та зв'язку;  $N_{\Sigma}$  – загальна кількість пунктів управління в системі управління.

**Показники ефективності телекомунікаційної мережі.**

З позицій системного підходу, система управління телекомунікаційної мережі є елементом мережі та безпосередньо впливає на характеристики мережі. Тому ефективність системи управління в першу чергу потрібно оцінювати з позицій оцінки характеристик всій мережі при даній системі управління. З другого боку, можна оцінювати функціонування систем управління між собою (синтез нової системи управління) при умові отримання однотипних рішень з урахуванням різних розрахунків ресурсів при отриманні даного рішення, або отримання одного рішення при різних ресурсах. Показник ефективності телекомунікаційної мережі визначається процесом її функціонування та він є функціоналом від цього процесу.

$$E = f(t, L_{\text{п}}, L_{\text{тп}}, L_{\text{А}}, L_{\text{Д}}, L_{\text{У}}) \rightarrow \text{opt}, \quad (2)$$

де  $E$  – множина показників ефективності мережі;  $t$  – час;  $L_{\text{п}}, L_{\text{тп}}, L_{\text{А}}, L_{\text{Д}}, L_{\text{У}}$  – множини параметрів відповідно вхідних потоків запитів на обслуговування користувачів ( $L_{\text{п}}$ ), технічних і програмних засобів мережі ( $L_{\text{тп}}$ ), алгоритмів обробки і передачі інформації в мережі ( $L_{\text{А}}$ ), діяльності користувачів ( $L_{\text{Д}}$ ), умов функціонування мережі ( $L_{\text{У}}$ ).

Відповідно до конкретизації поняття ефективності показники множини  $W$  можна розділити на три групи:

$$E = \{E_{\text{Ц}}, E_{\text{Т}}, E_{\text{Е}}\}, \quad (3)$$

де  $E_{\text{Ц}}$  – показники цільової ефективності телекомунікаційної мережі, або ефективності використання (цільового застосування) телекомунікаційної мережі, це кількісна міра відповідності мережі своєму призначенню;  $E_{\text{Т}}$  – показники технічної (технологічної) ефективності телекомунікаційної мережі, це кількісна міра, яка відображає технічну досконалість мережі;  $E_{\text{Е}}$  – показники економічної ефективності телекомунікаційної мережі, це кількісна міра економічної доцільності мережі.

Вибір показників цільової ефективності системи управління визначається її призначенням, в зв'язку, з чим має місце велика різноманітність показників цієї групи. За допомогою цих показників оцінюється ефект (цільової результат), одержуваний за рахунок вирішення тих чи інших завдань за допомогою системи управління. Для кількісної оцінки цього ефекту можуть застосовуватися найрізноманітніші показники цільової ефективності.

Цілями системи управління ( $Z^U$ ) можуть бути екстремум або підтримка (виступають як обмеження) заданих параметрів функціонування всієї мережі або її елементів (зона, напрямок, маршрут, вузол, канал), що можна представити в вигляді [8, 9]:

$$Z^U = f(C, P^e, P^{3в}, F, Y^{CY}, O, R) \rightarrow \text{opt}, \quad (4)$$

при обмеженнях  $R \leq R_{\text{доп}}, O \leq O_{\text{доп}}, \{T_{\text{Ц}} \leq T^{\text{доп}}\} \rightarrow \text{min}$ .

де  $C$  – структура системи управління;  $P^e$  – множина параметри елементів системи управління;  $P^{3в}$  – множина параметрів зв'язків між елементами системи управління;  $F$  – сукупність функцій, що реалізуються системою управління телекомунікаційної мережі;  $Y^{CY}$  – умови функціонування системи управління;  $O$  – обмеження на значення характеристик властивостей

системи управління, що створюється;  $R$  – обмеження на ресурси, за допомогою яких буде синтезуватися система управління;  $T_{ц}$  – час циклу оперативного управління мережею;  $T^{доп}$  – час, що відведений на управління мережею або її етапи, який визначається директивними документами.

Разом з тим, у системі управління мережею існує ієрархія цілей  $Z^U$ . Загальна ціль поділяється на підцілі: планування та оперативного управління. Оперативне управління в свою чергу поділяється на управління якістю обслуговування, конфігурацією, несправностями, ресурсами тощо. В загальному випадку  $Z^U$  можна представити у вигляді списків підцілей, які пов'язані визначеними відношеннями [8, 9]:

$$Z^U = \{Z_0 \Theta_{01} \{Z_{11}, Z_{12}, \dots, Z_{1n}\} \Theta_{12} \{Z_{21}, Z_{22}, \dots, Z_{2n}\} \dots \Theta_{ij} \{Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn}\}\} \quad (5)$$

де  $Z^U$  – ієрархія цілей системи управління;  $Z_0$  – глобальна ціль;  $Z_{ij}$  –  $i$ -а підціль  $j$ -го рівня ієрархії цілей,  $i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$ ;  $\Theta$  – множина відношень на підцілі ієрархії цілей.

Наприклад, до мережевих (зонових) цілей управління можна віднести оптимум наступних параметрів  $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$ :  $Z_1$  – продуктивність всієї мережі, мережі певного рівня або її зони, напряму, маршруту, каналу;  $Z_2$  – потужність радіопередачів мережі чи її зони;  $Z_3$  – ступінь покриття території (абонентів) мережею (аероплатформами);  $Z_4$  – структурна надійність (зв'язність) мережі, її зони;  $Z_5$  – кількість апаратних ресурсів (аероплатформ, базових станцій, серверів тощо);  $Z_6$  – час функціонування мережі її зони, напряму, маршруту;  $Z_7$  – обсяг службового трафіку;  $Z_8$  – час планування, розгортання, відновлення мережі чи її зони, напряму;  $Z_9$  – параметри безпеки й т. д.

*Показники технічної ефективності* телекомунікаційної мережі. За допомогою цих показників оцінюється ефективність телекомунікаційної мережі як складної апаратно-програмно-інформаційної кібернетичної системи "людина-машина" при роботі її в різних режимах. При цьому не береться до уваги ефект, одержуваний за рахунок реалізації результатів рішення задач (задоволення запитів) користувачів інформаційної мережі. Показники цієї групи можуть використовуватися для кількісної оцінки ефективності всієї мережі, її окремих систем і підсистем, ланок і вузлів мережі.

Для оцінки технічної ефективності мережі доцільно використовувати такі показники – час реакції; пропускна здатність; затримка передачі і варіація затримки передачі, об'єм службового трафіку, час циклу управління.

*Мінімальний об'єм службового трафіку*  
 $V_{СТ \rightarrow \min}$  – залежить від прийнятого в СУ мережею способу, об'єму, періоду розсилання службової інформації (маршрутні повідомлення, квитанції,

hello-повідомлення, виміри трафіку), складності прийнятих алгоритмів управління, розмірністю мережі, тощо.

*Мінімальний час циклу управління:*

$$T_{цУ} = t_{zi} + t_{ан} + t_{пр} + t_{дов}, T_{цУ} \leq t_i^{доп} \rightarrow \min, \quad (6)$$

де –  $T_{цУ}$  – час циклу оперативного управління мережею – проміжок часу, протягом якого здійснюється послідовне рішення задач управління до повного її виконання в масштабі даної системи управління;  $t_{zi}$  – час на збір інформації про стан мережі;  $t_{ан}$  – час на оцінку характеристик мережі та ідентифікацію стану мережі;  $t_{пр}$  – час, який необхідний на вироблення управлінських рішень;  $t_{дов}$  – час доведення управлінських впливів до об'єктів управління;  $t_i^{доп}$  – час, що відведений на оперативне управління мережею, який визначається директивними документами.

*Час реакції* мережі є інтегральною характеристикою продуктивності мережі з точки зору користувача. Знання складових часу реакції дає можливість оцінити продуктивність окремих елементів мережі, виявити вузькі місця і в разі необхідності виконати модернізацію мережі для підвищення її загальної продуктивності.

Мета управління продуктивністю полягає в тому, щоб вимірювати і надавати інформацію про різні показники продуктивності мережі, що дозволило б підтримувати продуктивність об'єднаних мереж на прийнятному рівні. До таких показників продуктивності відносяться наступні: пропускна здатність мережі, час відгуку користувача і ступінь завантаженості каналу.

Продуктивність мережі оцінюється за допомогою *показників пропускної здатності*, які відображають кількість інформації, переданої мережею в одиницю часу. Пропускна здатність характеризує, з одного боку, потреба користувача в інтенсивності обміну інформацією, а з іншого боку, – можливість обладнання забезпечити необхідну інтенсивність. З урахуванням вищевказаної подвійності доцільно показники пропускної здатності класифікувати виходячи з двох критеріїв:

- за ступенем корисності інформації (з урахуванням або без урахування службової інформації, необхідної для передачі корисної інформації);

- за тривалістю періоду інтеграції (інтервалу усереднення) показників пропускної здатності.

Залежно від ступеня корисності інформації, що передається розрізняють технічну і інформаційну швидкість передачі даних. Швидкість технічна ( $R_t$ ) – кількість фізичних бітів, які можуть бути передані за одиницю часу. Швидкість інформаційна ( $R_i$ ) – кількість корисної інформації, передане за одиницю часу (без службової інформації). Виходячи з того, що пропускна здатність є максимально можливою швидкістю передачі даних, кожному виду швидкості (технічної та інформаційної) відповідає певний вид пропускної здатності. Пропускна здатність визначається і багатьма іншими факторами:

використовуваними методами доступу в передавальну середу, завантаженням каналу, способами управління мережею, якістю і можливостями мережевої операційної системи та інше. Всі ці чинники обумовлюють потоки даних, що передаються і фактичну швидкість їх передачі, тобто фактичну (а не фізичну) пропускну здатність каналу.

Максимум (завдане значення) пропускну здатності  $\rho$  мережі, яка визначає сумарну пропускну здатність всіх напрямків передачі можна оцінити:

$$\rho_M = \sum_{i=1}^I \rho_{H_i}. \quad (7)$$

Для оцінки ефективності окремих ланок телекомунікаційної мережі (вузлів обробки інформації, вузлів зв'язку, центрів комутації пакетів і т.д.), які обслуговують запити користувачів мережі, зручними виявляються такі показники.

1. Інтегральна пропускну здатність ланки мережі на відрізьку часу  $[0, t]$ :

$$\rho_i = \frac{n_0(0, t)}{n_{II}(0, t)}, \quad (8)$$

де  $n_0(0, t)$ ,  $n_{II}(0, t)$  – число запитів, відповідно обслугованих ланкою мережі на відрізьку часу  $[0, t]$  та що надійшли на цьому ж відрізьку. Вона показує, як в середньому ланка мережі справляється з обслуговуванням вхідного потоку запитів від моменту початку відліку роботи до певного моменту  $t$

2. Динамічна пропускну здатність:

$$\rho_D(\Delta t, t) = \frac{n_0(\Delta t, t)}{n_{II}(\Delta t, t)}, \quad (9)$$

Вона являє собою відношення числа запитів  $n_0(\Delta t, t)$ , що обслуговані ланкою мережі на інтервалі  $\Delta t$  до моменту часу  $t$  до числа запитів  $n_{II}(\Delta t, t)$ , що поступили в ланку на тому ж інтервалі  $\Delta t$  й до того ж моменту часу  $t$ . Динамічна пропускну здатність дозволяє судити про те, як ланка мережі справляється з обслуговуванням вхідного потоку запитів на будь-якому заданому (найбільш характерному) відрізьку часу до будь-якого поточного моменту. Вона дає можливість відстежувати роботу ланки мережі в динаміці і виробляти рекомендації щодо забезпечення ритмічності його функціонування.

Пропускну здатність можна вимірювати між будь-якими двома вузлами або точками мережі, наприклад, між клієнтським комп'ютером і сервером, між вхідними та вихідними портами маршрутизатора. Для аналізу і настройки мережі дуже корисно знати дані про пропускну здатність окремих елементів мережі.

Іноді корисно оперувати загальною пропускну здатністю мережі, яка визначається як середня кількість інформації, переданої між всіма вузлами мережі в одиницю часу. Цей показник характеризує якість мережі в цілому, не диференціюючи його по окремих сегментах або пристроях. Характер зміни пропускну здатності мережі в залежності від

ступеня виконання системою управління свого завдання показано на рис. 2а. Ступінь відмінності кривої 2 від кривої 1 показує ефективність роботи системи управління телекомунікаційною мережею. Тобто, чим краща система управління, тим ближче реалізована пропускну спроможність  $\rho_p$  до потенційної  $\rho_n$ .

Зазвичай при визначенні пропускну здатності сегмента або пристрою в даних, що передаються не виділяються пакети якогось певного користувача, додатки або комп'ютера - підраховується загальний обсяг переданої інформації. Проте для більш точної оцінки якості обслуговування така деталізація бажана, і останнім часом системи управління мережами все частіше дозволяють її виконувати.

Для реальних мереж більш інформативний такий показник продуктивності, як показник використання мережі (*network utilization*), який представляє собою частку в процентах від сумарної пропускну здатності (не поділена між окремими абонентами), який враховує колізії та інші чинники:

$$K_u = \frac{V_i}{V_t} \times 100\% \quad (10)$$

де  $V_i$  – швидкість передачі корисної інформації;  $V_t$  – максимальна швидкість передачі інформації.

Управління продуктивністю можна розділити на три основних етапи. На початку проводиться збір даних про продуктивність. Вони відображаються у вигляді параметрів, що цікавлять мережевих адміністраторів. Потім ці дані аналізуються і визначаються нормальні (еталонні) значення параметрів. Нарешті, для кожної змінної визначаються граничні значення продуктивності, перевищення яких сигналізує про проблеми в мережі, що вимагає втручання. Керуючі елементи постійно стежать за параметрами продуктивності. При перевищенні граничного значення продуктивності в систему мережевого управління відправляється попередження.

Кожна з описаних операцій є частиною процесу настройки реактивної системи. Якщо продуктивність стає непринятною, оскільки перевищується певний користувачем граничне значення, система реагує на цей факт відправкою повідомлення. Управління продуктивністю також передбачає профілактичні заходи. Наприклад, для того щоб передбачити вплив зростання мережі на метрики продуктивності, можна скористатися засобами моделювання мережі. Таке моделювання попередить адміністраторів про майбутні проблеми і дозволить вчасно вжити контрзаходи.

*Затримка передачі* визначається як затримка між моментом надходження пакету на вхід якого-небудь мережевого пристрою або частини мережі і моментом появи його на виході цього пристрою. Цей параметр продуктивності за змістом близький до часу реакції мережі, але відрізняється тим, що завжди характеризує тільки мережеві етапи обробки даних, без затримок обробки вузлами мережі. Зазвичай якість мережі характеризують величинами

максимальної-мінімальної (завданої) затримки передачі і варіацією затримки (рис. 2б).

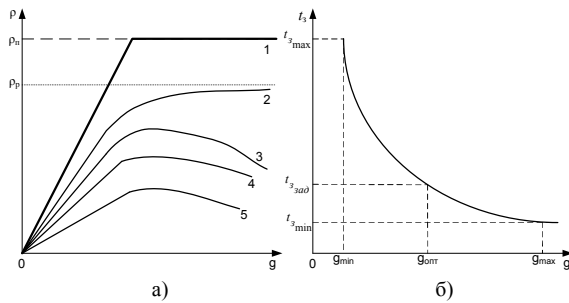


Рисунок 2. Залежність пропускної здатності (продуктивності мережі) від навантаження а) та часу затримки від навантаження б)

Мінімальний час затримки пакетів можна оцінити (завдане значення)  $t_3$ :

$$\min t_3 (t_3 \leq t_{3, \text{зад}}). \quad (11)$$

Якщо розглядати підсистеми управління (див. рис. 1), то оцінка ефективності системи управління телекомунікаційними мережами зводиться до оцінки методів управління, що працюють в кожній з підсистем системи управління. Розглянемо оцінку ефективності на прикладі методів маршрутизації, які використовуються в підсистемі управління маршрутизацією системи управління телекомунікаційною мережею.

Для вирішення цього пропонується наступна методика.

**Методика оцінки ефективності методів маршрутизації системи управління телекомунікаційною мережею.**

*Постановка задачі.* Задані: мережа SDN, множина методів маршрутизації  $\{U_p\}$ ,  $p=1 \dots P$ , вимоги до методів маршрутизації  $\{TR_q\}$ ,  $q=1 \dots Q$ . Необхідно: оцінити ефективність методів маршрутизації і дати рекомендації щодо їх застосування.

Етапи методики.

1. Аналіз функціонування мережі SDN та завдання вихідних даних:

Параметри мережі SDN:

- розмірність мережі (число вузлів мережі, її діаметр і площа);
- параметри вузлів мережі, що описані на різних рівнях: фізичному (частота, вид модуляції, і т.д.), каналному (методи доступу), мережевому (досліджуваний метод маршрутизації  $U_p$ , метод управління навантаженням і ін.), транспортному, апаратному (обсяг буферів, продуктивність процесора тощо);
- параметри каналів: швидкість передачі, часові затримки каналів тощо;
- параметри топології: вихідна топологія, тип місцевості, середня ступінь зв'язності вузла мережі, величина топологічних змін мережі  $v$ , сценарії її поведінки та ін.
- параметри інформаційного обміну в мережі:

вимоги до якості інформаційного обміну;  $\Gamma = \|g_{ij}^{\xi}(t)\|$  – значення вхідного навантаження між  $i$ -м і  $j$ -м абонентами повідомленнями  $\xi$ -го типу.

Параметри досліджуваної множини методів маршрутизації:

$$\{U_p\} = \{U_p^3, U_p^{3\delta}, U_p^{ob}, U_p^p, U_p^A\},$$

$p=1 \dots P$ , де  $U_p^3$  – збір і розсилка маршрутною інформації;  $U_p^{3\delta}$  – зберігання маршрутною інформації;  $U_p^{ob}$  – обчислення маршрутів;  $U_p^p$  – ретрансляція (передача) пакета;  $U_p^A$  – додаткові алгоритми управління мережею.

2. Вибір показників ефективності функціонування методів маршрутизації.

Показники ефективності методів маршрутизації доцільно розбити на три групи: глобальні, локальні і експлуатаційно-фінансові [2, 5].

*Глобальні показники.* Маршрутизація виступає в ролі підсистеми системи управління мережі SDN і тому необхідно оцінювати її ефективність за показниками функціонування самої мережі, таких як:

- пропускна здатність –  $\rho = V_{\text{дип}} / V_{\text{зип}} (S = N_{\text{дип}} / N_{\text{зип}})$ , де  $V_{\text{дип}}$  – обсяг (кількість) доставлених адресатам із заданою якістю  $N_{\text{дип}}$  інформаційних повідомлень,  $V_{\text{зип}} (N_{\text{зип}})$  – обсяг (кількість) згенерованих відправниками інформаційних повідомлень;

- середній час затримки передачі повідомлень –  $\bar{t}_3 = \sum_{i=1}^{N_{\text{дип}}} t_{\text{дип}_i} / N_{\text{дип}}$ , де  $t_{\text{дип}_i}$  – час доставки  $i$ -го інформаційного повідомлення;

- ефективність використання службових повідомлень  $\delta = V_{\text{сп}} / V_{\text{дип}} (\delta = N_{\text{сп}} / N_{\text{дип}})$ , де  $V_{\text{сп}} (N_{\text{сп}})$  – обсяг (кількість) службових повідомлень, переданих в мережі. Зауважимо, що до службової інформації відноситься не тільки службові пакети (маршрутні повідомлення, зонди, квитанції, hello-повідомлення), а також інформація в заголовках пакетів;

- оптимальність маршруту  $m_0 = \sum_{N_{\text{дип}}} (l_{\text{дип}} - l_{\text{кр}}) / N_{\text{дип}}$ , де  $l_{\text{дип}}$  – довжина маршруту для доставляння адресату  $N_{\text{дип}}$  інформаційних повідомлень,  $l_{\text{кр}}$  – найкоротший маршрут, отриманий за допомогою алгоритму Дійкстра.

*Локальні показники.* Методи маршрутизації вимагають додаткових витрат часу і ресурсів мережі для передачі службової інформації, а також ресурсів зберігання вираховувати маршрути. Тому для порівняння методів маршрутизації можна використовувати такі локальні показники:

- $R_1$  – час, необхідний для побудови маршруту (тимчасова складність методу) – даний параметр особливо важливий для зондових методів маршру-



тизації.

–  $R_2$  – кількість (обсяг) сервісних повідомлень, які використовуються для побудови маршруту (зв'язкова складність методу);

–  $R_3$  – розміри маршрутних таблиць і алгоритм обчислення маршрутів (обчислювальна складність методу).

До третьої групи слід віднести економічні та експлуатаційні показники. Вони характеризують фінансові витрати на розробку програмного забезпечення маршрутизаторів, їх розгортання і експлуатацію.

3. Перевірка вихідної множини методів маршрутизації  $\{U_\rho\}$ ,  $\rho=1\dots P$  на задоволення вимог  $\{TR_q\}$ ,  $q=1\dots Q$  та формування допустимої множини  $\{U_\rho\}_{\text{доп}}$ .

4. Оцінка локальних показників ефективності методів маршрутизації (тимчасова, зв'язкова і обчислювальна складність методу) множини  $\{U_\rho\}_{\text{доп}}$  і вибір ефективного методу в своєму класі.

Модель мережі: мережа представляється ненаправленим графом  $G = (N, L)$ , де  $N$  – число вузлів,  $L$  – число каналів,  $d$  – її діаметр. Допущення: ідентичність маршрутних рішень кожного методу після топологічного зміни в мережі, передача службових повідомлень без помилок, коригування маршрутних таблиць відбувається "синхронно":

– обчислення (доказ) значень локальних показників  $\rho$ -го методу маршрутизації при топологічній зміні в мережі –  $R_\rho^j = O(y_\rho^j(x))$ , де  $y(x)$  – многочлен та  $x = (N, L, d)$ .

– порівняння методів маршрутизації щодо переваги:  $R^2 \succ R^1 \succ R^3$  (критерієм ефективності є наступне співвідношення: якщо  $R_l^j < R_k^j$  при однакових маршрутних рішеннях, то  $l$ -й метод ефективніше  $k$ -го по  $j$ -му показнику) і визначення множини переваги  $\{U_\rho\}_{\text{пер}} \subseteq \{U_\rho\}_{\text{доп}}$ .

5. Побудова імітаційних моделей: моделі функціонування мережі SDN, моделей функціонування методів маршрутизації  $\{U_\rho\}_{\text{пер}}$  (рис. 3).

6. Планування експериментів і реалізація плану експериментів (отримання залежностей глобальних показників ефективності  $\rho, t_3, \delta, m_0$  при різних умовах функціонування мережі –  $N, v, g, \bar{c}$ ).

7. Аналіз та інтерпретація результатів моделювання. Вибір найбільш ефективного (оптимального) методу маршрутизації здійснюється за наступними критеріями:  $\max \rho, \min t_3, \min V_{\text{сп}}/V_{\text{дп}}, \min m_0$  на різних інтервалах зміни умов функціонування мережі.

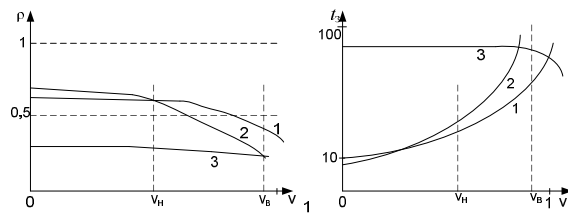
Існують також показники економічної ефективності управління з використанням засобів обчислювальної техніки.

До цієї групи можна віднести такі показники як:

а) річний економічний ефект;

б) ефект економічної ефективності капітальних вкладень;

в) термін окупності капітальних вкладень.



1 – зондовий метод маршрутизації; 2 – таблицно-орієнтований метод маршрутизації; 3 – волновий метод маршрутизації

Рисунок 3. Ефективність методів маршрутизації (продуктивність  $\rho$ , час затримки передачі пакетів  $t_3$ ) при зміні топології  $v$  та різних методи маршрутизації  $U_\rho$  при фіксованих значеннях вхідного навантаження  $g$  та розмірності мережі  $N$ .

Величина річного економічного ефекту визначається як різниці приведених витрат. Наведені витрати являють собою суму поточних витрат і капіталовкладень, приведених до єдиного розміру за допомогою нормативного коефіцієнта економічної ефективності і визначаються за формулою:

$$Z_{\text{п}} = C + E_{\text{н}} \times K, \quad (12)$$

де  $C$  – поточні витрати;  $E_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності;  $K$  – капіталовкладення.

Величина річного економічного ефекту ( $E_{\text{р}}$ ) визначається за формулою:

$$E_{\text{р}} = Z_{\text{п}_1} - Z_{\text{п}_2} = (C_1 + E_{\text{н}}K_1) - (C_2 + E_{\text{н}}K_2) + (C_1 - C_2) - E_{\text{н}}(K_2 - K_1), \quad (13)$$

де базовий елемент відзначений цифрою 1, а розглянутий – 2.

Коефіцієнт економічної ефективності ( $E_{\text{е}}$ ) визначається за формулою:

$$E_{\text{е}} = \frac{C_1 - C_2}{K_1 - K_2}. \quad (14)$$

Термін окупності визначається за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{е}}}. \quad (15)$$

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Ефективність роботи системи управління визначається ефективністю роботи телекомунікаційної мережі. Система управління досить ефективна, якщо вона забезпечує заданий приріст показника її ефективності.

Оцінка ефективності будь-якої системи служить завданням винайдення найбільш раціональної структури системи управління та приймання конкретних рішень щодо організації управління телекомунікаційною мережею.

За отриманими результатами розрахунку ефективності по кожному показнику, які були обрані, посадова особа, що приймає рішення, досліджує можливість виконання завдань системою управління з необхідним рівнем якості.

При оцінці ефективності системи управління телекомунікаційними мережами необхідно спочатку визначити головний показник ефективності, а потім відібрати часткові для отримання більш чіткої картини стану телекомунікаційної мережі. Введення будь-якого інтегрального показника ефективності тільки обмежить сприйняття реальної ситуації в телекомунікаційній мережі та її системи управління. Розрахунок загального інтегрального показника ефективності системи зв'язку недоцільний, оскільки якісне функціонування системи зв'язку характеризується нижньою межею кожного з часткових показників, нижче якого уся система в цілому перестав функціонувати з потрібною якістю або стає функціонально непридатною. Ряд авторів [1, 7] пропонують використовувати просторову оцінку ефективності телекомунікаційної мережі, але це тільки змінює уявлення про оцінку ефективності, а суть залишається такою ж.

Таким чином, показник ефективності телекомунікаційної мережі  $W$ , який складається з набору окремих показників –  $W_{Ц}$  – показників цільової ефективності телекомунікаційної мережі,  $W_{Т}$  – показників технічної (технологічної) ефективності телекомунікаційної мережі,  $W_{Е}$  – показників економічної ефективності телекомунікаційної мережі, буде характеризувати ефективність системи управління телекомунікаційною мережею по частковим показникам ефективності телекомунікаційної мережі: часу реакції; пропускної здатності; затримки передачі та варіації затримки передачі, об'єму службового трафіку, часу циклу управління. На його основі можна проводити порівняльну оцінку різних мереж зв'язку.

Показник ефективності телекомунікаційної мережі  $W$  може бути застосований для оцінки окремих елементів мереж зв'язку, а також засобів реалізації служб і послуг зв'язку, функціональних модулів адаптації, маршрутизації і комутації, передавання інформації на всіх рівнях телекомунікаційної мережі, а також автоматизованих систем управління мережами зв'язку, систем технічної експлуатації і т.д.

### Література

1. **Цыбизов А.А.** Оценка эффективности сетей связи / А.А. Цыбизов. – Рязань: Вестник РГРТУ. – 2009. – № 3 (выпуск 29). 2. **Миночкин А.И.** Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения / А.И. Миночкин, В.А. Романюк. – Київ: Зв'язок. – 2006. – № 7. – С. 49 – 55. 3. **Новіков В. І.** Метод адаптивного управління маршрутизацією в умовах нестабільності зв'язків між вузлами безпроводової сенсорної мережі / В. І. Новіков. – Київ: Вісник АМУ серія «Техніка». – 2015. – Випуск 2 (10). – С. 137 – 144. 4. **Денисов Е.А.** Комплексная оценка эффективности методов иерархической распределенной адаптивной маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях: дис. канд. тех. наук: 05.13.13/ Денисов Егор Алексеевич. – Москва, 2002. – 174 с. 5. **Романюк В.А.** Методы и алгоритмы маршрутизации информационных потоков в автоматизированных сетях радиосвязи с динамической топологией: дис. доктора. тех. наук: 20.02.12/ Романюк Валерий Антонович. – Киев, 2003. – 354 с. 6. **Сидоренко И.А.** Оценка эффективности

систем спутниковой связи на GEO, MEO и LEO орбитах/ И.А. Сидоренко, М.А. Евтушенко. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. Информатика. – 2015. – № 19 (216). – Випуск 36/1. – С. 160 – 169. 7. **Карганов В.В.** Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов/ В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, Кудряшов В.А. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2016. – № 1 (236). – С. 7 – 13. 8. **Бовда Е.М.** Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військового призначення/ Е.М. Бовда, Ю.А. Плуговий, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2016. № 1. – С. 6 – 18. 9. **Бовда Е.М.** Методологія синтезу автоматизованої системи управління телекомунікаційними системами військового призначення/ Е.М. Бовда, О.В. Жук, В.А. Романюк // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2017. № 1. – С. 14 – 27.

### МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ

*Эдуард Николаевич Бовда (канд. техн. наук)  
Оксана Григорьевна Гаврилюк  
Олександр Миколайович Гук*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина*

*В статье проведен анализ существующих подходов и методов оценки эффективности телекоммуникационной сети и ее системы управления. Рассмотрены понятие эффективности, классификация и существующие подходы по ее оценке. Приведен ряд показателей эффективности телекоммуникационной сети, которые характеризуют целевую, техническую (технологическую), экономическую эффективность телекоммуникационной сети. Рассмотрены показатели эффективности системы управления телекоммуникационной сетью. Представленная методика оценки эффективности методов маршрутизации, как подсистемы управления маршрутизацией системы управления телекоммуникационной сети, которая состоит из семи этапов. Показатели*

эффективности методов маршрутизации при этом рассматриваются как три группы показателей, которые делятся на глобальные, локальные и эксплуатационно-финансовые. Приведена эффективность методов маршрутизации (по параметрам производительности, времени задержки передачи пакетов) при изменении топологии и различных методах маршрутизации при фиксированных значениях входной нагрузки и размерности сети. Показано, что эффективность системы управления определяется эффективностью телекоммуникационной сети.

**Ключевые слова:** эффективность, система управления, телекоммуникационная сеть, показатель эффективности.

## METHOD OF EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TELECOMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEM

*Eduard N. Bovda (Candidate of Technical Sciences)*

*Oksana G. Gavriliuk*

*Oleksandr M. Guk*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine*

The article analyzes existing approaches and methods for assessing the efficiency of a telecommunication network and its management system. The concept of efficiency, classification and existing approaches to its evaluation are considered. A number of indicators of telecommunication network efficiency characterizing the target, technical (technological), economic efficiency of the telecommunication network are given. The indicators of efficiency of the telecommunication network management system are considered. The method of estimation of efficiency of routing methods as a subsystem of routing management of a telecommunication network management system, which consists of seven stages, is presented. Indicators of the effectiveness of routing methods are considered as three groups of indicators, which are divided into global, local and operational financial. The efficiency of routing methods (by parameters of productivity, packet delay time) is given when changing the topology and different routing methods for fixed input load and network dimension. It is shown that the efficiency of the control system is determined by the efficiency of the telecommunication network.

**Key words:** efficiency, management system, telecommunication network, efficiency indicator.

### References

- 1. Сыбызов А.А.** Оценка эффективности сетей связи [Evaluation of the efficiency of communication networks]/ А.А. Сыбызов. – Рязань: Vestnyk RGHRTU. – 2009. – # 3 (выпуск 29).
- 2. Мыночкын А.У.** Маршрутизация в мобильных радиосетях – проблема и пути решения [Routing in mobile radio networks is a problem and solutions]/ А.У. Мыночкын, В.А. Романчук. – Киев: Zv'jazok. – 2006. – # 7. – С. 49 – 55.
- 3. Новиков В. И.** Метод адаптивного управления маршрутизацией в условиях неустойчивости зв'язки мизх вузлами безпроводової сенсорної мережі [Method of adaptive routing management in conditions of instability of connections between nodes of wireless sensor network]/ В. И. Новиков. – Киев: Visnyk AMU serija «Tekhnika». – 2015. – Выпуск 2 (10). – С. 137 – 144.
- 4. Денисов Е.А.** Комплексная оценка эффективности методов иерархической распределенной адаптивной маршрутизации в корпоративных вычислительных сетях: дис. канд. техн. наук: 05.13.13 [Comprehensive evaluation of hierarchical distributed adaptive routing methods in enterprise computing networks]/ Денисов Егор Алексеевич. – Москва, 2002. – 174 с.
- 5. Романчук В.А.** Методы и алгоритмы маршрутизации информационных потоков в автоматизированных сетях радиосвязи с динамической топологией: дис. доктора. техн. наук: 20.02.12 [Methods and algorithms for routing information flows in automated radio networks with dynamic topology]/ Романчук Валерий Антонович. – Киев, 2003. – 354 с.
- 6. Сидоренко Я.А.** Оценка эффективности систем спутниковой связи на GEO, MEO и LEO орбитах [Estimation of the efficiency of satellite communication systems in GEO, MEO and LEO orbits]/ Я.А. Сидоренко, М.А. Евтushenko. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. Информатика. – 2015. – # 19 (216). – Выпуск 36/1. – С. 160 – 169.
- 7. Карганов В.В.** Показатель оценки эффективности систем связи и их элементов [Indicator of the evaluation of the effectiveness of communication systems and their elements]/ В.В. Карганов, А.Г. Расчесова, Кудряшов В.А. Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного технического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2016. – # 1 (236). – С. 7 – 13.
- 8. Bovda E.M.** Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військовогоро призначення [Conceptual bases of the synthesis of the automated military management system for military purposes]/ E.M. Bovda, Ju.A. Plughovij, V.A. Romanjuk // Zbirnyk naukovykh prac VITI. – 2016. # 1. – С. 6 – 18.
- 9. Bovda E.M.** Методологія синтезу автоматизованої системи управління телекомунікаційними системами військовогоро призначення [Methodology of the synthesis of the automated control system of military telecommunication systems]/ E.M. Bovda, O.V. Zhuk, V.A. Romanjuk // Zbirnyk naukovykh prac VITI. – 2017. # 1. – С. 14 – 27.

Андрій Олександрович Зінченко (доктор техн. наук, доцент)<sup>1</sup>  
 Олександр Миколайович Нестеров<sup>1</sup>  
 Катерина Андріївна Зінченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

<sup>2</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

## ДО ПИТАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЯК ОСНОВНОГО ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВІЙСЬКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

У статті на основі проведеного аналізу встановлено невідповідність між існуючим науково-методичним апаратом оцінки ефективності функціонування системи військового зв'язку, який орієнтований на аналогові методи передачі даних, та здійсненням переходом системи військового зв'язку на цифрові засоби зв'язку. Обґрунтовано необхідність: удосконалення методу розрахунку пропускної спроможності мережі доступу до транспортної мережі системи зв'язку за умов переходу на сучасні цифрові методи передачі інформації, зростання інформаційного обміну, реалізації мультисервісних мереж надання послуг; розробки методу управління наявними ресурсами транспортної мережі системи військового зв'язку для гарантованого забезпечення необхідної пропускної спроможності системи зв'язку в складних умовах ведення бойових дій. В подальшому удосконалені методи можуть бути використані для обґрунтування вимог до системи військового зв'язку у бойових діях (операціях).

**Ключові слова:** система зв'язку, система управління, інформаційний напрям, інформаційна система, канал зв'язку, пропускна спроможність, автоматизована система управління.

### Вступ

Управління військами в сучасних умовах ведення операцій (бойових дій) є складним процесом, основний зміст якого складають: безперервний збір, вивчення та узагальнення даних обстановки; прийняття рішень; доведення наказів, розпоряджень та сигналів бойового управління до підлеглих військ; моделювання та планування бойових дій (операцій), видача службовим особам пунктів управління довідкової інформації; організація та підтримка взаємодії; організація та проведення заходів з підтримки боєготовності військ; організація всебічного забезпечення; постійний контроль за виконанням поставлених завдань та надання підлеглим необхідної допомоги.

**Постановка проблеми.** Виконання перелічених вище завдань неможливе без надійного та ефективного функціонування системи зв'язку. Основними показниками для оцінки ефективності функціонування системи зв'язку є: бойова готовність, стійкість, мобільність, пропускна спроможність, розвідзахищеність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існуючий науково-методичний апарат визначення ефективності функціонування системи військового зв'язку за наведеними показниками застарів [1], розроблений ще за часів СРСР, орієнтований на застосування аналогових засобів зв'язку. Він не враховує нові способи бойового застосування та тактико-технічні характеристики сучасних цифрових засобів зв'язку, які надійшли на

озброєння військ зв'язку ЗС України протягом 2014-2018 років [2]. Такий стан речей в подальшому може привести до зниження ефективності функціонування системи зв'язку в процесі управління військами (силами).

**Мета статті.** Проведення аналізу факторів, які впливають на ефективність функціонування системи військового зв'язку для розробки в подальшому науково-методичного апарату з можливістю використання єдиного показника для оцінки ефективності функціонування системи військового зв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Система зв'язку на початку проведення антитерористичної операції була не спроможна забезпечити своєчасну передачу необхідного потоку інформації із необхідними вимогами до зв'язку щодо своєчасності, достовірності та скритності інформації, що передається. Таким чином виникла потреба у створенні системи зв'язку, яка повинна вирішити питання обміну інформації із заданими вимогами в інтересах управління військами, з можливістю у будь-який час та за будь-яких умов обстановки наростити спроможності системи зв'язку та забезпечити необхідні сервіси для користувачів в системі управління військами. Відповідно із [3], основними сервісами на сьогоднішній день є: відкритий автоматичний телефонний зв'язок; автоматичний телефонний зв'язок в мережі обміну службовою інформацією (МОСІ); автоматичний телефонний зв'язок в захищеній системі обробки

інформації (ЗСОІ); передача даних (ПД) в мережах АСУ "Дніпро", МОСІ, ЗСОІ; відео конференційний зв'язок в мережі ЗСОІ; послуги в мережі ІСД-Інтернет. Такий підхід до функціонування системи зв'язку не враховує потребу у забезпеченні надійного функціонування автоматизованих систем управління (АСУ) військами та інформаційних систем (ІС) різного призначення. До таких ІС в ЗС України відносяться АСУ артилерією "Кропива", "Віраж-планшет", "Ореанда", інтеграційна платформа "Дельта", тощо [2]. Також існує потреба врахування під час визначення потрібних характеристик системи зв'язку ОТУВ сенсорних засобів, що будуть передавати інформацію у різному вигляді до центрів її обробки і узагальнення та користувачів. До сенсорних засобів можливо віднести засоби повітряної розвідки, засоби радіолокаційної та артилерійської розвідки, оптичні, тепловізійні комплекси та звукометричні комплекси.

За короткий термін інформаційно-телекомунікаційні вузли пунктів управління (ПУ) військових частин та оперативно-тактичних угруповань були забезпечені сучасними цифровими засобами зв'язку. Завдяки ним відбувся перехід системи зв'язку ЗС України від аналогових до цифрових засобів зв'язку. Впроваджено було наступні телекомунікаційні засоби [2]: станції супутникового зв'язку Tooway; комплекти засобів транкінгового зв'язку Motorola; сучасні цифрові радіорелейні станції P-414MU, P-425C3; модеми для провідного зв'язку M-2E1-Eth-2DSLbis, M-4DSL bis; точки доступу AirGrid та NanoBridge; станція широкосмугового зв'язку P-402; радіостанції виробництва корпорації HARRIS короткохвильового та ультракоткохвильового діапазону та інше телекомунікаційне обладнання. Проте більшість з них, це цивільні телекомунікаційні рішення, які не розраховані на експлуатацію в умовах ведення бойових дій [4-18].

В ситуації, що склалась, виникає необхідність побудувати транспортну (первинну) мережу зв'язку, яка б поєднувала пункти управління між собою та інтегрувала розосереджені засоби розвідки різного призначення до єдиного інформаційного середовища. При цьому, для гарантованого забезпечення зв'язку в будь-яких умовах обстановки, у тому числі під впливом засобів РЕБ та вогневого ураження противника, транспортна мережа повинна будуватися за принципом комплексного застосування різних засобів зв'язку на інформаційних напрямках [2].

Прийняті рішення щодо організації зв'язку на основі сучасних цифрових засобів зв'язку лише частково забезпечили виконання вимог до системи військового зв'язку. Аналіз існуючої системи зв'язку, проведений в [4-10, 11, 13-18], показав наступні недоліки в її функціонуванні: телекомунікаційна мережа загального користування (ТМЗК), яку

використовують в якості опорної мережі зв'язку, не забезпечує оперативне та якісне вирішення завдань управління через зниження якості в часи пікових навантажень; за оренду ТМЗК витрачаються значні кошти; системи супутникового зв'язку цивільного призначення, чутливі до змін в погодних умовах, не працюють в русі, вартість трафіку потребує невиправданих витрат коштів; відсутнє резервування основних засобів зв'язку на пункті управління та каналів зв'язку на напрямку; цивільне радіорелейне обладнання демаскує ІТВ та знижує їх мобільність під час розгортання та згортання, у зв'язку з тим, що таке обладнання розгортається на телевежах і тому потребує додаткових дозволів; відсутність системи хибних пунктів управління.

Основним функціональним призначенням системи військового зв'язку є забезпечення своєчасної передачі (доставки) заданого потоку повідомлень, необхідного для управління військами. При організації системи військового зв'язку важливе місце буде займати розробка варіантів структури системи військового зв'язку у відповідності з вимогами, що висуваються до системи військового зв'язку: постійній бойовій готовності, пропускну здатності, стійкості, мобільності, розвідахищеності. Ключове місце серед цих показників займає пропускну здатність. В свою чергу пропускну здатність тісно пов'язана з іншими показниками. Тому при розробці варіантів організації системи зв'язку першочергове завдання буде полягати у забезпеченні необхідної пропускну здатності напрямків зв'язку. Також необхідно враховувати потребу у постійному збільшенні вимог до пропускну здатності через збільшення кількості інформації, що циркулює у системі управління.

Для успішного вирішення завдання організації системи військового зв'язку необхідно знати кількість інформаційних повідомлень, що необхідно передати на напрямках зв'язку, для кожного з видів сервісів, що забезпечуються на пунктах управління [3-5]. В сучасних умовах, активного впровадження цифрових технологій передачі інформації з інтеграцією всіх видів трафіка, мова йде про швидкість передачі даних від кінцевої апаратури з подальшим її об'єднанням у цифрові потоки. При цьому завдання визначення необхідної пропускну здатності розділиться на дві складові – визначення пікового навантаження кінцевих користувачів за умови інтеграції всіх видів трафіку на напрямках зв'язку та пропускну здатності мережі доступу і первинної (транспортної) мережі. При цьому повинні виконуватись вимоги

$$\lambda \leq C_{MD}, \quad (1)$$

$$C_{MD} \leq C_{TM} \cdot$$

де  $\lambda$  – сумарне пікове навантаження всіх користувачів на напрямку зв'язку;

$C_{MD}$  – пропускну здатність мережі

доступу;  
 $C_{TM}$  – пропускна спроможність транспортної мережі.

Відповідно [3-5] розрізняють теоретичну пропускну спроможність (шеннонівську), технічну та експлуатаційну пропускну спроможність.

Теоретична пропускна спроможність характеризує максимально досягну швидкість передавання у каналі зв'язку. Визначається теоретичною досяжністю швидкості передавання (біт/с) та не залежить від апаратури, що використовується. Вона описується аналітичним виразом, що враховує відношення сигнал/шум у каналі зв'язку:

$$C = B \log_2(1 + \text{SNR}_{\text{дб}}). \quad (2)$$

де  $C$  – пропускна спроможність каналу у бітах у секунду;  
 $B$  – ширина полоси пропускання каналу у герцах.

$\text{SNR}_{\text{дб}} = 10 \log \frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$  – перевищення рівня сигналу над рівнем шуму у децибелах (відношення сигнал/шум);

$P_c$  – потужність корисного сигналу;

$P_{\text{ш}}$  – потужність шуму.

Фактично, це можлива швидкість передачі у вибраному фізичному середовищі та смузї частот. При цьому повинні виконуватись умови:

$$\begin{aligned} C_{\text{МД}} &\leq C, \\ C_{\text{ТМ}} &\leq C. \end{aligned} \quad (3)$$

Технічна пропускна спроможність ( $C_T$ ) характеризує досягнуту швидкість передачі. Для транспортної мережі та мережі доступу вона визначається технічними можливостями кінцевої апаратури зв'язку. Фактично, в ідеальних умовах, мова йде про співвідношення:

$$\begin{aligned} C_{\text{МД}} &\approx C_T, \\ C_{\text{ТМ}} &\approx C_T. \end{aligned} \quad (4)$$

де  $C_T$  – досягнута швидкість передачі.

Експлуатаційна пропускна спроможність ( $C_e$ ) характеризує реальну експлуатаційну швидкість передачі з урахуванням факторів, які знижують можливості каналів зв'язку по передачі інформації. Співвідношення між теоретичною, технічною та експлуатаційною пропускною спроможністю можливо описати наступними виразами:

$$C_T = k_T C, k_T < 1; C_e = k_e C_T, k_e < 1; \quad (5)$$

або

$$C_e = k_e k_T C.$$

де  $C_e$  – експлуатаційна пропускна спроможність;

$k_e$  – коефіцієнт, що враховує зниження теоретичної пропускної спроможності за рахунок використання технічних рішень, які не повністю реалізують потенціал каналу

зв'язку;

$k_T$  – коефіцієнт, що враховує зниження технічної пропускної спроможності за рахунок експлуатаційних втрат.

Коефіцієнти у виразах (5) враховують реальні засоби телекомунікації та умови експлуатації каналів зв'язку. Таким чином для пропускної спроможності мережі доступу та транспортної мережі на напрямках зв'язку від (4) доцільно перейти до співвідношення

$$C_{\text{МД(ТМ)}} \approx C_e = k_e k_T C. \quad (6)$$

При цьому виконувати вимірювання потенційно досяжної пропускної спроможності каналу зв'язку не є доцільним. Достатньо обмежитися умовами (6) та перейти до спрощеного запису

$$C_{\text{МД(ТМ)}} = k_e C_T. \quad (7)$$

Звідси

$$\lambda \leq k_e C_T, \quad (8)$$

де  $C_T$  – трактується як швидкість передачі даних конкретним засобом зв'язку у канал зв'язку та визначається його технічними характеристиками.

Фактично пропускна спроможність транспортної та мережі доступу буде обмежуватись технічними характеристиками засобу зв'язку та умовами функціонування каналу зв'язку. Ключовою вимогою для забезпечення своєчасного обміну необхідним об'ємом інформації є дотримання нерівності (8). Таким чином завдання визначення вимог до пропускної спроможності (корисного навантаження) мережі доступу та транспортної мережі зводиться до відпрацювання методики визначення інтегральної швидкості передачі інформації від кінцевих користувачів ( $\lambda$ ) з урахуванням кількості абонентів, розгорнутих сервісів та інформації сенсорних мереж. Аналітичний опис ( $\lambda$ ) надасть можливість визначити вимоги до варіантів організації системи військового зв'язку (побудови транспортної мережі та мережі доступу). У свою чергу це надасть можливість сформулювати вимоги до тактико-технічних характеристик існуючої та перспективної техніки зв'язку. При цьому знайдене формалізоване значення сумарного пікового навантаження всіх користувачів на напрямку зв'язку для кожної ланки управління надасть можливість сформулювати вимоги до тактико-технічних характеристик техніки зв'язку у ланках солдат – відділення – взвод – рота – батальйон – бригада – і так далі.

Важливим аспектом запропонованого підходу буде зменшення надлишковості у замовленні оренди цифрових потоків в операторів телекомунікаційних послуг. Такий підхід надасть можливість зменшити витрати коштів Збройних Сил України на оплату оренди цифрових потоків. Значне місце при організації зв'язку займає використання телекомунікаційної мережі загального користування. При цьому в операторів

замовляються послуги MPLS (Multiprotocol Label Switching) другого рівня, що відповідає каналному рівню мережевої моделі OSI (open systems interconnection basic reference model). Технологія MPLS використовується для побудови віртуальних приватних мереж VPN (Virtual Private Network) з метою передачі трафіку: IP (Internet Protocol) пакетів, збірок ATM (Asynchronous Transfer Mode), фреймів SDH (Synchronous Digital Hierarchy), кадрів Internet. Перераховані види трафіку відповідають мережевому, третьому, рівню моделі OSI. Наступним її рівнем є транспортний, четвертий рівень, який призначений для забезпечення надійної передачі даних від відправника до отримувача. Основні протоколи транспортного рівня це UDP (User Datagram Protocol) та TCP (Transmission Control Protocol). Протокол UDP обмежується контролем цілісності даних у межах однієї дейтаграми та не виключає втрати цілого пакету, його дублювання або порушення порядку отримання пакетів даних. Протокол TCP забезпечує надійну безперервну передачу даних, що виключає втрату даних або порушення порядку їх отримання.

За досвідом проведення АТО та навчань з військовими частинами та підрозділами зв'язку пропускна спроможність орендованих цифрових каналів під час активізації роботи органів управління знижується.

Реальна пропускна спроможність системи військового зв'язку на основі "тунелів" VPN значно менша від заявлених у договорах оренди величин. Ситуація ще більш погіршується із збільшенням часу затримки пакетів під час проходження по мережі зв'язку, що негативно впливає на своєчасність та достовірність зв'язку. Традиційним методом боротьби у Збройних Силах України за якість зв'язку у цьому випадку є збільшення пропускної спроможності, що орендується у операторів телекомунікації. Але такий метод довів свою неефективність на практиці. Він мало впливає на якість зв'язку та значно збільшує фінансові витрати на оренду.

Існуючі наукові та науково-методичні праці з питань оцінки пропускної спроможності системи зв'язку військового призначення та цивільних систем зв'язку до 2014 року мали ряд розбіжностей. Методологічні основи оцінки якості військового зв'язку були орієнтовані на аналогові військові засоби зв'язку та датуються 80-ми роками минулого століття, але зазначені підходи втратили свою актуальність з моменту переходу ЗС України на цифрове телекомунікаційне обладнання.

Такий стан справ викликаний не розумінням організаторами зв'язку взаємодії рівнів моделі OSI. Для прояснення існуючої ситуації розглянемо мережу на основі Ethernet, як самої популярної технології на даний час. При цьому не будемо розглядати середовища передачі даних. Основними показниками якості мережі будуть наступні: 1. Пропускна спроможність (bandwidth).

2. Пакетна пропускна спроможність (PPS, Packets Per Second), яка відображає скільки фреймів може бути передано за одиницю часу.

3. Показник втрат фреймів (frame loss), який показує скільки фреймів неможливо відновити або їх контрольні суми не збігаються від загальної кількості фреймів.

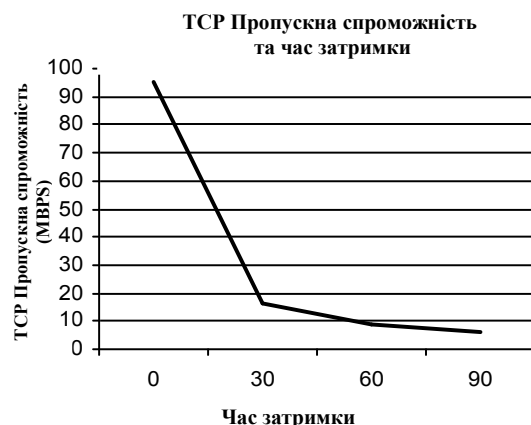
4. Затримка пакетів (delay, latency) – час через який пакет відправлений з точки А опиниться у точці В. При цьому різняться одностороння затримка (one-trip) та кругова (round-trip).

5. Мінімальний MTU (Maximum Transmission Unit) – максимальний об'єм даних, що може бути переданий протоколом за одну ітерацію. Цей показник критичний для важких програм (підтримка АСУ, високоякісне потокове відео та інше).

6. Берстність - нормована максимальна бітова швидкість. Вона дозволяє оцінювати розмір буферу обладнання мережі та прораховувати умови надійності.

Питання впливу на пропускну спроможність часу затримки та втрат пакетів для транспортного рівня в потоках трафіку TCP та UDP були досліджені Борисом Рогієром (Boris Rogier) та описані ним в [6]. Причинами зменшення пропускної спроможності мережі вказуються неправильно розраховане навантаження мережі, неправильна конфігурація мережі, дефекти обладнання та інші. При цьому пропускна спроможність трактується як кількість даних, що надсилаються (отримуються) за одиницю часу. Втрати відображають кількість пакетів, втрачених із 100, відправлених хостом.

Встановлено, що теоретично затримка не впливає на пропускну спроможність для протоколу UDP. Більш складний випадок виникає при використанні протоколу TCP, який регулює довжину дейтаграми, MTU (вікно завантаження протоколу TCP), у залежності від часу отримання підтвердження правильності доставки пакетів.



**Рис. 1. Залежність пропускної спроможності протоколу TCP від часу затримки.**

На рисунку 1 наведена залежність пропускної спроможності протоколу TCP від часу затримки (Latency) при вхідному навантаженні 100 Мбіт/с.



Більш критичною є втрата пакетів у мережі. У такому випадку вікно завантаження TCP зменшується вдвічі та виникає потреба у повторній передачі втрачених пакетів. На рис. 2 наведена залежність пропускної спроможності від часу затримки пакетів за умови втрат 2% пакетів.

Вплив втрати пакетів та часу затримки на пропускну спроможність TCP

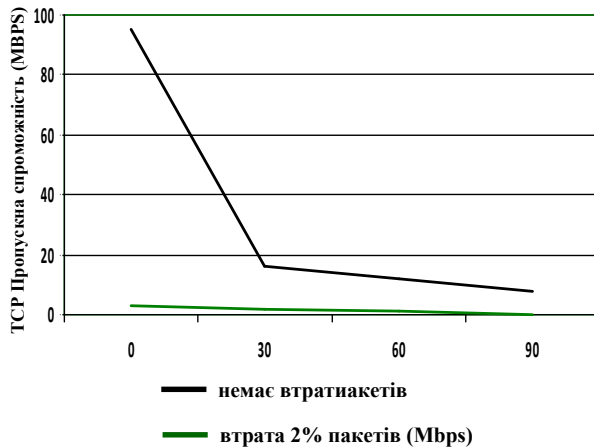


Рис. 2. Порівняльні графіки залежності пропускної спроможності протоколу TCP від часу затримки за умови втрат 0 (верхній графік) та 2% пакетів (нижній графік).

Таблиця 1

Час затримки \ Втрата пакетів	0 мс	30 мс	60 мс	90 мс
0	93,5 Мбіт/с	16,2 Мбіт/с	8,7 Мбіт/с	5,32 Мбіт/с
2%	3,72 Мбіт/с	1,63 Мбіт/с	1,33 Мбіт/с	0,85 Мбіт/с

**Залежність пропускної спроможності протоколу TCP від часу затримки та показника втрат пакетів.**

Графік та дані таблиці свідчать, що з втратою 2% відсотків, пропускна спроможність протоколу TCP зменшується від 6 до 25 раз у порівнянні з роботою без втрат. В ЗС України апаратура криптографічного захисту під час обробки інформації використовує протокол UDP.

**Література**

1. **Матеріали** доповідей науково-практичного семінару кафедри зв'язку і АСУ "Перспективи бойового застосування військ зв'язку ЗС України". – Київ: НУОУ, 2016. – С.110. 2. **Аналіз** Генерального штабу ЗСУ щодо бойових дій на Дебальцевському плацдармі з 27 січня до 18 лютого 2015 року. <http://www.mil.gov.ua/analitichni-materiali/> 3. **Боговик А. В.** Эффективность систем военной связи и методы ее оценки / А. В. Боговик, В. В. Игнатов – СПб.: ВАС, 2006. – 183 с. 4. **Куприянов А. И.**

Використання даного протоколу для забезпечення зв'язку із зазначеною якістю накладає ще більш жорсткі вимоги до характеристик каналів мережевого доступу та транспортної мережі. Втрата пакетів призводить до переривів зв'язку та особливо під час надання послуг в режимі реального часу (відео конференц зв'язок, телефонія). Наведене свідчить про необхідність ефективного управління транспортною мережею для забезпечення її необхідної пропускної спроможності відповідно до нерівності  $C_{MD} \leq C_{TM}$ .

**Висновки й перспективи подальших**

Проведений у статті аналіз факторів, які впливають на ефективність функціонування системи військового зв'язку та аналіз сучасного стану функціонування системи зв'язку Збройних Сил показав, що напрямком подальшого дослідження є удосконалення науково-методичного апарату з питань оцінки ефективності функціонування системи військової зв'язку за пропускну спроможністю. А це в свою чергу потребує вирішення наступних часткових завдань:

1. Удосконалити метод розрахунку пропускної спроможності мережі доступу до транспортної мережі системи зв'язку за умови зростання інформаційного обміну, реалізації мультисервісних мереж надання послуг на пунктах управління та переході ЗС України на сучасні цифрові методи передачі інформації.

2. Розробити метод ефективного управління наявними ресурсами транспортної мережі системи зв'язку ЗС України для гарантованого забезпечення необхідної пропускної спроможності системи зв'язку в складних умовах ведення бойових дій.

3. На основі розроблених методик обґрунтувати рекомендації щодо оперативнотехнічних характеристик засобів телекомунікацій у різних ланках управління.

Подальші дослідження будуть направлені на розробку методів (методик) розрахунку пропускної спроможності, які підвищать ефективність функціонування системи зв'язку, до рівня який забезпечить безперервне управління військами.

Радиоэлектронные системы в информационном конфликте. / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров – М.: Вузовская книга, 2003. – 528 с. 5. **Куприянов А. И.** Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с. 6. **Boris Rogier** Network performance : Links between latency throughput and packet loss/ Categories: Network performance/ July 13th, 2016|URL <http://blog.performancevision.com/eng/earl/links-between-latency-throughput-and-packet-loss> (20)

**К ВОПРОСУ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ**

ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОЕННОЙ СВЯЗИ

Андрей Александрович Зинченко (д-р. техн. наук, доцент)<sup>1</sup>

Александр Николаевич Нестеров<sup>1</sup>

Катерина Андреевна Зинченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

<sup>2</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина

В статье на основе проведенного анализа установлено несоответствие между существующим научно-методическим аппаратом оценки эффективности функционирования системы военной связи, который ориентирован на аналоговые методы передачи данных, и совершенным переходом системы военной связи на цифровые средства связи. Обоснована необходимость: совершенствование метода расчета пропускной способности сети доступа к транспортной сети системы связи в условиях перехода на современные цифровые методы передачи информации, рост информационного обмена, реализации мультисервисных сетей оказания услуг; разработки метода управления имеющимися ресурсами транспортной сети системы военной связи для гарантированного обеспечения необходимой пропускной способности системы связи в сложных условиях ведения боевых действий. В дальнейшем, усовершенствованные методы могут быть использованы для обоснования требований к системе военной связи в боевых действиях (операциях).

**Ключевые слова:** система связи, система управления, информационное направление, информационная система, канал связи, пропускная способность, автоматизированная система управления.

TO THE QUESTION OF LOCAL CAPACITY AS THE BASIC INDICATOR OF THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE MILITARY COMMUNICATION SYSTEM

Andrii O. Zinchenko (Doctor of Technical Sciences, Associate Professor)<sup>1</sup>

Oleksandr M. Nesterov<sup>1</sup>

Catherine A. Zinchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Military Institute of Telecommunications and Informatization the name of the Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

In the article on the basis of the conducted analysis the discrepancy between the existing scientific and methodical apparatus for assessing the effectiveness of the functioning of the military communication system, which is oriented on analog data transmission methods, and the implementation of the transition of the military communication system to digital communication means has been established. The necessity of: improving the method of calculating the bandwidth of the access network to the transport network of the communication system in the conditions of transition to modern digital methods of information transmission, the growth of information exchange, implementation of multiservice networks of service provision; development of the method of management of available resources of the transport network of the military communication system for the guaranteed provision of the necessary throughput capacity of the communication system in the difficult conditions of the conduct of hostilities. Subsequently, improved methods can be used to substantiate the requirements for a military communication system in combat operations (operations).

**Key words:** communication system, control system, information direction, information system, communication channel, bandwidth, automated control system.

References

**1. Materials** of reports of the scientific and practical seminar of the department of communication and control systems "Perspectives of military use of the Armed Forces of the Armed Forces of Ukraine". - Kyiv: NUOU, 2016. - P.110. **2. Analysis** of the General Staff of the Armed Forces on combat operations on the Debal'tsevs'kyi bridgehead from January 27 to February 18, 2015. <http://www.mil.gov.ua/analitichni-materiali/> **3. Bogovik A.V.** Efficiency of military communication systems and methods its estimates / A.V. Bogovik, V.V. Ignatov - SPb.: YOU, 2006. - 183 p. **4. Kupriyanov A.I.** Radioelectronic

Systems in the Information Conflict. / AI Kupriyanov, AV Sakharov - Moscow: Vuzovskaya book, 2003. - 528 p. **5. Kupriyanov A.I.**, Theoretical Foundations of the Radio-Electronic Struggle / AI Kupriyanov, AV Sakharov. - Moscow: Vuzovskaya book, 2007. - 356 p. **6. Boris Rogier** Network performance : Links between latency throughput and packet loss/ Categories: Network performance/ July 13th, 2016|URL <http://blog.performancevision.com/eng/earl/links-between-latency-throughput-and-packet-loss> (20)

*Іван Юрійович Свіда (доктор військ. наук, с.н.с.)*  
*Анатолій Олександрович Зварич (канд. військ. наук)*  
*Анатолій Петрович Волобуєв (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

## МЕТОД МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОМАСКУВАННЯ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ІЗ ЗБЕРЕЖЕННЯМ ЗВ'ЯЗКУ

*У статті запропоновано метод математичного моделювання радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення від систем радіорозвідки нового покоління із збереженням радіозв'язку в своїй системі. Даний метод використовує в якості вихідних даних результати застосування методу математичного моделювання радіоперехоплення та виявлення місцеположення засобів радіозв'язку військового призначення системами радіорозвідки нового покоління та дозволяє кількісно оцінити значення параметрів засобів радіозв'язку, що дозволяють забезпечити заданий рівень радіозамаскованості системи радіозв'язку та забезпечити зв'язок в ній. У випадках, коли такі значення отримати неможливо, пропонується вирішувати зазначені завдання за рахунок фальшивих засобів радіозв'язку, потрібну кількість яких можна оцінити завдяки даному методу моделювання. Метод розроблено на основі фундаментальних положень теоретичної фізики, зокрема на тому факті, що електромагнітне поле в будь-якій точці простору описується антисиметричним 4-тензором другого рангу.*

**Ключові слова:** *математичне моделювання; радіозв'язок; радіорозвідка; радіомаскування.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Поява у збройних силах провідних країн світу систем радіорозвідки нового покоління [1-2] та відставання України у питаннях створення сучасних розвідуваних систем радіозв'язку військового призначення, викликала невідповідність між наявними спроможностями систем радіозв'язку військового призначення щодо боротьби з системами радіорозвідки та спроможностями, які потрібні для боротьби з системами радіорозвідки нового покоління. Тобто не забезпечується необхідний рівень радіозамаскованості систем радіозв'язку військового призначення.

Для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо забезпечення необхідного рівня радіозамаскованості потрібно користуватися методами математичного моделювання радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження, пов'язані з розробкою методів математичного моделювання радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення, в різні часи проводилися такими науковцями як Палій А.І., Сіфоров В.І., Ізюмов Н.М., Вартанесян В.А., Цветнов В.В., Дьомін В.П., Купріянов А.І., Макаренко С.І., Каневський З.М., Літвіненко В.П., Макаров Г.В. та іншими [3-11]. Методи моделювання даних авторів переважно побудовані на основі ймовірнісних підходів, через те, що вони користувалися ймовірнісними показниками рівня радіозамаскованості як

окремих засобів радіозв'язку так і систем радіозв'язку в цілому. Зокрема, такими показниками як ймовірність виявлення засобу радіозв'язку за заданий час; математичне очікування часу виявлення засобу радіозв'язку із заданими параметрами; ймовірність пеленгування засобу радіозв'язку із заданими параметрами і т.і.

Але системи радіорозвідки нового покоління зробили ці показники і методи не актуальними, бо набули спроможностей щодо викриття засобів радіозв'язку майже миттєво з ймовірністю близькою до одиниці за умови їх розвідувальної доступності [1-2]. Аналіз відомих методів і моделей показав, що вони не розглядають систему радіорозвідки противника як єдину систему що об'єднує всі види сучасних космічних, стратосферних, повітряних, наземних та морських засобів, завдяки чому забезпечується безпрецедентна розвідувальна доступність систем радіозв'язку військового призначення. Також не враховуються їх спроможності щодо виявлення і перехоплення складних (шумоподібних) радіосигналів, сигналів малої тривалості та сигналів які передаються за протоколами маршрутизації пакетів, факт реалізації методу однопозиційного виявлення місцеположення і т.і. Крім того відомі методи і моделі радіомаскування не розглядають потребу у забезпеченні зв'язку під час радіомаскування.

Отже, у відомих джерелах відсутні методи математичного моделювання радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення із збереженням в них зв'язку, які б враховували

спроможності систем радіорозвідки нового покоління.

**Мета статті.** Полягає в розробленні методу математичного моделювання радіомаскування системи радіозв'язку військового призначення від систем радіорозвідки нового покоління із збереженням радіозв'язку в своїй системі.

**Методи дослідження**

У ході дослідження використовувалися основні положення теорії електродинаміки та теорії зв'язку.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Будемо вважати, що система радіорозвідки нового покоління розгорнута на Q засобах радіорозвідки, а загальна кількість засобів радіозв'язку в системі радіозв'язку військового призначення –  $M^{заг}$ , з яких:

кількість засобів радіозв'язку, що не застосовують складні (шумоподібні) сигнали – M;

кількість засобів радіозв'язку, що працюють у режимі бінарної фазової модуляції (БФМ) псевдовипадковою послідовністю (ПВП) –  $M^{БФМ}$ ;

кількість засобів радіозв'язку, що працюють у режимі дискретної частотної модуляції (ДЧМ) ПВП –  $M^{ДЧМ}$ ;

кількість засобів радіозв'язку, що працюють у режимі частотно-фазової маніпуляції (ЧФМ) ПВП –  $M^{ЧФМ}$ ;

кількість засобів радіозв'язку, що працюють у режимі псевдовипадкового перестроювання робочої частоти (ППРЧ) –  $M^{ППРЧ}$ .

Крім того, додатково можуть розгортатися фальшиві радіомережі на  $M_{фальш}$  фальшивих засобах радіозв'язку.

Кожному засобу радіозв'язку має бути наданий ідентифікаційний номер.

В [12-14] було показано, що оцінювання рівня радіозамаскованості системи радіозв'язку військового призначення від систем радіорозвідки нового покоління доцільно здійснювати за допомогою такого невипадкового показника:

$$R = \frac{M_{зм}^{заг} + M_{фальш}}{M^{заг}} 100\%, \quad (1)$$

де  $M_{зм}^{заг}$  – загальна кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку в системі радіозв'язку.

При чому

$$M_{зм}^{заг} = M_{зм} + M_{зм}^{БФМ} + M_{зм}^{ДЧМ} + M_{зм}^{ЧФМ} + M_{зм}^{ППРЧ} \quad (2)$$

де  $M_{зм}$  – кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку, що не застосовують складних (шумоподібних) сигналів;

$M_{зм}^{БФМ}$  – кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з БФМ ПВП;

$M_{зм}^{ДЧМ}$  – кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з ДЧМ ПВП;

$M_{зм}^{ЧФМ}$  – кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з ЧФМ ПВП;

$M_{зм}^{ППРЧ}$  – кількість радіозамаскованих засобів радіозв'язку, що застосовують складні (шумоподібні) сигнали з ППРЧ.

Рівень радіозамаскованості окремих засобів радіозв'язку  $\Gamma_m$  оцінюється за допомогою такого показника, як кількість засобів радіорозвідки противника, для яких засіб радіозв'язку є розвідувальнодоступним за наступним критерієм:

$$\begin{cases} \Theta_{mq} > 1 \\ \Gamma_{mq} < 1 \end{cases}, \quad (3)$$

де  $\Theta_{mq}$  – коефіцієнт електромагнітної доступності m-го засобу радіозв'язку для q-го засобу радіорозвідки (4);

$\Gamma_{mq}$  – коефіцієнт частотної доступності m-го засобу радіозв'язку для q-го засобу радіорозвідки (не розраховується для засобів радіозв'язку, які не застосовують складних (шумоподібних) сигналів) (5).

Дані коефіцієнти, спираючись на [15-18], можна розрахувати таким чином:

$$\Theta_{mq} = \frac{1}{4\pi R_{порq} \tau_{зрq}} \int_0^{\tau_{зрq}} \left[ \left( \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial x_{зрq}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial y_{зрq}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial z_{зрq}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial z_{зрq}} - \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial y_{зрq}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial x_{зрq}} - \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial z_{зрq}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial y_{зрq}} - \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial x_{зрq}} \right)^2 \right] dt, \quad (4)$$

де  $R_{порq}$  – поріг реагування по потужності для q-го засобу радіорозвідки;

$\tau_{зрq}$  – час реагування (спостереження) q-го засобу радіорозвідки;

$(A_0)_{mq}, (A_1)_{mq}, (A_2)_{mq}, (A_3)_{mq}$  – компоненти векторного потенціалу

електромагнітного поля  $A_{mq}$ , створеного  $m$ -им засобом радіозв'язку в реальному (або передбачуваному) місті перебування  $q$ -го засобу радіорозвідки противника;

$$\left( \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial x_{zpq}} \right), \left( \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial y_{zpq}} \right),$$

$$\left( \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial t} - \frac{\partial(A_0)_{mq}}{\partial z_{zpq}} \right), \left( \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial z_{zpq}} - \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial y_{zpq}} \right),$$

$$\left( \frac{\partial(A_3)_{mq}}{\partial x_{zpq}} - \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial z_{zpq}} \right), \left( \frac{\partial(A_1)_{mq}}{\partial y_{zpq}} - \frac{\partial(A_2)_{mq}}{\partial x_{zpq}} \right)$$

– компоненти тензору електромагнітного поля;

$(x_{zpq}, y_{zpq}, z_{zpq})$  – реальні (або передбачувані) координати  $q$ -го засобу радіорозвідки противника;

$\tau_{ii}$  – тривалість елемента ПВП.

Та

$$f_{mq} = \frac{2\pi}{\tau_{ii} f_{порq}}, \quad (5)$$

де  $f_{порq} = f_{порqбфм}$  – порогове значення тактової частоти ПВП, яка модулює фазу сигналу засобу радіозв'язку, вище якого  $q$ -й засіб радіорозвідки не спроможний виявляти роботу засобів радіозв'язку, які працюють в режимі БФМ ПВП;

$f_{порq} = f_{порqдчм}$  – порогове значення тактової частоти ПВП, яка модулює частоту сигналу засобу радіозв'язку, вище якого  $q$ -й засіб радіорозвідки не спроможний виявляти роботу засобів радіозв'язку, що працюють в режимі ДЧМ ПВП;

$f_{порq} = f_{порqппрч}$  – порогове значення тактової частоти, з якою змінюється несуча сигналу засобу радіозв'язку, вище якого  $q$ -й засіб радіорозвідки не спроможний виявляти роботу засобів радіозв'язку, що працюють в режимі ППРЧ.

Нехай в результаті оцінювання поточного рівня радіозамаскованості системи радіозв'язку військового призначення, встановлено, що цей рівень дорівнює  $R_{пот}$ , який є нижчим ніж необхідний  $R_{необх}$ , тобто виникає завдання підвищення поточного рівня радіозамаскованості до необхідного, але зберігаючи зв'язок в системі радіозв'язку.

Це завдання пропонується розв'язувати шляхом математичного моделювання в два етапи таким методом:

на першому етапі на основі моделі радіоперехоплення та визначення місцеположення засобів радіозв'язку системою радіорозвідки противника [12-14] визначається перелік засобів радіозв'язку, які потрібно маскувати;

на другому етапі моделюється безпосередньо

радіомаскування шляхом визначення параметрів обраних засобів радіозв'язку, що спроможні забезпечити їх недоступність для системи радіорозвідки противника і радіозв'язок у своїй системі одночасно, або, у разі неможливості цього, визначається потрібна кількість фальшивих засобів радіозв'язку.

*Етап 1 «Визначення засобів радіозв'язку, що підлягають радіомаскуванню».*

1.1. Визначення різниці між поточним та необхідним рівнями радіозамаскованості системи радіозв'язку

$$\Delta R = R_{необх} - R_{пот}, \quad (6)$$

1.2. Визначення кількості засобів радіозв'язку, які підлягають маскуванню

$$M^{заг} \Delta R, \quad (7)$$

1.3. Визначення множини незамаскованих засобів радіозв'язку  $\bar{D}$ :

кількість засобів радіозв'язку:

$$(M^{заг} - M^{заг} R_{пот}), \quad (8)$$

множина номерів засобів радіозв'язку:  $\bar{N}$ ;

1.4. Із множини  $\bar{D}$  визначити  $M\Delta R$  засобів радіозв'язку, які підлягають радіомаскуванню:

1.4.1. Ранжирування рівнів радіозамаскованостей  $\Gamma_m$  усіх засобів радіозв'язку з множини  $\bar{D}$

$$\Gamma_{m_1} < \Gamma_{m_2} < \Gamma_{m_3} \dots, \quad (9)$$

1.4.2. Вибір засобів радіозв'язку з номерами  $m_i$ , які відповідають першим  $M^{заг} \Delta R$  рівням радіозамаскованостей ранжируваного ряду.

*Етап 2 «Визначення необхідних параметрів засобів радіозв'язку, що підлягають радіомаскуванню».*

Цільова функція забезпечення недоступності засобів радіозв'язку для системи радіорозвідки противника та забезпечення радіодоступності для засобів радіозв'язку своєї системи виглядає так:

$$\begin{cases} \mathcal{E}_{m_iq} < 1 \\ f_{m_iq} > 1, \forall (m_i, q, l), \\ \mathcal{E}_{m_i l} > 1 \end{cases} \quad (10)$$

де  $\mathcal{E}_{m_i l}$  – коефіцієнт електромагнітної доступності  $m_i$ -х засобів радіозв'язку для  $l$ -го засобу радіозв'язку своєї системи.

А обмеження на параметри засобів радіозв'язку, спираючись на [15-18], можна подати таким чином:

*для засобів радіозв'язку, що не застосовують складні (шумоподібні) сигнали*

кількість випромінювачів у антенній ґратці засобу радіозв'язку:

$$N_{min} \leq N \leq N_{max}, \quad (11)$$

координати  $n$ -го випромінювача антенної ґратки  $m_i$ -го засобу радіозв'язку:

$$\begin{cases} x_{m_n \min} \leq x_{m_n} \leq x_{m_n \max} \\ y_{m_n \min} \leq y_{m_n} \leq y_{m_n \max} \\ z_{m_n \min} \leq z_{m_n} \leq z_{m_n \max} \end{cases}, \quad (12)$$

несвіна частота випромінювання  $m_i$ -го засобу радіозв'язку:

$$f_{0_{m_i \min}} \leq f_{0_{m_i}} \leq f_{0_{m_i \max}}, \quad (13)$$

проекції вектора амплітуди густини електричного струму в  $n$ -му випромінювачі антенної ґратки  $m_i$ -го засобу радіозв'язку:

$$\begin{cases} j_{m_{n_x \min}} \leq j_{m_{n_x}} \leq j_{m_{n_x \max}} \\ j_{m_{n_y \min}} \leq j_{m_{n_y}} \leq j_{m_{n_y \max}} \\ j_{m_{n_z \min}} \leq j_{m_{n_z}} \leq j_{m_{n_z \max}} \end{cases}, \quad (14)$$

проекції вектора початкових фаз щільності електричного струму в  $n$ -му випромінювачі антенної ґратки  $m_i$ -го засобу радіозв'язку:

$$\begin{cases} \psi_{0_{m_{n_x \min}}} \leq \psi_{0_{m_{n_x}}} \leq \psi_{0_{m_{n_x \max}}} \\ \psi_{0_{m_{n_y \min}}} \leq \psi_{0_{m_{n_y}}} \leq \psi_{0_{m_{n_y \max}}} \\ \psi_{0_{m_{n_z \min}}} \leq \psi_{0_{m_{n_z}}} \leq \psi_{0_{m_{n_z \max}}} \end{cases}, \quad (15)$$

для засобів радіозв'язку, що працюють у режимі БФМ ПВП

до таких же параметрів, що розглядаються для засобів радіозв'язку, що не застосовують складних (шумоподібних) сигналів додаються ще

псевдовипадкова послідовність, яка модулює фазу сигналу:

$$\begin{cases} \alpha_{1 \min} \leq \alpha_1 \leq \alpha_{1 \max} \\ \alpha_{2 \min} \leq \alpha_2 \leq \alpha_{2 \max} \\ \dots \\ \alpha_{k \min} \leq \alpha_k \leq \alpha_{k \max} \\ \dots \\ \alpha_{K \min} \leq \alpha_K \leq \alpha_{K \max} \end{cases}, \quad (16)$$

тривалість елементу псевдовипадкової послідовності

$$\tau_{i \min} \leq \tau_i \leq \tau_{i \max}, \quad (17)$$

кількість елементів псевдовипадкової послідовності на тривалість біта інформації:

$$K_{\min} \leq K \leq K_{\max}, \quad (18)$$

для засобів радіозв'язку, що працюють у режимі ДЧМ ПВП

до таких же параметрів, що розглядаються для засобів радіозв'язку, які не застосовують складних (шумоподібних) сигналів та засобів радіозв'язку, що працюють у режимі БФМ ПВП (крім ПВП, що модулює фазу) додаються ще

дискрет частоти:

$$\Delta f_{m_{\min}} \leq \Delta f_m \leq \Delta f_{m_{\max}}, \quad (19)$$

псевдовипадкова послідовність, яка модулює частоту сигналу:

$$\begin{cases} N_{1 \min} \leq N_1 \leq N_{1 \max} \\ N_{2 \min} \leq N_2 \leq N_{2 \max} \\ \dots \\ N_{k \min} \leq N_k \leq N_{k \max} \\ \dots \\ N_{K \min} \leq N_K \leq N_{K \max} \end{cases}, \quad (20)$$

для засобів радіозв'язку, що працюють у режимі ЧФМ ПВП

до таких же параметрів, що розглядаються для засобів радіозв'язку, які не застосовують складних (шумоподібних) сигналів та засобів радіозв'язку, що працюють у режимі БФМ ПВП та ДЧМ ПВП додаються ще

кількість радіоімпульсів за період комплексної огибаючої сигналу:

$$I_{\min} \leq I \leq I_{\max}, \quad (21)$$

тривалість радіоімпульсу:

$$T_{0 \min} \leq T_0 \leq T_{0 \max}, \quad (22)$$

для засобів радіозв'язку, що працюють у режимі ППРЧ

до таких же параметрів, що розглядаються для засобів радіозв'язку, які не застосовують складних (шумоподібних) сигналів та засобів радіозв'язку, що працюють у режимі ДЧМ ПВП додається ще

$\psi_k$  – випадкова величина, рівномірно розподілена в діапазоні  $[0, 2\pi]$ .

Розв'язання даного завдання дозволить отримати необхідні значення параметрів засобів радіозв'язку. У випадку коли це не є можливим для якихось засобів радіозв'язку, то рівень радіозамаскованості необхідно буде збільшувати за рахунок фальшивих засобів радіозв'язку, потрібну кількість яких можна отримати за допомогою (1).

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонований метод математичного моделювання дозволяє кількісно оцінити значення параметрів засобів радіозв'язку, необхідних для одночасного забезпечення як недоступності визначених засобів радіозв'язку для системи радіорозвідки противника так і радіодоступності для засобів радіозв'язку своєї системи, або, у разі неможливості їх отримання, дозволяє оцінити кількість фальшивих засобів радіозв'язку, потрібних для забезпечення заданого рівня радіозамаскованості системи радіозв'язку від систем радіорозвідки нового покоління.

**Література**

- 1. Меньшаков Ю. К.** Виды и средства иностранных технических разведок: учебное пособие / под ред. М. П. Сычева. – М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. – 656 с. **2. Оружие** и технологии России: энциклопедия XXI века в 13 т. / под ред. зам. Пред. Прав-ва РФ – Министра обороны РФ С. Иванова. – М.: Изд. дом «Оружие и технологи», 2006. – Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. – 695 с. **3. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1999. – 240 с. **4. Макаренко С. И.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты: монография / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов. – СПб.: Свое изд-во, 2013. – 166 с. **5. Палий А. И.** Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) / А. И. Палий. – М.: Воениздат, 1981. – 320 с. **6. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М.: Изд-во МАИ, 1998. – 248 с. **7. Варганесян В. А.** Радиоэлектронная разведка / В. А. Варганесян. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с. **8. Варганесян В. А.** Радиопеленгация / В. А. Варганесян, Э. Ш. Гойхман, М. И. Рогаткин. – М.: Воениздат, 1966. – 248 с. **9. Куприянов А. И.** Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с. **10. Основы** радиопротиводействия : учебник для слушателей ВВНЗ СВ. – М.: Воен. акад. им. М. В. Фрунзе, 1962. – 268 с. **11. Каневский З. М.** Теория скрытности. Часть 1. Основы теории скрытности: Учеб. пособие / З. М. Каневский, В.П.Литвиненко, Г.В. Макаров – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 92 с. **12. Волобуев А.П.** Математичне моделювання виявлення системою радіорозвідки противника системи радіозв'язку військового призначення з шумоподібними сигналами на основі фазової модуляції псевдовипадковою послідовністю / А.П.Волобуев, Д.А.Бухал, А.В.Сергієнко // Збірник наукових праць ВІПІ. – Київ: Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації. – 2017. – № 3. – С.32-40. **13. Волобуев А.П.** Математичне моделювання виявлення системою радіорозвідки противника системи радіозв'язку військового призначення, яка застосовує шумоподібні сигнали з дискретною частотною модуляцією псевдовипадковою послідовністю / А.П.Волобуев, Д.А.Бухал // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2017. – №2 (29). – С.9-15. **14. Волобуев А.П.** Математичне моделювання виявлення системою радіорозвідки противника системи радіозв'язку військового призначення, яка застосовує шумоподібні сигнали з частотно-фазовою модуляцією псевдовипадковою послідовністю / А.П.Волобуев, Д.А.Бухал, О.А.Усачова // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Харків: Харківський національний університет імені Івана Кожедуба. – 2017. №3 (28). – С.76-85. **15. Ландау Л.Д.** Краткий курс теоретической физики в 3 кн. Кн.1: Механика. Электродинамика / Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. – М.: Наука: Глав. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 271 с. **16. Тузов Г. И.** Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др. под ред. Г.И.Тузова – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с. **17. Борисов В. И.** Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е.Лимарев, Н.П.Мухин, Г.С.Нахмансон под ред. В.И.Борисова – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с. **18. Варакин Л.Е.** Системы связи с шумоподобными сигналами / Л.Е.Варакин. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.

### МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОМАСКИРОВКИ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С СОХРАНЕНИЕМ СВЯЗИ

*Иван Юрьевич Свида (д-р. воен. наук, с.н.с.)  
Анатолий Александрович Зварич (канд. воен. наук)  
Анатолий Петрович Волобуев (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

*В статье предложен метод математического моделирования радиомаскировки системы радиосвязи военного назначения от систем радиоразведки нового поколения с сохранением радиосвязи в соевой системе. Данный метод использует в качестве исходных данных результаты применения метода математического моделирования радиоперехвата и определения местоположения средств радиосвязи военного назначения системами радиоразведки нового поколения и позволяет количественно оценить значения параметров средств радиосвязи, которые позволяют обеспечить заданный уровень радиозамаскированности системы радиосвязи та обеспечить связь в ней. Для случаев, когда такие значения получить невозможно, предлагается решать указанные задачи за счет ложных средств радиосвязи, необходимое количество которых можно оценить благодаря данному методу моделирования. Метод разработан на основе фундаментальных положений теоретической физики, в частности на том факте, что электромагнитное поле в любой точке пространства представляется антисимметричным 4-тензором второго ранга.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, радиосвязь, радиоразведка, радиомаскировка.

### THE MATHEMATICAL MODELING METHOD OF TACTICAL RADIOSYSTEM RADIOMASKING WITH KEEPING RADIOCOMMUNICATION IN SAME TIME

*Ivan Y. Svida (Doctor of Military Sciences, Senior Research Fellow)  
Anatolii O. Zvarich (Candidate of Military Sciences)  
Anatolii P. Volobuiev (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*



The article proposes the mathematical modeling method of tactical radiosystem radiomasking against new generation signal intelligence facilities with keeping radio communication inside the radiosystem. The method uses results of applying a mathematical modeling method of radio interception and location tactical radios by new generation signal intelligence systems and allows quantitatively evaluating of tactical radios parameters for providing a needed radiomasking level of tactical radiosystem and in a same time keeping radio communication. In cases when it's impossible the tasks can be solved by false tactical radios. Needed quantity of this one can be calculating by this mathematical modeling method. The method have created on fundamental knowledge base of theoretical physics like that an electromagnetic field anywhere can be described by antisymmetric 4-tensor of second rank.

**Keywords:** mathematical modeling, tactical radio communication, signal intelligence, radiomasking.

## References

1. **Menshakov Yu. K.** (2009), Types and means of foreign technical intelligence: textbook / ed. M.P. Sychev [*Vidy i sredstva inostrannykh tekhnicheskikh razvedok*], MSTU them. N.E. Bauman, Moscow, 656 p.
2. **Weapons** and technologies of Russia: encyclopedia XXI century in 13 toms (2006) T. XIII: Control systems, communications and electronic warfare / Ed. Minister of Defense of the Russian Federation S. Ivanov [*Oruzhiye i tekhnologii Rossii*], Arms and Technologies, Moscow, 695 p.
3. **Tsvetnov V. V.**, Demin V.P., Kupriyanov A.I. (1999) Radio-electronic warfare: radiomasking and noise protection [*Radioelektronnaya bor'ba: radiomaskirovka i pomekhozashchita*], MAI, Moscow, 240 p.
4. **Makarenko S. I.**, Ivanov M.S., Popov S.A. (2013) Interference immunity of communication systems with pseudo-random working frequency tuning: monograph [*Pomekhozashchishchennosti sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty*], The Own Publishing, S.Pb., 166 p.
5. **Paliy A. I.** (1981), Radio-electronic warfare (means and methods of suppression and protection of radio electronic systems) [*Radioelektronnaya bor'ba (sredstva i sposoby podavleniya i zashchity radioelektronnykh sistem)*], Military Publishing, Moscow, 320 p.
6. **Tsvetnov V. V.**, Demin V.P., Kupriyanov A.I. (1998), Radio-electronic warfare: radio reconnaissance and radio counteraction [*Radioelektronnaya bor'ba: radiorazvedka i radioprotivodeystviye*], MAI, Moscow, 248 p.
7. **Vartanesyan V. A.** (1975), Radio-electronic reconnaissance [*Radioelektronnaya razvedka*], Military Publishing, Moscow, 255 p.
8. **Vartanesyan V. A.**, G oichmann E.Sh., Rogatkin M.I. (1966), Radio direction-finding [*Radiopelengatsiya*], Military Publishing, Moscow, 248 p.
9. **Kupriyanov A. I.**, Sakharov A.V. (2007), Theoretical foundations of electronic warfare [*Teoreticheskiye osnovy radioelektronnay bor'by*] The University Book, Moscow, 356 p.
10. **Fundamentals** of radiocountermeasures: textbook for students military academies (1962), [*Osnovy radioprotivodeystviya*], Mil.Acad. them. M.V. Frunze, Moscow, 268 p.
11. **Kanevsky Z. M.**, Litvinenko V.P., Makarov G.V. (2003), The theory of security. Part 1. Fundamentals of the theory of security: tutorial [*Teoriya skrytnosti*], Voronezh. State. Tech. Univ., Voronezh, 92 p.
12. **Volobuyev A.**, Buhal D. and Sergienko A. (2017) Mathematical modeling of detection by a radio-intelligence system of an enemy of a military radiocommunication system with noise-like signals based on phase modulation by a pseudo-random sequence [*Matematychnye modelyuvannya vyyavlennya systemoyu radiorozvidky protyvnyka systemy radiozv yazku viys kovoho pryznachennya z shumopodibnyimi syhnalami na osnovi fazovoyi modulyatsiyi psevdovypadkovoyu poslidovnistyu*], Zbirnyk naukovykh prats VITI , No 3, pp. 32-40.
13. **Volobuiev A.P.** and Bukhal D.A. (2017) Mathematical modeling of the detection by the radio reconnaissance system of enemy of military radio communication system that uses noise-type signals with discrete frequency modulation by a pseudo-random sequence [*Matematychnye modelyuvannya vyyavlennya systemoyu radiorozvidky protyvnyka systemy radiozv yazku viys kovoho pryznachennya, yaka zastosovuye shumopodibni syhnaly z dyskretnoyu chastotnoyu modulyatsiyeyu psevdovypadkovoyu poslidovnistyu*], Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence , no. 2 (29), pp. 9-15.
14. **Volobuiev A.**, Usahova O. and Bukhal D. (2017) Mathematical modelling of tactical radio system (with frequency-phase-coded by pseudorandom sequence noise-like signals) detection by adversary signal intelligence [*Matematychnye modelyuvannya vyyavlennya systemoyu radiorozvidky protyvnyka systemy radiozv yazku viys kovoho pryznachennya, yaka zastosovuye shumopodibni syhnaly z chastotno-fazovoyu modulyatsiyeyu psevdovypadkovoyu poslidovnistyu*], Science and Technology of the Air Force of Ukraine , Iss. 3(28), pp. 76-85.
15. **Landau L. D.**, Lifshits E.M. (1969), A short course of theoretical physics in 3 books. Book 1: Mechanics. Electrodynamics [*Kratkiy kurs teoreticheskoy fiziki*], Head. Ed. fiz.-mat. lit., Moscow, 1969, 271 p.
16. **Tuzov G. I.**, Sivov V.A., Prytkov V.I. etc (1985), Noise immunity of radio systems with complex signals [*Pomekhozashchishchennosti radiosistem so slozhnyimi signalami*], Radio and Communication, Moscow, 264 p.
17. **Borisov V. I.**, Zinchuk V.M., Limarev A.E., Mukhin N.P., Nakhmanson G.S. (2003), Interference immunity of radio communication systems with spreading of the signal spectrum by modulation of a pseudo-random carrier by sequence [*Pomekhozashchishchennosti sistem radiosvyazi s rasshireniyem spektra signalov modulyatsiyey nesushchey psevdosluchaynoy posledovatel'nost'yu*], Radio and Communication, Moscow, 640 p.
18. **Varakin L.E.** (1985) Communication systems with noise-type signals [*Sistemy svyazi s shumopodobnyimi signalami*], Radio and Communication, Moscow, 384 p.

*Катерина Олександрівна Єфанова  
Зоя Миколаївна Пономаренко  
Микола Олександрович Масесов*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна*

## АКТУАЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ SDN

*В статті представлено динаміку розвитку телекомунікаційних мереж: ISDN → IP → ethernet, (конвергенцію телекомунікаційних технологій). Показано, що ключовою проблемою в телекомунікаційних мережах є проблема забезпечення якості обслуговування. Причому із зростанням різномірності трафіку ця проблема стає все гостріше, вимагаючи серйозного та узгодженого опрацювання множини мережних задач різних рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем. У зв'язку із потребою у послугах якості обслуговування значну увагу приділяється створенню та розвитку програмно-конфігурованих мереж, які дозволяють вирішити існуючі проблеми в галузі телекомунікацій, а також наведені основні напрямки впровадження та використання мережі SDN.*

*У статті описується основний зміст та загальний стан проблеми та окремих задач щодо управління трафіком в мережі SDN, та вказується подальший напрямок ,щодо їх вирішення*

**Ключові слова:** SDN-мережа; трафік; рівень управління.

### Вступ

Значний зріст об'ємів трафіку та зміна його структури, необхідність підтримки стрімкого росту кількості мобільних користувачів, формування високопродуктивних кластерів для обробки значного збільшення трафіку і добре масштабованих віртуалізованих середовищ для представлення хмарних сервісів – все це сприяло зміні вимоги до мережових середовищ.

**Постановка проблеми.** Для обробки зростаючої кількості різномірного трафіку, при існуючих технологіях транспортних мереж, необхідно нарощувати кількість різноманітного обладнання: комутатори і маршрутизатори, брандмауери (firewall), транслятори мережових адрес, пристрої балансування навантаження, а також пристрої та системи забезпечення безпеки. Зазвичай мережові адміністратори конфігурують кожен пристрій окремо, відповідно до мережової топології і правил маршрутизації. Для цього використовуються інтерфейси конфігурації – для кожного пристрою і для кожного виробника, а іноді і для кожного пристрою однієї і тієї лінії виробництва одного виробника, хоча іноді використовують так званий «пакетний» метод конфігурації мережових пристроїв. В цілому, такий підхід значно ускладнює модернізацію і розвиток мереж, впровадження інновацій, а також призводить до великої кількості капітальних і операційних витрат.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** [1-6] показав, що появою цифрових систем передачі почала розвиватися мережева концепція ISDN (Integrated Services Digital Network) — цифрова мережа з інтеграцією служби. Незважаючи на те, що при цьому спочатку передбачалося створення інтегральної мережі, що дозволяє надавати в рамках єдиної мережової структури різні види послуг зв'язку, основним додатком залишилася послуга телефонії. Мережі ISDN передбачали

використання цифрових систем передачі і цифрових вузлів комутації.

При цьому, для організації взаємодії апаратури вузлів комутації між собою і з тим, що підключається термінальним обладнанням були розроблені досить потужні системи сигналізації, що дозволяють передавати не тільки сигнальну інформацію, пов'язану з встановленням базового виклику, а й відомості, пов'язані з станом елементів мережі зв'язку, маршрутизації викликів, погодженням параметрів передачі і т.д.

З появою Інтернету основними користувачами стали фізичні особи, що призвело до збільшення розгалуженості і підвищеної ємності мережі. В результаті виникла потреба в мережовій структурі, яка не поступається за своїми масштабним характеристикам телефонної мережі загального користування (ТМЗК). Однак використання двох паралельних мережових структур з економічних і експлуатаційних показників було неефективним. Це зажадало розробки технологічних рішень, що забезпечують передачу різних видів інформації та надання різних видів послуг зв'язку в рамках єдиної мережової структури.

В основі такого рішення повинен був лежати єдиний метод передачі інформації на основі комутації пакетів. Формування цього методу привело до появи мереж третього покоління - мереж NGN (Next Generation Network), де в якості технічних засобів буде використовувати апаратно - програмні засоби, орієнтовані на стек протоколів TCP / IP.

Таким чином, ідеологія NGN являє собою передачу будь-якої інформації в єдиній формі уявлення - IP-пакеті. Традиційні мережі не можуть підтримувати обмін трафіком в форматі IP. Цей факт має на увазі необхідність реконструкції всієї архітектури мережі: транспортної інфраструктури, рівня доступу і мережової ієрархії. [2]

Розвиток технології Ethernet призвів до появи нового транспорту - PoS (Pocketover SDH / SONET). По суті, це симбіоз двох добре знайомих технологій Ethernet і SDH / SONET. Така технологія має переваги системи передачі SDH, яка характеризується високою надійністю і керованістю мережі IP, що дозволяє надавати всі необхідні послуги передачі пакетного трафіку, включаючи такі додатки як VPN, VoIP і ін. Перспективним напрямком модернізації виглядає поступовий перехід до NGN за рахунок впровадження в традиційні мережі обладнання, здатного працювати з технологіями обох поколінь. Але тут виникла велика проблема, основу, якої становила пересилання даних і файлів, які не потребують особливих вимог до каналу, за винятком швидкості передачі даних, гостро виникли питання забезпечення якості сервісу (QoS), мінімальної затримки в каналі (latency) і ін.

Це, в першу чергу, пов'язано зі зміною структури призначеного для користувача трафіку, в якому стали переважати комунікації в реальному часі (Real Time Communications, RTC) - VoIP, відеосервіси тощо. У операторів виникла реальна потреба в динамічній пріоритезації трафіку. Наприклад, в деяких випадках пріоритет повинен бути зроблений для ftp-протоколу, в інших - для SIP і навпаки.

В результаті конфігурація великомасштабних мереж перетворюється на складне завдання і вимагає серйозних змін принципів побудови, експлуатації та управління мереж і управління ними.

**Метою статті** є визначення актуальності впровадження та використання програмно-конфігурованих мереж, рішень та задач, які вона вирішує.

### Викладення основного матеріалу

Згідно щорічного прогнозу [1] з 2014 до 2017 об'єм мобільного трафіку зріс в 13 раз ісклав 11,2 ексабайтів в місяць, або 134 ексабайта в рік (один ексабайт дорівнює квінтільйону байт). Стійке зростання трафіку частково пояснюється збільшенням числа мобільних інтернет-підключень, кількість яких незабаром перевищить чисельність населення планети (за даними ООН, у 2017 році населення планети склало 7,6 млрд осіб).

134 ексабайта еквівалентні 30 трильйонів графічних файлів (по 10 картинок на кожного жителя планети щодня протягом року) або 3 трильйонів відеокліпів. На думку експертів [1] середньорічні темпи зростання споживчого та корпоративного сегменту використання трафіку, обумовлена наступними факторами:

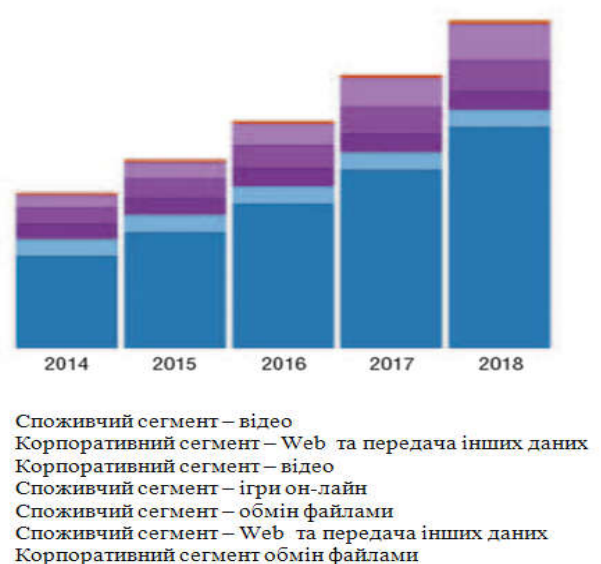


Рис.1 Графік споживчого та корпоративного сегменту використання трафіку

**Зростання числа мобільних з'єднань.** До 2018 року в світі буде налічуватися 10 млрд мобільних пристроїв, в тому числі 1,7 млрд з'єднань типу "машина-машина"(M2M) (в 2014 сукупна кількість мобільних пристроїв і міжмашинного з'єднань не перевищувало 7 млрд).

**Зростання швидкості передачі даних.** Середня швидкість передачі даних по мобільних мереж зростає в 7 разів - з 1Мбіт / с у 2014 році до 3.9 Мбіт / с в 2017 році.

**Зростання популярності відео.** У 2017 року відео складо 66 відсотків загального мобільного трафіку (51 відсоток в 2014 році).

Вплив мобільних пристроїв / підключень:

Смартфони, ноутбуки та інші портативні пристрої у 2017 року згенерували 93 відсотки трафіку.

M2M-трафік (GPS-навігація, системи стеження, медичні програми) склав 5 відсотків від загального обсягу трафіку мобільних даних.

Ще 2 відсотки трафіку припадало на телефонні розмови.

У 2012 році тільки 14 відсотків пристроїв (1 млрд) могли працювати по протоколу IPv6. А вже у 2017 року число таких пристроїв збільшилось до 41 відсотка (4,2 млрд).

Швидкість мобільних мережевих з'єднань. Середня швидкість мобільних з'єднань з 2012 по 2017 рр. виростає в 7 разів. Цей показник став найважливішим фактором, що підтримує зростання обсягу мобільного трафіку.

Таблиця.1

### Порівняльна характеристика швидкості з'єднання

Кбіт/с	2012	2013	2014	2015	2016	2017	CAGR
Середня швидкість мобільних з'єднань	526	817	1 233	1 857	2 725	3 898	49 %
Середня швидкість з'єднання в смартфонах	2 064	2 664	3 358	4 263	5 284	6 528	26 %

Очевидно, що впоратися з таким ростом трафіку можна двома способами:

**Розширенням пропускної спроможності мережі** за рахунок збільшення кількості апаратних мережевих вузлів і підвищенням їх потужності. Це призведе до значних капітальних і операційних затрат, проте досягнути бажаного результату так і не вийде, адже необхідність до нових послуг буде призводити до ще більш швидкого росту трафіку і інвестиційні плани операторів не встигатимуть за потребами послуг в трафіку.

**Трансформація як самої мережі, так і всієї структурної моделі** оператора. Таким чином, це дозволить вирішити проблему росту трафіку і потребу швидкого впровадження нових послуг, при цьому не збільшуючи фінансових затрат. Таким вимогам відповідає архітектура мережі, що основана на **програмно-конфігурованій мережі SDN**. Головна ідея SDN полягає у відділенні функцій передачі трафіку від функцій управління (включаючи контроль трафіку). У традиційних комутаторах і маршрутизаторах ці процеси невіддільні одна від одної і реалізовані в одній «коробці»: спеціальні мікросхеми забезпечують пересилання пакетів з одного порту на інший, проте в технології SDN процес розділення рівня управління та рівня передачі трафіку забезпечується за рахунок архітектури, котра складається з двох компонентів: одного або кількох комутаторів з підтримкою протоколу *Openflow* та *SDN* контролера. (рис.2). Контролер являється одним із головних елементів програмно-визначених мереж, який виконує управління передачею трафіку через мережу, надсилаючи необхідні інструкції маршрутизаторам та комутаторам.



Рис.2.Архитектура SDN

Основним елементом концепції SDN-мереж є протокол *Open Flow*. Відповідно, мережеве обладнання, яке працює на рівні інфраструктури повинне підтримувати архітектуру *Open Flow*-комутатора.

Комутатор *Open Flow* складається з однієї або декількох таблиць потоків (*flow tables*), групової таблиці (*group table*), які відповідають за пересилання пакетів та безпечного каналу (*Secure Channel*), що забезпечує передачу службової інформації між контролером і комутатором. Використовуючи протокол *Open Flow* контролер може здійснювати управління потоками вже за завчасно прописаним маршрутом, або в реальному

масштабі часу, беручи до уваги навантаженість маршрутів. Таким чином, надається стандартний метод для програмування комутаторів без необхідності налаштування кожного комутатора окремо. Комутатор *Open flow* являє собою простий комутуючий елемент, який пересилає пакети між портами. Самі правила для комутації визначаються безпосередньо контролером.

Завдяки такій простоті управління технологія SDN стала ключовою технологією побудови мереж, котрі можуть розглядатися у трьох цільових напрямках.

1 напрямком- в мережі ЦОД [3].

При використанні технології SDN в ЦОДах вдається досягнути три основні результати: скорочення часу, виділення віртуальної інфраструктури та розгортання середовищ розробки і тестування;

оптимізація вкладень в фізичну IT-інфраструктуру за рахунок більш активного використання принципів програмно-конфігурованого ЦОДа (*SD-DC*) [3].

2 напрямком-у мережі операторів зв'язку [6].

3 напрямком - побудова багатофіліальних розподілених корпоративних мереж. (*SD-WAN*)

Якщо раніше для підключення нового елемента до корпоративної мережі зв'язку могли знадобитися місяці, то зараз досить встановити пристрій на об'єкт (нового елемента) і підключити його до мережі: автоматично будуть проведені всі необхідні налаштування і підключення всіх необхідних мережевих сервісів.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Наведений в статті аналіз дозволяє відзначити актуальність архітектури SDN-мереж та виділити її відносно традиційних існуючих мереж за рахунок наступних переваг:

Глибока інтеграція. Кожний веб-сервіс може направити вимоги до пропускної спроможності до контролера, який відповідає за виконання запиту.

Зменшення вартості розгортання мереж. Проектування і виготовлення пристроїв з фіксованим налаштуванням (без необхідності оновлень)

Використання більш простих алгоритмів. Замість того, покладатись на алгоритм взаємодії між пристроями, можна використовувати більш простіші алгоритми.

Можливість розробки та розвитку мережевих програмних модулів. ПКС-контролер має інтерфейси API, котрі можуть використовуватись додатками.

Глобальна оптимізація і планування. Контролер посилається на глобальне представлення про мережу, тим самим використання мережевих ресурсів може стати більш раціональним, а також масштабованість мережі стає простіше.

Відкритість протоколу *OpenFlow*, що дозволяє позбутися залежності від виробника мережевих пристроїв.

Зручність адміністрування та налаштування.

Таки можливості до розширення в мережі SDN дозволяють будувати реальні «хмари», масштабованість яких залежить від задач. При тому

мережа має потрібну інтелектуальність необхідну для ефективного управління мереж з великою

кількістю вузлів.

### Література

1. Результаты испытания скорости мирового Интернета (Cisco Global Internet Speed Test, GIST), проведенного в рамках программы Cisco VNI, и других независимых оценок сетевых скоростей. 2. **Марціленко С.В.** Застосування програмно-визначуваних мереж (SDN) в технології 5G / Марціленко С.В., Глоба Л.С. // Десята міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" – Київ, Україна, 2016. – с. 191 – 194 3. **Роговой В.П.** сети Центры обработки данных на базе технологии SDN / Роговой В.П. // Десята міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" – Київ, Україна, 2016. – с. 182 – 185.

4. Журнал сетевых решений/LAN 2012 -2017. 5. A. Tootoonchian, **Y. Ganjali.** HyperFlow: A Distributed Control Plane for OpenFlow. In Proc. INM/WREN, San Jose, CA, April 2010. 6. **Лурджан, М.Б.** Використання програмно-конфігурованих мереж для балансування навантаження в транспортних мережах операторів зв'язку / М.Б. Лурджан, А.А. Воропаєва // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Красноармійськ, ДонНТУ, 2016. Випуск 1 (28). – С. 87 – 95.

## АКТУАЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖІ SDN

*Екатерина Александровна Ефанова  
Зоя Николаевна Пономаренко  
Николай Александрович Масесов*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина*

*В статье представлена динамика развития телекоммуникационных сетей: ISDN → IP → ethernet, (конвергенцию телекоммуникационных технологий). Показано, что ключевой проблемой в телекоммуникационных сетях является проблема обеспечения качества обслуживания. Причем с ростом разнородности трафика эта проблема становится все острее, требуя серьезной и согласованной обработки множества сетевых задач различных уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем. В связи с необходимостью в услугах качества обслуживания значительное внимание уделяется созданию и развитию программно-конфигурируемых сетей. Которые позволяют решить существующие проблемы в области телекоммуникаций, а также приведены основные направления внедрения и использования сети SDN.*

*В статье описывается основное содержание и общее состояние проблемы и отдельных задач по управлению трафиком в сети SDN, и указывается дальнейшее направление, по их решению.*

*Ключевые слова:* SDN-сеть; трафик; уровень управления.

## RELEVANCE OF IMPLEMENTATION AND USING SDN NETWORK

*Kateryna A. Yefanova  
Zoya M. Ponomarenko  
Mykola O. Masesov*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine*

*The article presents the dynamics of the development of telecommunication networks: ISDN → IP → ethernet, (convergence of telecommunication technologies). It has been shown that the key problem in telecommunication networks is the problem of quality of service provision. Moreover, with the increasing heterogeneity of traffic, this problem becomes more acute, requiring a serious and consistent processing of a variety of network tasks of various levels of the reference model of interaction of open systems. In connection with the need for quality service, a great deal of attention is paid to the creation and development of software-configurable networks, which allow to solve existing problems in the field of telecommunications, as well as the main directions of implementation and use of the SDN network.*

*The article describes the main content and general state of the problem and individual tasks for managing traffic in the SDN network, and indicates the further direction by their solution.*

*Key words:* SDN-network; traffic; management level.

### References

1. Cisco Global Internet Speed Test, GIST 2. **Martsilenko S.V.** (2016) The programmed-tagging measure (SDN) in the technology 5G [Zastosuvannya programno-vyznachuvanykh merezh (SDN) v tekhnolohiyi 5G] X International Scientific and Technical Conference "Telecommunication Problems" Kiev 191 – 194p. 3. **Rogovoy V.P.** (2016) Data center based on SDN technology Десята міжнародна науково-технічна конференція [Tsentry obrabotki dannykh na baze tekhnologii SDN] X International

Scientific and Technical Conference "Telecommunication Problems" Kiev 182 – 185p. 4. Network Solutions Journal LAN 2012 -2017. 5. A. Tootoonchian, **Y. Ganjali.** Hyper Flow: A Distributed Control Plane for OpenFlow. In Proc. INM/WREN, San Jose, CA, April 2010. 6. **Lurjan, M.B.** (2016) Use of software-configurable networks for balancing the load in transport networks of communication operators. *Krasnoarmeysk N 1 (28), 87 – 95p.*

УДК 378.147:35.08

*Олег Вікторович Шевченко*<sup>1</sup>*Юрій Аркадійович Гусак* (доктор військ. наук)<sup>2</sup>*Григорій Митрофанович Тіхонов* (канд. військ. наук)<sup>3</sup><sup>1</sup>Головне управління персоналу Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна<sup>2</sup>Воєнно-наукове управління Генерального штабу Збройних Сил України, Київ, Україна<sup>3</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В СИСТЕМІ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ОФІЦЕРСЬКОГО СКЛАДУ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

У статті вивчається досвід впровадження дистанційних форм навчання у підготовку офіцерських кадрів, як у провідних країнах – членах НАТО, так і вітчизняний досвід. Обґрунтовується необхідність впровадження дистанційної форми навчання в систему підвищення кваліфікації осіб офіцерського складу Збройних Сил України.

**Ключові слова:** підвищення кваліфікації, дистанційне навчання, технологія дистанційного навчання, дистанційна форма підвищення кваліфікації.

**Постановка проблеми.** Ефективність військового управління значною мірою залежить від кадрів, підготовлених до активної професійно-компетентної роботи за посадовим призначенням. Тому необхідною умовою ефективного військового управління є його професіоналізація. Важливим елементом професіоналізації військового управління є система підвищення кваліфікації офіцерського корпусу та посадових осіб органів військового управління, зміцнення фахової спроможності у галузі військового управління.

На цей час існуюча система підвищення кваліфікації має низьку ефективність, не задовольняє потребам у підготовці офіцерів у визначених обсягах та є затратною.

Одним із шляхів підвищення ефективності цієї системи є впровадження технологій дистанційного навчання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження проблеми навчання за дистанційною формою знайшло своє відображення у працях багатьох науковців. Зокрема, впровадження дистанційних освітніх технологій у підготовку слухачів гуманітарних, військово-технічних та інженерних спеціальностей присвячені роботи Н. В. Жевакіна, В. Є. Лукін, В. М. Олексенко, підвищенню кваліфікації педагогічних кадрів (В. В. Олійник, В. О. Гравіт, Л. Л. Ляхощка, Н. І. Клокар, Л. І. Даниленко, В. А. Семиченко, Є. С. Полат); технологіям дистанційного навчання у післядипломній освіті (В. Биков, О. Воронкін).

Незважаючи на велику кількість наукових досліджень сучасна дистанційна освіта в Україні нагадує традиційні форми заочного навчання, без застосування всіх можливостей принципово нових форм і методів.

**Метою статті** є аналіз досвіду впровадження дистанційної форми навчання в арміях провідних країн-членах НАТО та можливості щодо її

впровадження у систему підвищення кваліфікації офіцерського складу Збройних Сил України.

### Викладення основного матеріалу.

Підвищення кваліфікації осіб офіцерського складу прийнято визначати як підтримання професійного рівня, оновлення та набуття умінь, знань, навичок, здатності виконувати завдання та обов'язки за посадовим призначенням, необхідні для впровадження професійної діяльності на військовій службі.

Підвищення кваліфікації здійснюється з метою просування по службі, підтримання професійного рівня та перед призначенням на посаду за іншою військово-обліковою спеціальністю [1].

Таке навчання є безперервним процесом і розподіляється за видами:

навчання за програмами підвищення кваліфікації;  
спеціалізовані короткострокові курси.

Підвищення кваліфікації військовослужбовців офіцерського складу, з метою підтримання їх належного професійного рівня здійснюється на курсах у вищих військових навчальних закладах, військових навчальних підрозділах закладів вищої освіти не рідше одного разу на п'ять років та є обов'язковою умовою просування по службі [2].

В Збройних Силах України підготовку на курсах підвищення кваліфікації розпочато з березня 1995 року на базі вищих військових навчальних закладів та військових навчальних підрозділів вищих навчальних закладів (на цей час – військових навчальних підрозділів закладів вищої освіти).

Наразі таке навчання проводиться в системі курсової підготовки військовослужбовців відповідно до наказу Міністерства оборони України від 04 квітня 2017 року № 202 “Про організацію та проведення підвищення кваліфікації військовослужбовців, працівників Збройних Сил України та державних службовців



Міністерства оборони України та Збройних Сил України” (із змінами).

За останні п'ять років (2013 – 2017 роки) на курсах підвищення кваліфікації осіб офіцерського складу пройшли підготовку 4 034 офіцери.

Аналіз залучення офіцерів на курси підвищення кваліфікації свідчить про наявність тенденції їх відбору та направлення на навчання в основному з метою підтримання професійного рівня. У той же час частка офіцерів, яких сплановано для просування по службі та направлено на курси, залишається незначною.

Відбір та направлення офіцерів на курси, у переважній своїй більшості, здійснюється з числа офіцерського складу не бойових військових частин та які не сплановані до призначення на вищі посади, відрив яких від службової діяльності суттєво не вплине на боєздатність військових частин та виконання завдань за призначенням.

Водночас мають місце випадки призначення осіб офіцерського складу на вищі посади без проходження відповідної підготовки на курсах підвищення кваліфікації. Зазначене виникло внаслідок необхідності виконання пріоритетних першочергових завдань щодо доукомплектування бойових військових частин у період відновлення ними боєздатності.

Зазначена проблема спонукає до пошуків інших форм навчання, які б надали можливість військовослужбовцям підвищувати кваліфікацію без відриву від службової діяльності та виконання посадових обов'язків.

Нетрадиційні форми та методи освіти, які забезпечують оперативність отримання нових знань при мінімальних затратах часових ресурсів, все активніше завойовують світ. Належне місце серед них займає дистанційна форма навчання.

Так, на сьогодні у США за програмами дистанційної освіти навчається близько 1 млн. осіб. У той же час 32 % американців віддають перевагу навчанню засобами всесвітньої мережі Інтернет замість стаціонарного та заочного навчання [3].

Дистанційне навчання – особлива форма цілеспрямованого процесу засвоєння знань, умінь і навичок, відмінною особливістю якої є взаємодія віддалених учасників навчального процесу у спеціалізованому середовищі, яке функціонує на базі сучасних психолого-педагогічних та інформаційно-комунікаційних технологій.

Головною особливістю дистанційного навчання є його екстериторіальність, тобто необов'язковість перебування слухачів у навчальному закладі. При цьому одним з основних компонентів дистанційного навчання є психолого-педагогічні технології, наявність яких не заперечує участі науково-педагогічних працівників у ході освітнього процесу.

Технології дистанційного навчання можуть бути використані в інших формах навчання військових фахівців: очній, заочній та змішаних формах навчання, системі перепідготовки та

підвищення кваліфікації [4].

Відмінність підвищення кваліфікації за дистанційною формою навчання від традиційної зрозуміла, якщо розглянути їх з погляду форм взаємодії науково-педагогічного працівника і слухача. В основу традиційної моделі підготовки покладено проведення лекцій, семінарських, лабораторних та інших видів занять, організація самостійної роботи слухачів тощо. База навчання – навчальні матеріали і науково-педагогічний працівник, як інтерпретатор знання. Навчання ж за дистанційною формою орієнтоване на впровадження в навчальний процес принципово відмінних моделей, що передбачають проведення конференцій, проектні роботи, тренінги та інші види діяльності за комп'ютерними та нетрадиційними технологіями.

Технологія дистанційного навчання – сукупність методів і засобів навчання та управління, що забезпечують проведення навчального процесу на відстані на основі використання сучасних інформаційних та телекомунікаційних технологій.

Отже, дистанційна форма навчання може бути реалізована шляхом використання технологій дистанційного навчання для забезпечення освітнього процесу щодо підвищення кваліфікації.

Дистанційне навчання дає змогу впроваджувати інтерактивні технології викладання матеріалу, здобувати повноцінну вищу освіту або підвищувати кваліфікацію і має такі переваги, як гнучкість, актуальність, зручність, модульність, економічна ефективність, інтерактивність [6].

Переваги дистанційної форми підвищення кваліфікації очевидні:

перша перевага – можливість віддаленого проходження навчання;

друга – можливість проходити навчання самостійно;

третья – можливість персоніфікованого навчання (адаптації траєкторії навчання під кожного слухача);

четверта – віддалена взаємодія учасників навчання;

п'ята – широке використання інформаційних технологій;

шоста – розширений доступ до додаткової інформації;

сьома – мобільний доступ до навчання;

восьма – великий діапазон показників результатів навчання [7].

В Україні близько 30 % навчальних закладів заявили про те, що вже мають або планують організувати навчання в режимі дистанційної освіти.

Відповідно до оперативної цілі 5.2 Стратегічного оборонного бюлетеня України, затвердженого Указом Президента України від 06 червня 2016 року № 240/2016, передбачено впровадження технологій дистанційного навчання в освітній процес з метою удосконалення системи військової освіти та підготовки кадрів.



На цей час у Збройних Силах України завершується впровадження дистанційного навчання в освітній процес з урахуванням напрацювань та здобутків, отриманих вищими військовими навчальними закладами та військовими навчальними підрозділами вищих навчальних закладів протягом останніх років.

Зокрема, наказом Міністерства оборони України від 21.12.2015 № 744 затверджено Концепцію дистанційного навчання. Для її реалізації на базі Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського створено Науковий центр дистанційного навчання, який визначено головним підрозділом дистанційного навчання Збройних Сил України [4].

Використання технологій дистанційного навчання для забезпечення освітнього процесу, а також перепідготовка, підвищення кваліфікації кадрів за дистанційною формою навчання здійснюються за ліцензованими напрямками підготовки і не потребують погодження з Міністерством освіти і науки України.

Разом з тим, необхідно забезпечити відповідність вищих військових навчальних закладів вимогам до організаційного, кадрового, науково-методичного, матеріально-технічного, програмного та інформаційного забезпечення дистанційного навчання.

Зокрема, для цього необхідно мати науково-педагогічних працівників, які забезпечують освітній процес дистанційного навчання, та мають підготовку з питань організації та використання відповідних технологій.

Так, на курсах підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників вищих військових навчальних закладів та військових навчальних підрозділів закладів вищої освіти з питань організації та використання технологій дистанційного навчання в Збройних Силах України, які з 2017 року запроваджено у Національному університеті оборони імені Івана Черняхівського, підготовлено 42 науково-педагогічних працівника.

Разом з тим, за підтримки Міністерства оборони Королівства Норвегії та Інституту Джефферсона (США) з 18 по 21 червня 2018 року представники Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського взяли участь у першому етапі Курсу з розробки електронних ресурсів дистанційного навчання.

До проведення заходу були залучені представники Наукового центру дистанційного

навчання, Навчально-наукового центру іноземних мов університету, а також фахівці з дистанційного навчання Міністерства оборони Грузії та Центру дистанційного навчання Академії оборони Королівства Норвегії.

Під час тренінгу проводились практичні заняття щодо розробки та створення інтерактивних курсів з використанням спеціального програмного забезпечення на платформі Дистанційного навчання Збройних Сил України.

Другий – завершальний етап тренінгу відбудеться восени 2018 року в Тбілісі, Грузія [5].

У 2018 році у вигляді пілотних проектів, пов'язаних із тестуванням вступників та аналізом вад і переваг самої системи в Національному університеті оборони України імені Івана Черняхівського запроваджено дистанційне тестування, надсилання та перевірка контрольних робіт, надання доступу до електронних бібліотек.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, впровадження технологій дистанційного навчання у систему підвищення кваліфікації офіцерського складу Збройних Сил України надасть можливість оновлення змісту навчання, методів викладання дисциплін, розширення доступу до навчальних ресурсів, реалізації можливості навчання без обмежень за простором та часом без відриву від повсякденної діяльності військ та виконання професійних обов'язків.

Підвищення кваліфікації за дистанційною формою навчання, як і безперервна освіта в цілому, постають перед нами як перспективний і специфічний напрямок у сфері професійної підготовки та підвищення кваліфікації осіб офіцерського складу Збройних Сил України, що забезпечить підвищення кваліфікації офіцерів відповідно до існуючої потреби.

Подальші дослідження щодо впровадження технологій дистанційного форми потребують розробки відповідного методичного апарату оцінювання ефективності функціонування системи підвищення кваліфікації офіцерського складу Збройних Сил України на основі дистанційного навчання.

Подальший розвиток дистанційного навчання приведе до необхідності створення у Збройних Силах України закритих комунікаційних мереж, що дасть змогу використовувати інформацію з обмеженим доступом.

### Література

**1. Наказ** Міністерства оборони України від 04.04.2017 № 202 “Про організацію та проведення підвищення кваліфікації військовослужбовців, працівників Збройних Сил України та державних службовців Міністерства оборони України та Збройних Сил України” (із змінами). **2. Указ** Президента України від 10 грудня 2008 року № 1153/2008 “Про Положення про проходження громадянами України військової служби у Збройних Силах України” (із змінами). **3. Биков В. Ю.**

Дистанційне навчання в країнах Європи та США і перспективи для України / В. Ю. Биков // Інформаційне забезпечення навчально-виховного процесу: інноваційні засоби і технології : кол. монографія / В. Ю. Биков, О. О. Гриценчук, Ю. О. Жук та ін. / Академія педагогічних наук України, Інститут засобів навчання. - К. : Атіка, 2015. - С. 77-140. **4. Організація** та використання технологій дистанційного навчання у Збройних Силах України : навч.-метод. посіб. / колектив

авторів ; за заг. ред. М. Салкуцана. - К. : НУОУ, 2017. - 124 с. 5. **Ткачук Р.** У Національному університеті оборони України вже запроваджено перший етап дистанційного навчання [Електронний ресурс] / Руслан Ткачук // Народна Армія. – 2018. – Випуск 24. – Режим доступу : [http://www.na.mil.gov.ua/files/pdf/5556-\(14-06-2018\).pdf](http://www.na.mil.gov.ua/files/pdf/5556-(14-06-2018).pdf). 6. **Організація** дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та

електронних тестів : навч. посібн. / В. В. Вишнівський, М. П. Гніденко, Г. І. Гайдур, О. О. Ільїн. - К. : ДУТ, 2014. - 140 с. 7. **Клокар Н.** Методологічні основи запровадження дистанційного навчання в системі підвищення кваліфікації / Н. Клокар // Шлях освіти. - 2012.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ОФИЦЕРСКОГО СОСТАВА ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

*Олег Викторович Шевченко*

*Юрий Аркадьевич Гусак (докт. воен. наук)*

*Григорий Митрофанович Тихонов (канд. воен. наук)*

*Главное управление персонала Генерального штаба Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина  
Военно-научное управление Генерального штаба Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина  
Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье изучается опыт внедрения дистанционных форм обучения в подготовку офицерских кадров, как в ведущих странах – членах НАТО, так и отечественный опыт. Предлагается внедрение дистанционной формы обучения в систему повышения квалификации лиц офицерского состава Вооруженных Сил Украины. Преимуществами дистанционного обучения авторами считаются возможность его удаленного прохождения, самостоятельность, персонализацию, применение современных информационных технологий для организации взаимодействия слушателей, расширенный доступ к дополнительной информации, мобильность, высокое количество показателей для оценки результатов.*

*Ключевые слова:* повышение квалификации, дистанционное обучение, технология дистанционного обучения, дистанционная форма повышения квалификации.

## ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF INTRODUCING DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES IN THE SYSTEM OF ADVANCED TRAINING OF OFFICERS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

*Oleg V. Shevchenko,*

*Yuriy A. Gusak (Doctor of Military Sciences),*

*Grigoriy M. Tikhonov (Candidate of Military Sciences)*

*The Main Department of Personnel of the General Staff of the Ukrainian Armed Forces, Kyiv, Ukraine  
Military-scientific Department of the General Staff of the Ukrainian Armed Forces, Kyiv, Ukraine  
National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The article studies the experience of implementing distance learning forms in the training of officer personnel, both in leading NATO member countries and domestic experience. The introduction of distance learning into the system of advanced training of officers of the Ukrainian Armed Forces. The authors highlight the advantages of distance learning, such as the possibility of a remote pass, independence, personalization, application of modern information technology for the organization of officers' interaction, improved access to the additional information, mobility, and a vast number of indicators to assess the results.*

*Key words:* advanced training, distance learning, distance learning technology, distance learning form.

### References

1. **Order** Ministry of Defense of Ukraine from 04.04.2017 number 202 "On the organization and training of military personnel, members of the Ukrainian Armed Forces and officials of the Ministry of Defense of Ukraine and the Ukrainian Armed Forces". 2. **Decree** of the President of Ukraine of December 10, 2008 number 1153/2008 "On Regulations of the citizens of Ukraine military service in the Ukrainian Armed Forces". 3. **Bikov V.Y.** Distance Learning in Europe and the US and the prospects for Ukraine / V.Y. Bikov // Information support of the educational process: innovative tools and technologies, col. monograph / V.Y. Bykov, A.A. Hrytsenchuk, Y.O. Beetle and others. / Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine, Institute training facilities. - K: Atika, 2015. - P. 77-140.

4. **Organization** and use of distance learning technologies in the Ukrainian Armed Forces: Teach method. guidances. / Group of authors; by the Society. Ed. M. Salkutsan. - K: NDUU, 2017. - 124 p. 5. **R. Tkachuk** at the National Defense University of Ukraine has implemented the first phase of distance education [electronic resource] / Ruslan Tkachuk // People's Army. - 2018. - Issue 24 - Access: [http://www.na.mil.gov.ua/files/pdf/5556-\(14-06-2018\).pdf](http://www.na.mil.gov.ua/files/pdf/5556-(14-06-2018).pdf). 6. **Organization** of distance learning. Creation of e-learning courses and electronic test, teach. posibn. / V.V. Vyshnivskiy, M.P. Gnidenko, G.I. Haydur, A.A. Ilyin. - K., DUT, 2014. - 140 p. 7. **Klokar N.** methodological foundations introduction of distance learning in-service training / N. Klokar / through education. - 2012.

## Шановні колеги!

Запрошуємо до участі в науковому журналі

“Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”,

Видавець: Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського

Наказом Міністерства освіти і науки України

від 29 грудня 2014 р. №1528 журнал включено до Переліку наукових фахових видань України в галузях “технічні науки” та “військові науки”

Наклад – 100 примірників, відкрите видання.

### На сторінках журналу розглядаються такі питання:

1. Теоретичні основи та інструментальні засоби створення і використання інформаційних технологій у сфері безпеки та оборони.

2. Критерії оцінювання і методи забезпечення якості, надійності, живучості інформаційних технологій і систем.

3. Принципи оптимізації, моделі та методи прийняття рішень при створенні автоматизованих систем різноманітного призначення у сфері безпеки і оборони.

4. Дослідження закономірностей побудови інформаційних комунікацій та розроблення теоретичних засад побудови і впровадження інтелектуальних інформаційних технологій для створення новітніх систем накопичування, переробки, збереження інформації та систем управління у сфері безпеки та оборони.

5. Інтерактивні моделі розвитку науково-освітнього простору у сфері безпеки та оборони.

6. Збереження, розвиток і трансформація культурно-мовної спадщини в інтерактивному дискурсі у контексті інформаційної безпеки держави.

7. Глобалізація, полілогічність та інтерактивність як філософське підґрунтя розвитку інформаційних технологій у сфері безпеки та оборони.

8. Інтелектуальні освітні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Проблеми сумісності і взаємодії технологій навчання.

9. Сучасні підходи до проектування розподілених інтелектуальних систем для освіти і науки.

10. Військово-теоретичні проблеми.

### Схема оформлення статей

**УДК** (*Arial*, кегль – 11 пт.)

<sup>1</sup> **Анатолій Анатолійович Іванов** (*д-р техн. наук, професор*)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

<sup>2</sup> **Іван Іванович Петров** (*канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри*)

← (кегль – 11 та 8 пт.)

<sup>1</sup> **Університет..., Київ, Україна**

← 1 пустий рядок – 6 пт.

<sup>2</sup> **Інститут..., Київ, Україна**

← (кегль – 11 пт.)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

**НАЗВА СТАТТІ** (*Arial*, кегль – 14 пт.; накреслення – “напівжирне”, по правому краю)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

Текст анотації мовою тексту статті (в даному випадку – українською). Зміст анотації має стисло і достатньо інформативно підсумовувати основні ідеї та отримані результати дослідження. Розмір анотації повинен становити 100–250 слів. Зверніть увагу на те, що дані про авторів, назва, ключові слова та анотація будуть використані як метадані для опису Вашої статті, тому вони повинні максимально чітко описувати її зміст. Для більш якісного пошуку даного контенту в мережі, будь ласка, уникайте занадто узагальнених та складних формулювань, використовуйте тільки загальновідомі аббревіатури.

**Ключові слова:** поняття1; поняття 2; поняття3. (кегль – 10 пт.)

### Вимоги до набору

**Формат аркуша:** А4 (21 × 29,7 см).

**Параметри сторінки** (відступи від краю): зліва – 3 см.; справа – 2 см.; зверху – 2 см.; знизу – 2 см.

**Шрифт статті** – *Times New Roman*; накреслення – пряме; кегль – 10 пт.; міжрядковий інтервал – одинарний.

**Текст статті** розташовується у два стовпчики однакової ширини – 7,75 см.; відстань між стовпчиками – 0,5 см.; відступ першого рядка абзацу – 0,5 см.; вирівнювання – за шириною.

**Підзаголовок** – кегль – 12 пт.; накреслення – напівжирне; відступів немає; вирівнювання – центроване.

Не використовуйте для форматування тексту пропуски, табуляцію тощо. Не встановлюйте ручне перенесення слів, не використовуйте колонітидули. Між значенням величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (*Ctrl* + *Shift* + *пробіл*).

**УВАГА! Остання сторінка статті заповнюється не менш, ніж на 3/4.**

**Набір формул:** редактор формул *MS Equation*.

**Забороняється** використовувати для набору формул графічні об'єкти, кадри й таблиці.

В меню “*Размер* → *Определить*” ввести такі розміри:

Обычный – 10 пт.; Крупный индекс – 8 пт.;

Мелкий индекс – 7 пт.; Крупный символ – 15 пт.;

Мелкий символ – 9 пт.

Стиль формул – “прямий”, тобто в меню “*Стиль* → *Определить*” поля “Формат символів” – пусті.

Табличний заголовок (10 пт.) – **обов’язковий**.

Рисунки **обов’язково** супроводжуються центрованими підписаними підписами (кегль – 10).

**Не допускаються** кольорові та фонові рисунки.

Допускається розташування великих рисунків, формул та таблиць в одну колонку (до 16 см.).

Список літератури виділяється підзаголовком “*Література*” та оформлюється згідно з міждержавним стандартом ДСТУ 8302:2015” (кегль – 9 пт.).

## Структура рукопису

Відповідно до постанови ВАК України від 15.01.2003 № 7-05/1 текст статті повинен мати таку структуру: **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; **аналіз останніх досліджень і публікацій**, на які спирається автор; **формулювання мети статті** (постановка завдання); **виклад основного матеріалу** дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Текст статті розбивається на відповідні розділи з підзаголовками, які виділені напівжирним шрифтом.

Робочі мови – українська, російська, англійська.

На останньому аркуші статті після списку літератури наводяться: назва статті, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання автора (співавторів), назва організації, у якій працює автор (співавтори), анотація та ключові слова українською, російською та англійською мовами (крім основної мови статті) за нижченаведеним зразком (10 кегль (8 для наукового ступеня, звання, посади), міжрядковий інтервал – 1,0, вирівнювання – по центру). Обсяг анотації – 100-250 слів, англійською – 150-250 слів.

## НАЗВАННЯ СТАТТІ

<sup>1</sup>*Анатолій Анатолієвич Іванов (д-р техн. наук, професор)*  
<sup>2</sup>*Іван Іванович Петров (канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри)*

<sup>1</sup>*Університет..., Київ, Україна*  
<sup>2</sup>*Інститут..., Київ, Україна*

*Перевод текста аннотации и ключевых слов*

## ARTICLE TITLE

<sup>1</sup>*Anatolii A. Ivanov (Doctor of Technical Sciences, Professor)*  
<sup>2</sup>*Ivan I. Petrov (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

<sup>1</sup>*University..., Kyiv, Ukraine*  
<sup>2</sup>*Institute..., Kyiv, Ukraine*

*Translation of the abstract and keywords*

Після цього наводиться список літератури англійською мовою за зразком (9 кегль):

## References

**1. Pukhov G.E.** (1990). Differential spectrums and models. [Dyferentsiini spektry ta modeli], Kyiv, Naukova Dumka, 184 p. **2. Mikheenko L.A., Nechiporuk S.A.** (2011). Energy model of digital camcorder. [Enerhetychna model tsyfrovoy videokamery], Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, No. 1, pp. 150–157. **3. Voskresenskaya E.V.** (2003). Legal regulation of valuation activities: dissertation. [Pravovoe regulirovanie otsenochnoi deyatel'nosti: dis. kand. yurid. nauk]. St. Petersburg, 187 p. **4. Bezrodnaya V.F.** (2004). Features of

civil society development in the process of politicalmodernization of Ukraine: Author's thesis. [Osobennosti formirovaniya grazhdanskogo obshchestva v protsesse politicheskoi modernizatsii Ukrainy: avtoref. dis. kand. polit. nauk], Odessa, 16 p. **5. Serdyuk T.V.**, Self-regulation in Ukraine: advantages and disadvantages in the current economic conditions. [Samoregulirovanie v Ukraine: preimushchestva i nedostatki v sovremennykh ekonomicheskikh usloviyakh], available at: <http://economy.kpi.ua/ru/node/343>.

*A.A. Ivanov: iv@u.ua I.I. Petrov: petr@u.ua*

**Корисні посилання для здійснення транслітерації:**

<http://translit.kh.ua/?passport> – автоматична транслітерація з української мови  
<http://translate.meta.ua/ua/translit/> – автоматична транслітерація з російської мови

Після цього наводяться відомості про рецензента та контактна інформація авторів.

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор О. Ю. Пермяков, професор кафедри зв'язку та АСУ, Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ.

**Автор: Анатолій Анатолійович Іванов**  
Роб. тел. – 333-33-33, дом. тел. – 777-77-77, E-mail – [kim@ic.ua](mailto:kim@ic.ua).

## Подання матеріалів

Обсяг рукопису – від 3 до 10 аркушів українською, російською або англійською мовами.

Для публікації необхідно представити статтю у електронній формі з роздрукованим екземпляром, підписаним всіма авторами статті.

Комп'ютерна верстка: *О.В. Войтко*

Оформлення обкладинки: *О.В. Войтко*

Рукопис супроводжується **експертним висновком, рецензією доктора наук (професора), витягом з протоколу засідання кафедри (відділу).**

Подані матеріали автору не повертаються.

Матеріали просимо подавати до інституту інформаційних технологій Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського за адресою: 03049, м. Київ, Повітрофлотський пр., 28, тел.: (044) 271-07-31, Войтку Олександр Володимировичу, каб. 2/309, тел.: 098-2734862, e-mail: [sitnuou@ukr.net](mailto:sitnuou@ukr.net).

З питань оплати звертатись до редакції.

Редколегія залишає за собою право відмови у публікації статей, що не відповідають проблематиці журналу й умовам оформлення матеріалів.