

# СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 2(23)  
2015

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

телефон: (044)-271-09-44, (066)-713-20-22  
факс: (044)-271-09-44

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 27 серпня 2015 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.

Журнал представлений у базах даних:  
Bielefeld Academic Search Engine, Research Bible, WorldCat.

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

## В номері:

### Теоретичні основи створення і використання інформаційних технологій

- Биченков В.В.** Етапи прогнозування поведінки складної інерційної системи з використанням розробленої моделі системи..... 5
- Богданович В.Ю., Висідалко А.Л., Косоков О.М.** Шляхи удосконалення методичних основ та інструментальних засобів підтримки процесів прийняття рішень в системі забезпечення національної безпеки..... 12
- Бухал Д.А.** Визначення дальності зони радіоелектронної розвідки противника з врахуванням потужності випромінювання радіостанцій системи радіозв'язку окремої механізованої бригади..... 21
- Волобуєв А.П.** Тензор доступності радіостанцій для енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника..... 25
- Волошко С.В., Слюсарь І.І., Москаленко А.О., Ромашико І.В.** Застосування технологій цифрової обробки сигналів для створення перспективних систем супутникового зв'язку..... 34
- Генов Б.А., Анорейко Я.Т., Чернобириченко О.М., Резнік Д.В., Ердяков В.Г.** Показник ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ та військ протиповітряної оборони сухопутних військ..... 38
- Даник Ю.Г., Писарчук О.О., Тимчук С.В.** Математичне забезпечення автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу..... 44
- Знатдинов Ю.К., Воронин А.Н., Пермяков А.Ю., Варламов И.Д.** Определение парето-оптимальной области массово-траекторных параметров трансформерной авиационной системы..... 54
- Коцюруба В.І.** Моделирование процесса поиска та виявлення вибухонебезпечних предметів радіолокаційним методом..... 65
- Кучеров Д.П., Козуб А.Н.** Оценка пропускной способности группы беспилотных летательных аппаратов при выполнении задачи мониторинга..... 70
- Ланецкий Б.Н., Кобзев В.В., Артеменко А.А.** Метод обработки результатов испытаний радиоэлектронных средств зенитных ракетных комплексов, эксплуатируемых по техническому состоянию, по показателю безотказности “вероятность безотказного включения”..... 75
- Лебідь Є.В., Кононенко С.М., Судніков Є.О., Єфімова Р.Г.** Метод оцінки показників якості системи фазової автопідстроїки частоти..... 81
- Міренко В.І., Пустовий С.О., Яблонський П.М., Авраменко О.В.** Порівняння ефективності технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, що експлуатуються за технічним станом, для моделей дифузійно-монотонного і дифузійно-немонотонного розподілу відмов..... 88
- Москаленко А.О., Волошко С.В., Слюсарь І.І., Рубцов І.Ю.** Перешкодостійкість сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль..... 94
- Опенько П.В., Дранник П.А., Кобзев В.В., Зубрицький Г.М.** Оцінка адекватності ведення бойових дій у групуванням зенітних ракетних військ..... 99
- Присяжнюк М.М., Шимчук О.С.** Інтернет як нове середовище суєтивного маніпулятивного впливу..... 104
- Слюсар В.І., Зінченко А.О., Зінченко К.А.** Система мобільного зв'язку стандарту GSM для потреб радіолокаційного контролю повітряного простору..... 108
- Чумаченко С.М., Данилюк С.Л.** Метод імітаційного моделювання процесу спостереження Вольтерівських систем у зоні ведення бойових дій як елемент нової інформаційної технології адаптивного екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища..... 115
- Інтерактивні моделі розвитку науково-освітнього простору у сфері безпеки та оборони**
- Козубов І.М.** Інформаційна модель підготовки аспіранта з методологічною компетентністю у системі вищої військової освіти..... 120
- Савченко В.А.** Політика “Принеси свій прилад” та Wi-Fi технологія для військового навчального закладу..... 124
- Чона Д.А., Деревянчук А.Й., Москаленко Д.Р.** Основні принципи створення спрощених електронних симуляторів артилерійських комплексів..... 131
- Сучасні військово-теоретичні проблеми**
- Бобильов В.Є.** Управління військами на основі зворотного зв'язку..... 136
- Інтерактивний дискурс у контексті інформаційної безпеки держави**
- Бочаров М.М., Войтко О.В., Тищенко М.Г.** Завдання захисту загальновійськових підрозділів від негативного інформаційно-психологічного впливу в ході антитерористичної операції..... 139
- Волощина Н.М., Череватий С.В.** Інформаційний вплив на громадську думку українського суспільства..... 144

---

## **Редакційна колегія**

### ***Головний редактор***

полковник *Пермяков Олександр Юрійович*,  
доктор технічних наук, професор

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

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

### ***Члени редколегії:***

*Бутвін Борис Леонідович*,  
доктор технічних наук, професор

*Гавлічек Пьотр*,  
доцент

*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

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

*Потій Олександр Володимирович*,  
доктор технічних наук, професор

*Пресналл Аарон*,  
доктор філософії

*Репіло Юрій Євгенович*,  
доктор військових наук, професор

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

*Романченко Ігор Сергійович*,  
доктор військових наук, професор

полковник *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

*Флурі Філіпп*,  
доктор філософії

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

*Шемаєв Володимир Миколайович*,  
доктор військових наук, професор

*Шиміч Горан*,  
доктор філософії

### ***Відповідальний секретар***

майор *Тищенко Максим Георгійович*,  
кандидат технічних наук

# MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE SPHERE OF SECURITY AND DEFENCE

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 2(23)  
2015

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  
Telephone: (044)-271-09-44, (066)-713-20-22  
Fax: (044)-271-09-44

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

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, 27 August 2015)*

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.*

The journal is presented in the databases:  
*Bielefeld Academic Search Engine, Research Bible, WorldCat.*

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

## Contents:

### *Theoretical Foundations of Information Technologies Creation and Use*

<i>Bychenkov V.V.</i> Prediction stages of the difficult inertia system behavior with the use of the developed system model .....	5
<i>Bohdanovych V.V., Vysidalko A.L., Kosohov O.M.</i> The ways of improving methodical basis and instrumental tools of decision making processes support within the national security system.....	12
<i>Bukhal D.A.</i> Determination of an enemy radio reconnaissance's range taking into account a radio stations radiant power of an armoured brigade's communication system.....	21
<i>Volobuiev A.P.</i> The radio station accessibility tensor for energy detection by enemy radio intelligence means.....	25
<i>Voloshko S.V., Sliusar I.I., Moskalenko A.O., Romashko I.V.</i> The use of the digital signals processing technology for advanced satellite communications systems development .....	34
<i>Henov B.A., Andreiko Y.T., Chernobrychenko O.M., Riezniak D.V., Erdiakov V.H.</i> Antiaircraft missile troops and land forces air defense troops tactical and fire units cooperation effectiveness indicator.....	38
<i>Danyk Y.H., Pysarchuk O.O., Tymchuk S.V.</i> Mathematical support of the information collection and processing automated system from the monitoring equipment.....	44
<i>Ziatdinov Y.K., Voronin A.M., Permiakov O.Y., Varlamov I.D.</i> Pareto-optimal region of mass-trajectory parameters of transformer aviation system .....	54
<i>Kotsiuruba V.I.</i> Modeling explosive ordnance search and detection procedures by radar techniques .....	65
<i>Kuchеров D.P., Kozub A.M.</i> Air drones group capacity estimation during monitoring mission.....	70
<i>Lanetskiy B.N., Kobzlev V.V., Artemenko A.A.</i> The test data processing technique of the antiaircraft missile systems radio electronic means that are exploited by the technical conditions, with the “failsafe switching probability” safety indicator.....	75
<i>Lebid Y.V., Kononenko S.M., Sudnikov Y.O., Yefimova R.H.</i> The quality indexes estimation method of the phase-locked loop system .....	81
<i>Mirnenko V.I., Pustovyi S.O., Yablonskiy P.M., Avramenko O.V.</i> Comparison of aerotechnics devise maintenance efficiency which are exploited with the technical condition for diffusion-monotonic and diffusion-nonmonotonic failure distribution models.....	88
<i>Moskalenko A.O., Voloshko S.V., Sliusar I.I., Rubcov I.Y.</i> The signals immunity of the improved modulation by cyclic shift with adaptation to information transfer rate in multimode propagation environment .....	94
<i>Openko P.V., Drannyk P.A., Kobzlev V.V., Zubrytskiy H.M.</i> The warfare self-supportability assessment by an antiaircraft missile troops grouping.....	99
<i>Prystazhniuk M.M., Shymchuk O.S.</i> The Internet as the new environment of the suggestive manipulative influence.....	104
<i>Sliusar V.I., Zinchenko A.O., Zinchenko K.A.</i> The GSM standard mobile telecommunication system for airspace radar control needs .....	108
<i>Chumachenko S.M., Danyliuk S.L.</i> The simulation method of the Voltaire systems observation process in a conducting operations zone as the adaptable ecological monitoring new informational technology element of the environment condition .....	115

### *Interactive Models of Scientific Educational Environment Development in the Sphere of Security and Defence*

<i>Kozubtsov I.M.</i> The information model of postgraduate student with methodological competence preparation in the higher military education system	120
<i>Savchenko V.A.</i> Bring Your Own Device policy and Wi-Fi technology for military organization .....	121
<i>Chopa D.A., Derevianchuk A.Y., Moskalenko D.R.</i> The basic principles of a simplified electronic simulators of an artillery systems development .....	131

### *Modern Military Theoretical Problems*

<i>Bobylov V.Y.</i> Troops management based on feedback.....	136
--	-----

### *Interactive Discourse in the State's Information Security Context*

<i>Bocharov M.M., Voitko O.V., Tyshchenko M.H.</i> The combined arms units protection task from the negative information and psychological warfare during the anti terrorist operation .....	139
<i>Voloshyna N.M., Cherevatyi S.V.</i> Information influence on Ukrainian society public opinion .....	144

---

## **Editorial Board**

### ***Chief Editor***

colonel *Permiakov Oleksandr Yuriiovych*,  
doctor of technical sciences, professor

### ***Deputy Chief Editor***

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

### ***Editorial Board members:***

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

*Gawliczek Piotr*,  
associate 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

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

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

*Presnall Aaron*,  
doctor of philosophy

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

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

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

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

*Riabtsev Viacheslav Vitaliiovych*,  
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

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

*Fluri Philip*,  
doctor of philosophy

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

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

*Shimic Goran*,  
doctor of philosophy

### ***Executive Secretary***

major *Tyshchenko Maksym Heorhiovych*,  
candidate of technical sciences

Василь Васильович Биченков (канд. техн. наук, с.н.с.)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ЕТАПИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ СКЛАДНОЇ ІНЕРЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ РОЗРОБЛЕНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ

В статті розглядається питання прогнозування складних інерційних систем з використанням моделей складних систем. Вказується, що вхідні дані моделі поділяються на три групи: група аргументів, значення яких визначаються дослідником, група аргументів, значення яких відстежуються дослідником, але на які дослідник впливу не має, група аргументів, які дослідником не враховані в ході вироблення прогнозу. Вихідними даними моделі є - реакція складної інерційної системи на вплив аргументів в минулому. Знаючи історію впливу зовнішніх факторів на систему та реакцію системи на впливи – є можливість розробити модель функціонування складної інерційної системи. В статті запропонований алгоритм розроблення та використання моделі для прогнозування поведінки складної інерційної системи. Зазначено, що алгоритм складається з трьох етапів: розроблення варіантів моделі складної системи; перевірка варіантів моделі складної системи на ефективність функціонування; використання моделі складної інерційної системи під час прогнозування. Застосування алгоритму розроблення та використання моделі для прогнозування поведінки складної інерційної системи дозволить формувати моделі, які будуть відповідати вимогам достатньої точності проведених розрахунків та адекватності протікання відтворюваних процесів в моделі процесам, які існують в складній інерційній системі.

**Ключові слова:** складна інерційна система; регресійна модель; ефективність прогнозування поведінки складної інерційної системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним з актуальних напрямів діяльності керівника (особи яка приймає рішення (ОПР)) – є ефективне управління складною системою в умовах впливу зовнішніх факторів. Доволі часто під ефективним управлінням розуміється варіант впливу на складну систему, яка приводить до бажаного результату. Одним з можливих варіантів прогнозування поведінки складної системи є розроблення моделі складної системи, яка в результаті отримання необхідних даних здатна спрогнозувати поведінку складної системи з певною точністю.

Розроблення моделі складної системи призводить до певних труднощів. Цими труднощами є, як правило, недостатня обізнаність дослідника в тонкощах процесів, які протікають в системі та навколо неї, не завжди відома інформація про взаємний вплив процесів один на один і т.ін., тому складна система, яка будується дослідником виходячи з власного досвіду функціонує з певними обмеженнями і недостатньою точністю для прийняття рішення керівником.

Одним з можливих варіантів вирішення питання побудови адекватної моделі є використання індуктивних методів математичного моделювання, які в ході складання моделі складної системи керуються фактичними даними і позбавлені суб'єктивності дослідника.

Так, відомо, що за принципом отримання результату математичні методи можливо поділити на два класи: клас дедуктивних методів і клас індуктивних методів [1, 2]. Особливістю індуктивних математичних методів є те, що модель складної системи будується регресійним або кореляційним методами на основі таблиць даних, які містять знання про поведінку системи в минулому. В подальшому модель складної системи використовується для дослідження можливої поведінки складної системи в майбутньому. Алгоритм розроблення моделі на основі індуктивних методів математичного моделювання подана в статтях [3-6].

**Метою статті** є створення алгоритму розроблення та використання моделі під час проведення процесу прогнозування поведінки складної інерційної системи.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Алгоритм розроблення та використання моделі для прогнозування поведінки складної інерційної системи складається з трьох етапів:

розроблення варіанту моделі складної системи; перевірка варіанту моделі складної системи на ефективність функціонування;

використання моделі складної системи для проведення прогнозування.

Виходячи з даних, які містяться в базі даних стосовно цільової функції та аргументів, які відібрані дослідником для проведення роботи з

побудови моделі складної системи [7], проводиться операція з винайдення формульного виразу відповідності аргументів від цільової функції [2, 5, 8-10]. Загальний вигляд функціонування системи представлений на рис 1.

В ході прогнозування поведінки складної системи дослідником з використанням індуктивних методів математичного моделювання створюється модель складної системи. При побудові моделі використовуються відомі впливові, з точки зору особи яка приймає рішення, аргументи та відомі результати функціонування складної системи на вплив аргументів в минулому.

Це наступні дані: група аргументів, значення яких визначалися дослідником  $(x_{i,t})_{i=1,t=1}^{I,T-1}$  в минулому; група аргументів, значення яких відстежувалися дослідником, але на які дослідник впливу не мав  $(z_{j,t})_{j=1,t=1}^{J,T-1}$ , реакція складної системи на вплив аргументів в минулому  $(y_t)_{t=1}^{T-1}$ .

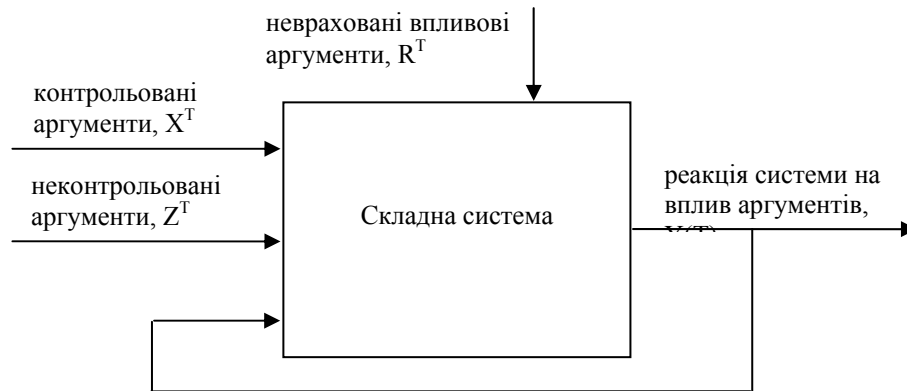


Рис.1. Загальний вигляд функціонування складної системи

де  $x_{.T} = X^T = \begin{bmatrix} x_{1,T} \\ \dots \\ x_{I,T} \end{bmatrix}$  – група аргументів ( $i=1..I$ ),

значення яких визначаються дослідником в T-ий момент часу;

$z_{.T} = Z^T = \begin{bmatrix} z_{1,T} \\ \dots \\ z_{J,T} \end{bmatrix}$  – група аргументів ( $j=1..J$ ), на

які дослідник не має впливу в T-ий момент часу;

$r_{.T} = R^T = \begin{bmatrix} r_{1,T} \\ \dots \\ r_{K,T} \end{bmatrix}$  – група аргументів ( $k=1..K$ ),

які дослідником не враховані в ході вироблення прогнозу в T-ий момент часу;

$Y(T)$  - реакція складної системи на вплив аргументів в T-ий момент часу.

Шляхом проведення регресійного аналізу отримується модель прогнозування поведінки складної системи. А саме, шляхом перетворень з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів [3-6] знаходяться коефіцієнти шуканого рівняння  $(c_n)_{n=1}^N$ , де  $n=1..N$  – кількість елементів рівняння моделі прогнозування поведінки складної системи.

Вигляд винайдення параметрів одного з рівнянь нелінійної множинної регресії в матричній формі подано в (1).

$$C = (XZ' \cdot XZ)^{-1} \cdot XZ' \cdot Y, \quad (1)$$

де  $C = (c_n)_{n=1}^N$  – коефіцієнти шуканого рівняння моделі прогнозування поведінки складної системи;

$XZ = (x_{z_{n,t}})_{n=1,t=1}^{N,T-1}$  – матриця значень незалежних змінних зі складу групи аргументів, значення яких визначалися дослідником  $(x_{i,t})_{i=1,t=1}^{I,T-1}$  в минулому, зі складу групи аргументів, значення яких відстежувалися дослідником, але на які дослідник впливу не мав

$(z_{j,t})_{j=1,t=1}^{J,T-1}$  та їхніх комбінацій (варіанти та кількість можливих комбінацій наведено в [4, 6];

$XZ'$  - транспонована матриця  $XZ$ ;

$(XZ' \cdot XZ)^{-1}$  – обернена квадратна матриця розмірності  $(N \cdot N)$ ;

$Y = (y_t)_{t=1}^{T-1}$  – реакція складної системи на вплив аргументів. В такому випадку прогноз поведінки складної інерційної системи на наступному кроці буде знаходитись за формульним виразом:

$$\hat{y}(t) = (XZ')^{-1} XZ \cdot XZ' \cdot C. \quad (2)$$

Після того, як сформовано модель прогнозування поведінки складної інерційної системи, є можливість перевірки її на ефективність функціонування (рис.2).

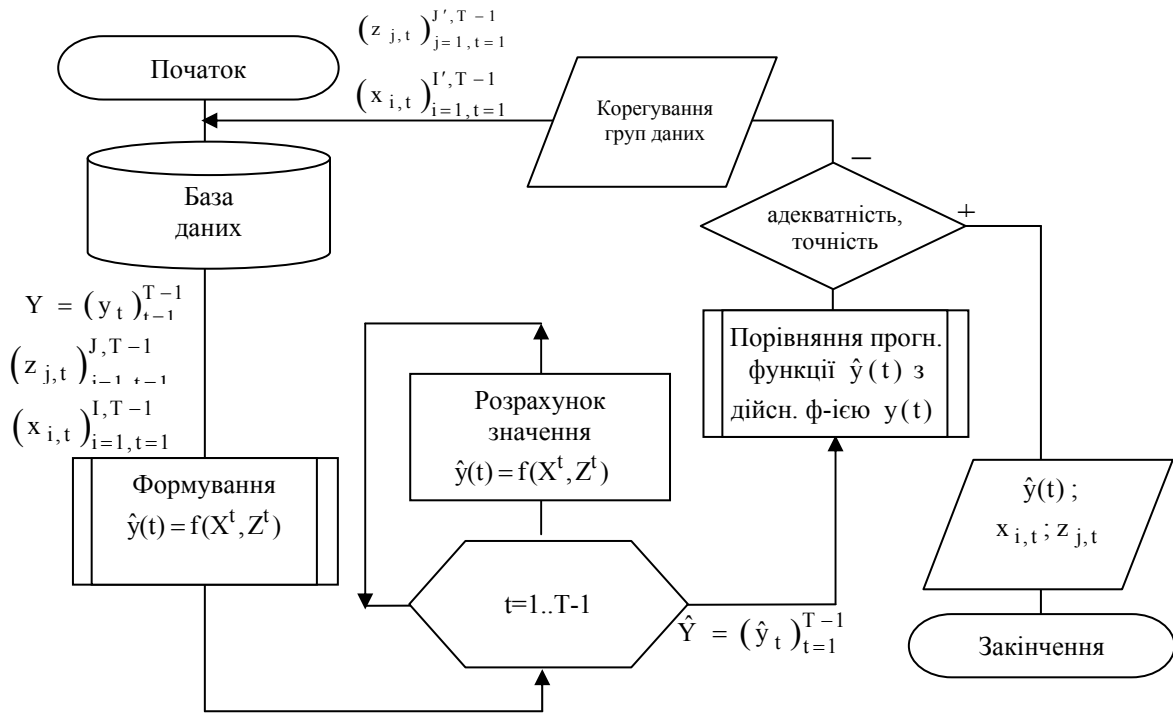


Рис. 2. Алгоритм оцінювання ефективності функціонування моделі прогнозування поведінки складної системи

де  $(x_{i,t})_{i=1,t=1}^{I,T-1}$  – група аргументів, значення яких визначалися дослідником в минулому;

$(z_{j,t})_{j=1,t=1}^{J,T-1}$  – група важливих аргументів, значення яких відстежувалися дослідником, але на які дослідник не мав впливу;

$(y_t)_{t=1}^{T-1}$  – реакція складної системи на вплив аргументів в минулому;

$\hat{y}(t) = f(X^t, Z^t)$  – загальний вигляд моделі прогнозування поведінки складної системи (див. (2)).

На сформованій моделі проводиться розрахунок значень, що характеризують поведінку складної системи  $\hat{y}(t)$ . Далі розраховані дані порівнюються з дійсними значеннями поведінки складної системи  $y(t)$  і проводиться їх оцінка на точність розрахунків і адекватність моделі складної системи, що побудована. Питання стосовно оцінювання точності розрахунків на моделі наведені в [5].

Стосовно оцінювання адекватності (відповідність характеру відпрацювання моделлю поведінки складної інерційної системи) необхідно зауважити, що перевірка моделі на адекватність проводиться шляхом аналізу розбіжностей  $\varepsilon(t)$  між розрахованими та дійсними значеннями поведінки складної системи (3).

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t). \quad (3)$$

Моделі вважається адекватною, якщо розбіжності [11]:

- є випадковими;
- розподілені за нормальним законом;

їх середнє значення дорівнює нулю  $\bar{\varepsilon} = 0$ ; розбіжності між собою незалежні.

Перевірка випадковості розбіжностей основана на доведенні факту відсутності тенденції між розбіжностями. Для цього використовується критерій серій. Після визначення медіани розбіжностей  $\bar{\varepsilon}_m$ , проводиться порівняння кожної розбіжності з медіаною і визначаються серії зі значень розбіжностей які менші або більші за визначену медіану. Таким чном визначається довжина максимальної серії  $L_{max}$  та їх кількість  $l$ . Розбіжності вважаються випадковими на рівні значимості 0,05, якщо виконуються умови (4) і (5).

$$L_{max} < 3,3 \cdot (\lg(T-1) + 1) \quad (4)$$

$$l > 0,5 \cdot (T-1,96 \cdot \sqrt{T-2}) \quad (5)$$

Розбіжності вважаються розподіленими за нормальним законом якщо виконуються умови (6) і (7).

$$|\bar{N}_a| < 1,5 \cdot \delta_a, \quad (6)$$

де  $\bar{N}_a$  – вибіркова характеристика асиметрії

$$\bar{N}_a = \frac{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^{T-1} \varepsilon(t)^3}{\sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^{T-1} \varepsilon(t)^2}};$$

$\delta_a$  – середньоквадратична помилка вибіркової

характеристики асиметрії:  $\delta_a = \sqrt{\frac{6 \cdot (T-3)}{T \cdot (T+2)}}$ .

$$\left| \bar{N}_e + \frac{6}{T} \right| < 1,5 \cdot \delta_e, \quad (7)$$

де  $\bar{N}_\epsilon$  – вибіркова характеристика ексцеса

$$\bar{N}_\epsilon = \frac{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^{T-1} \epsilon(t)^3}{\sqrt{\frac{1}{T-1} \sum_{t=1}^{T-1} \epsilon(t)^2}} - 3;$$

$\delta_\epsilon$  – середньоквадратична помилка вибіркової характеристики ексцеса:

$$\delta_\epsilon = \sqrt{\frac{24 \cdot (T-1) \cdot (T-3) \cdot (T-4)}{T^2 \cdot (T+2) \cdot (T+4)}}.$$

Перевірка середнього значення ряду розбіжностей  $\bar{\epsilon} = 0$  здійснюється з використанням критерію Стюдента. Середнє значення ряду розбіжностей не визнається рівним нулю при виконанні умови (8).

$$t_\epsilon = \frac{|\bar{\epsilon}| \cdot \sqrt{T-1}}{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{T-1} (\epsilon(t) - \bar{\epsilon})^2}{T}}} > t_{1-\alpha, T-2}, \quad (8)$$

де  $t_{1-\alpha, T-2}$  - значення критерію Стюдента. При цьому перший коефіцієнт визначає заданий рівень значимості, другий коефіцієнт – кількість ступенів свободи.

Незалежність ряду розбіжностей (відсутність автокореляції) перевіряється тестом Брешуа-Годфрі за оцінюванням значущості коефіцієнтів авторегресійного рівняння, який отриманий методом найменших квадратів. Наявність значущих коефіцієнтів в рівнянні говорить про наявність автокореляції між розбіжностями.

Після перевірки на адекватність та точність приймається рішення про відповідність моделі системі яка моделюється і приймається рішення про використання моделі для прогнозування поведінки складної інерційної системи в майбутньому. У разі негативної відповіді в ході перевірки моделі, приймається рішення про формування нової групи аргументів значення яких визначаються дослідником  $(x_{i,t})'_{i=1,t=1}^{I',T-1}$  та групи аргументів, значення яких відстежуються дослідником  $(z_{j,t})'_{j=1,t=1}^{J',T-1}$ .

Після отримання ефективної моделі складної інерційної системи, наступає етап її використання для проведення прогнозування (рис.3).

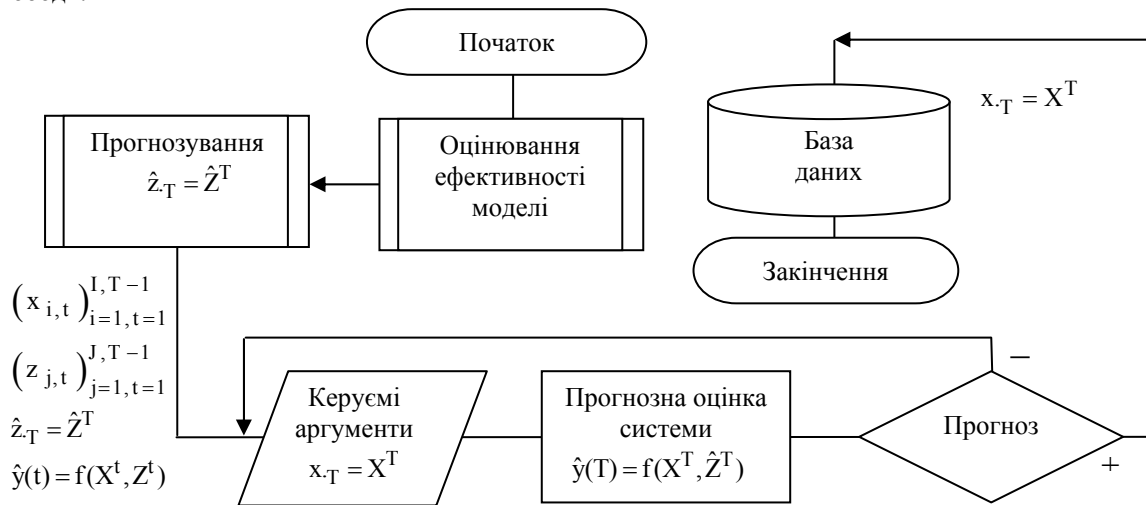


Рис. 3. Алгоритм прогнозування поведінки складної інерційної системи з використанням розробленої моделі

де  $x_T = X^T = \begin{bmatrix} x_{1,T} \\ \dots \\ x_{I,T} \end{bmatrix}$  – група аргументів в T-ий

момент часу, значення яких визначаються дослідником;

$\hat{z}_T = \hat{Z}^T = \begin{bmatrix} \hat{z}_{1,T} \\ \dots \\ \hat{z}_{J,T} \end{bmatrix}$  – група важливих аргументів

на які дослідник не має впливу, значення яких прогнозується на T-ий момент часу за допомогою модуля побудови автокореляційної функції;

$\hat{y}(T) = f(X^T, \hat{Z}^T)$  – прогнозування стану складної інерційної системи в результаті впливу аргументів в момент часу T.

Робота з моделлю прогнозування поведінки складної системи починається з введення початкових аргументів управління (впливу на систему з боку ОПР)  $x_T = X^T = \begin{bmatrix} x_{1,T} \\ \dots \\ x_{I,T} \end{bmatrix}$ . З іншого

боку автокореляційний модуль прогнозує поведінку набору факторів, на які дослідник не може вплинути, але вважає важливими для



функціонування складної інерційної системи:

$$\hat{z}_{j,T} = \hat{Z}^T = \begin{bmatrix} \hat{z}_{1,T} \\ \dots \\ \hat{z}_{j,T} \end{bmatrix}. \text{ Загальна формула винайдення}$$

прогнозного значення окремого впливового аргумента у вигляді рівняння другого порядку подана нижче (9).

$$\begin{aligned} \hat{z}_{j,T} = & A_0 + A_1 z_{j,1} + \dots + A_n z_{j,T-1} + A_{n+1} z_{j,1}^2 + \\ & + \dots + A_{n+T-1} z_{j,T-1}^2 + A_{n+T} z_{j,1} z_{j,2} + \\ & + \dots + A_{n+2(T-1)} z_{j,1} z_{j,T-1} + \dots + A_N z_{j,T-2} z_{j,T-1} \end{aligned}$$

Після введення в модель прогнозування поведінки складної системи значень аргументів управління на  $T$ -ий момент часу і завершення процесу прогнозування значень некерованих впливових аргументів, отриманий результат ефективності функціонування складної інерційної системи  $\hat{y}(T)$  оцінюється керівником для прийняття рішення стосовно його прийнятності в умовах функціонування, що склалися. В разі негативної оцінки прогнозу майбутнього стану системи, необхідно міняти значення аргументів управління до винайдення прийнятного результату.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Алгоритм розроблення та використання моделі для прогнозування поведінки складної інерційної

системи складається з трьох етапів: розроблення варіантів моделі складної системи; перевірка варіантів моделі складної системи на ефективність функціонування; використання моделі складної системи для проведення прогнозування.

Після розроблення варіантів моделей складних систем, з них обирається найефективніший за критеріями точності та адекватності. В разі незадовільного результату відтворення винайденою моделлю процесів, що протікають в складній інерційній системі, є можливість корегування процесу створення моделі за рахунок зміни складу групи аргументів, значення яких визначаються дослідником та групи аргументів, значення яких відстежуються дослідником.

Модель складної системи, яка розроблена з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів, дозволяє проводити процес прогнозування поведінки складної інерційної системи з високою точністю.

В наступній статті пропонується висвітлити питання процесу визначення значень показників групи важливих аргументів, на які дослідник не має впливу, значення яких має прогнозуватися з використанням модуля побудови автокореляційної функції.

### Література

**1. Биченков В. В.** Вибір математичного апарату для розроблення методики вирішення завдання оцінки ризиків досягнення визначених можливостей у залежності від рівня фінансування в системі оборонного планування / В. В. Биченков, Р. Г. Єфімова, А. С. Паламарчук // Труды університету № 114. – К., 2012. – С. 49–55. **2. Сбітнев А. І.** Алгоритм побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного алгоритму з обмеженою базою аргументів / А. І. Сбітнев, В. В. Биченков // Труды університету. – 2014. – № 124. – С. 198–204. **3. Быченков В. В.** Разработка комбинаторного метода с ограниченной базой аргументов для построения моделей сложных систем / В. В. Быченков // Современный научный вестник, ООО “Руснаучкнига”. – 2014. – № 45 (241). – С. 29–37. **4. Быченков В. В.** Разработка алгоритма перебора вариантов полиномов по показателю уникальности вариантов набора аргументов формульных выражений / В. В. Быченков // Уральский научный вестник, ТОО “Уралнаучкнига”, – 2014. – № 42 (121). – С. 120–130. **5. Биченков В. В.** Розроблення системи критеріїв селекції формульних виразів для алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів / В. В. Биченков, В. Ф. Заїка // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. № 3(31). – С. 44–49. **6. Биченков В. В.** Алгоритм оптимального перебору формульних виразів комбінаторних алгоритмів з

визначеною базою аргументів / Биченков В.В. // Труды університету. – 2014. – № 126. – С. 100–107. **7. Биченков В. В.** Технологія розроблення знанняорієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризиків та невизначеностей (етап “оброблення початкових даних”) / В. В. Биченков, Л. А. Заїка, Є. О. Судніков // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2013. – № 18. – С. 8–12. **8. Биченков В. В.** Оцінювання ефективності функціонування регресійної моделі, розробленої на основі алгоритму побудови моделі складної системи з використанням комбінаторного методу з обмеженою базою аргументів при побудові рівнянь першого ступеня / В. В. Биченков // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2015. – № 22. – С. 12–18. **9. Биченков В. В.** Оцінювання ефективності функціонування регресійної моделі складної системи при побудові рівнянь з різним характером залежностей / В. В. Биченков // Труды університету – 2015. – № 128 – С. 98–108. **10. Быченков В. В.** Оценка эффективности функционирования модели разработанной с использованием комбинаторного метода с ограниченной базой аргументов в зависимости от размера учебной выборки / В. В. Быченков // Современный научный вестник, ООО “Руснаучкнига”. – 2015. – № 5 (252). – С. 89–101. **11. Шанченко Н. И.** Лекции по эконометрике / Шанченко Н. И. – Ульяновск : УлГТУ, 2008. – 139 с.

## ЭТАПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ СЛОЖНОЙ ИНЕРЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ

Василий Васильевич Быченков (канд. техн. наук, с.н.с.)

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье рассматривается вопрос прогнозирования сложных инерционных систем с использованием моделей сложных систем. Указывается, что исходные данные модели делятся на три группы: группа аргументов, значения которых определяются исследователем, группа аргументов, значения которых наблюдаются исследователем, но исследователь на них влияния не имеет, группа аргументов, значения которых не учтены в ходе прогнозирования. Выходные данные системы это – реакция сложной системы на влияние аргументов. Зная историю воздействий внешних факторов на систему и реакцию системы на воздействия – есть возможность создания модели функционирования сложной инерционной системы. В статье предложен алгоритм создания и использования модели для прогнозирования поведения сложной инерционной системы. Отмечено, что алгоритм состоит из трех этапов: разработки вариантов модели сложной системы; проверки эффективности вариантов модели сложной системы; использования модели сложной инерционной системы во время прогнозирования. Использование алгоритма создания и использования модели для прогнозирования поведения сложной инерционной системы позволит формировать модели, которые будут отвечать требованиям достаточной точности проводимых расчетов и адекватности протекания отображенных процессов в модели процессам, которые существуют в сложной инерционной системе.

**Ключевые слова:** сложная инерционная система; регрессионная модель; эффективность прогнозирования поведения сложной инерционной системы.

## PREDICTION STAGES OF THE DIFFICULT INERTIA SYSTEM BEHAVIOR WITH THE USE OF THE DEVELOPED SYSTEM MODEL

Vasyl V. Bychenkov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The difficult inertia systems prediction question with the use of the difficult systems models is considered in the article. It is indicated, that the entrance model data consist of three groups: the arguments group when argument's values are determined by a researcher, the arguments group when argument's values are observed by a researcher, but researcher doesn't have an impact on this arguments, the arguments group when values are not taken into account during prediction. The system output data is –the difficult system reaction on epyarguments effect. From knowledge of the external factors effect on the system history and system response to epy effect - there is possibility of creating the difficult inertia system model. The model creation and use algorithm for prediction of the difficult inertia system behavior is offered in the article. It is marked, that the algorithm consists of the three stages: developing difficult system model variants; checking difficult system model variants efficiency; using difficult inertia system model during prediction. The use of the model creation and use algorithm for prediction of the difficult inertia system behavior will allow developing models, which will meet requirements of adequate calculations accuracy which are conducted and adequacy execution of the represented processes in the model to the processes which exist in the difficult inertia system.

**Keywords:** difficult inertia system; regressive model; prediction efficiency of the difficult inertia system behavior.

### References

1. Bychenkov V.V., Jefimova Y.H., Palamarchuk A.S. (2012), Choice of mathematical method for development of definite risks estimation task method of decision possibilities in dependence on the level of financing in the defensive planning system. [Vybir matematychnoho aparatu dlia rozroblennia metodyky vyryshennia zavdannia otsinky ryzykiv dosiahnennia vyznachenyykh mozhlyvostei u zalezhnosti vid rivnia finansuvannia v systemi oboronnoho planuvannia], Trudy universytetu, No. 114, pp. 49–55.
2. Sbitniev A.I., Bychenkov V.V. (2014), Algorithm of construction of the difficult system model with the use of combination algorithm with the limited arguments base. [Alhorytm pobudovy modeli skladnoi systemy z vykorystanniam kombinatornoho alhorytmu z обмеженоiu bazoiu arhumentiv], Trudy universytetu, No. 124, pp. 198–204.
3. Bychenkov V.V. (2014), Development of combined method with the limited base of arguments for models construction of the difficult systems. [Razrabotka kombinatornogo metoda s ogranichennoj bazoj argumentov dlja postroeniya modelej slozhnyh sistem], Sovremennyy nauchnyy vestnik, No. 241, pp. 29–37.
4. Bychenkov V.V. (2014), Development of algorithm of polynomials variants surplus on the index of uniqueness of arguments set variants of equations. [Razrabotka algoritma perebora variantov polinomov po pokazatelju unikal'nosti variantov nabora argumentov formul'nyh vyrazhenij], Ural'skij nauchnyy vestnik, No. 121, pp. 120–130.
5. Bychenkov V.V., Zaika V.F. (2014), Development of the selection criteria system of equations for the algorithm of model construction of the difficult system with the use of combined method with the limited base of arguments. [Rozroblennia systemy kryteriiv seleksii formulnykh vyraziv dlia alhorytmu pobudovy

*modeli skladnoi systemy z vykorystanniam kombinatornoho metodu z obmezhenoiu bazoiu arhumentiv*], Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku, No. 31, pp. 44–49. **6. Bychenkov V.V.** (2014), Algorithm of optimum surplus of equations of combined method with the definite base of arguments. [*Alhorytm optimalnoho pereboru formulnykh vyraziv kombinatornykh alhorytmiv z vyznachenoiu bazoiu arhumentiv*], Trudy universytetu, No. 126, pp. 100–107. **7. Bychenkov V.V., Zajika L.A., Sudnikov Y.O.** (2013), Technology of the knowledge decisions acceptance support system development in the risks and vaguenessesconditions (stage of the initial “data processing”). [*Tekhnologhija rozroblennja znannjaorijentovanykh system pidtrymky rishenj v umovakh ryzykiv ta nevyznachenostej (etap “obroblennja pochatkovykh danykh”)*], Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony, No. 18, pp. 5–10. **8. Bychenkov V.V.** (2015), Evaluation of efficiency functioning of the regressive model developed on the basis of algorithm of construction of the difficult system model with the use of combination method with the limited base of arguments at construction of the first degree equalization. [*Otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia rehresiinoi*

*modeli, rozroblenoj na osnovi alhorytmu pobudovy modeli skladnoi systemy z vykorystanniam kombinatornoho metodu z obmezhenoiu bazoiu arhumentiv pry pobudovi rivnian pershoho stupenia*], Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony, No. 22, pp. 12–18. **9. Bychenkov V.V.** (2015), Evaluation of efficiency of functioning of the regressive model of the difficult system at construction of equalization with a different character. [*Otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia rehresiinoi modeli skladnoi systemy pry pobudovi rivnian z riznym kharakterom zalezhnostei*], Trudy universytetu, No. 128, pp. 98–108. **10. Bychenkov V.V.** (2015), The efficiency estimation of functioning of model with the use of combination method with the limited base of arguments depending of the educational selection size. [*Ocenka jeffektivnosti funkcionirovanija modeli razrabotannoj s ispol'zovaniem kombinatornogo metoda s ogranichennoj bazoj argumentov v zavisimosti ot razmera uchebnoj vyborki*], Sovremennyj nauchnyj vestnik, No. 252, pp. 89–101. **11. Shanchenko N. I.** (2008), Lectures of mathematical economy. [*Lekcii po jekonometrike*], UIGTU, Uljanovsk, 139 p.

Отримано: 15.06.2015 р.

<sup>1</sup>Володимир Юрійович Богданович (д-р техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Андрій Леонідович Висідалко

<sup>3</sup>Олександр Миколайович Косошов (канд. військ. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Український аналітичний центр перспективного розвитку, Київ, Україна

<sup>3</sup>Військова частина А1906, Київ, Україна

## ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ОСНОВ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМКИ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ

В ході досліджень запропоновано модель для автоматизованого прийняття рішень з обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам системи забезпечення національної безпеки (СЗНБ). Визначено основну цільову функцію, перелік функцій залежності ознак, інтегральні показники, базові індикатори та критерії оцінки автоматизованого моделювання сценаріїв реагування на загрози реалізації національних інтересів (НІ). Розроблено алгоритм автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ. Визначено структуру інструментального засобу аналізу для моделювання процесів формування та розподілу стратегічних завдань між суб'єктами СЗНБ

**Ключові слова:** національні інтереси; система забезпечення національної безпеки; безпековий супровід; автоматизована експертно-аналітична система; автоматизована система підтримки прийняття рішень; цільова функція; інтегральні показники; базові індикатори.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності функціонування СЗНБ України в умовах дії різного роду загроз. Актуальність проблеми обумовлена недостатньою розробленістю науково-методологічного апарату, механізмів та інструментальних засобів аналізу для підтримки прийняття рішень, спрямованих на підвищення ефективності забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У [1] концептуально викладено методологічні основи системних досліджень проблем національної безпеки України, розроблені теоретичні засади організації інформаційно-аналітичного забезпечення. Визначено особливості функціонування системи забезпечення воєнної безпеки (СЗВБ) України, запропоновано концептуальні підходи до розробки механізму безпекового супроводу реалізації НІ.

У [2] проаналізовано та розкрито зміст моніторингових досліджень, сформульовано цілі та визначено вимоги, що висуваються до системи моніторингу забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ. Розроблено концептуальну модель інформаційно-моніторингової системи національної безпеки (ІМС НБ).

У [3] безпосередньо представлено методологічний підхід до автоматизації експертно-аналітичної підтримки обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам сфери національної безпеки (СНБ) щодо раннього виявлення та усунення загроз реалізації НІ.

**Невирішена раніше проблема.** У наведених публікаціях та інших наукових працях, з якими змогли ознайомитися автори, зазначається, що вкрай актуальним для підвищення ефективності функціонування СЗНБ України є удосконалення науково методичних основ та інструментальних засобів аналізу підтримки процесів прийняття рішень із забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ.

**Метою** даної статті є розробка моделі, алгоритму автоматизованого прийняття рішень з обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ та визначення загальної структури інструментального засобу аналізу інформаційно-аналітичних процесів з забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ.

### Викладення основного матеріалу дослідження

В ході досліджень питань сфери національної безпеки [1-3] неодноразово зазначалось, що для підвищення ефективності функціонування СЗНБ України, а саме, з метою оперативного отримання альтернативних сценаріїв управління, доцільним є впровадження автоматизованого моделювання інформаційно-аналітичних процесів, в рамках визначеної процедури обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ. В зв'язку з цим, пропонується механізм удосконалення науково методичних основ та інструментальних засобів аналізу підтримки процесів прийняття рішень із забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ розпочати з введення поняття концептуальної "мовно-логічної" структури. Під концептуальною "мовно-логічною" структурою – "стан" –

“можливість” – “ризик”, потрібно розуміти схему для узагальнення процесів автоматизованого обґрунтування та прийняття рішень в СЗНБ, та якою передбачається проведення аналітично-вимірвальних робіт в двох площинах – “оцінювання” та “прогнозування”.

З системної точки зору, прийняття рішень, на основі концептуальної “мовно-логічної” структури, можливо представити у вигляді узагальненого алгоритму, а саме:

1. Визначення рівня впливу системи “А” на систему “В” та представлення результатів у чисельному вигляді.

2. Визначення в чисельному вигляді можливостей системи “В” по відношенню до системи “А”, тобто можливостей відвернення впливу зі сторони системи “А” для запровадження інтересів системи “В”.

3. Визначення прийнятних та допустимих системою “В” ризиків, представлених в

чисельному вигляді, від запровадження відповідних протидіючих заходів по відношенню до системи “А”.

Для детального представлення аналітично-вимірвальної роботи в заданих “мовно-логічних” координатах та відповідних площинах, на думку авторів, необхідно взагалі розширити понятійний апарат експертно-аналітичної підтримки щодо обґрунтування стратегічних завдань суб’єктам СЗНБ. Ґрунтуючись на концептуальній моделі ІМС НБ [2] і доповнюючи її необхідними інформаційними об’єктами та зв’язками, пропонується представити на розгляд гіпотетичну систему автоматизованого моделювання проблем національної безпеки (САМ НБ), відображаючи її у вигляді граф-моделі. Граф-модель представлення гіпотетичної САМ НБ для підтримки безпечового супроводу реалізації НІ зображено на рис.1.

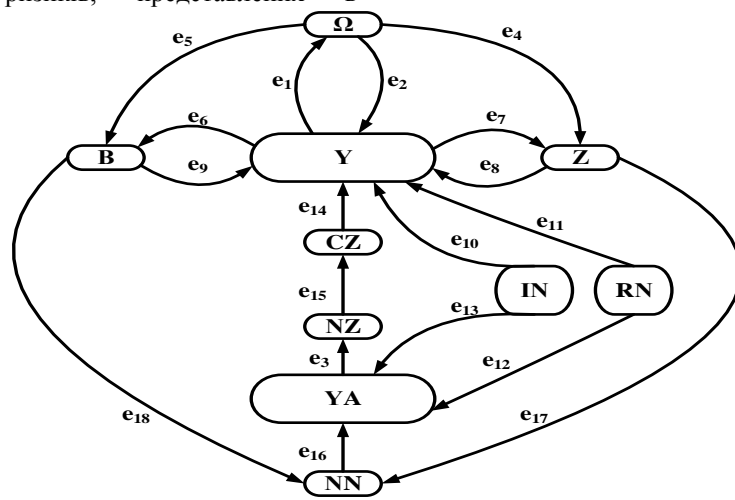


Рис. 1. Граф-модель представлення гіпотетичної САМ НБ для підтримки безпечового супроводу реалізації НІ

Дану граф-модель, як будь-який граф  $G=(V(G),E(G))$ , де  $V(G)$  – множина вершин графа  $G$ , а  $E(G)$  – множина ребер графа  $G$ , пропонується визначити таким чином:

1.  $\Omega \ni \{\Omega_{i=1} | \Omega_{i=2} | \dots | \Omega_{i=N}\}$ , де  $\Omega$  – множина інформаційних об’єктів загроз. Множина представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретну загрозу реалізації НІ –  $\Omega_{i=1,N}$ ;

2.  $Y \ni \{Y_{i=1} | Y_{i=2} | \dots | Y_{i=P}\}$ , де  $Y$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких визначає конкретного суб’єкта СЗНБ –  $Y_{i=1,P}$ ;

3.  $B \ni \{B_{i=1} | B_{i=2} | \dots | B_{i=K}\}$ , де  $B$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного внутрішнього суб’єкта або об’єкта держави –  $B_{i=1,K}$ ;

4.  $Z \ni \{Z_{i=1} | Z_{i=2} | \dots | Z_{i=M}\}$ , де  $Z$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного

зовнішнього по відношенню до держави суб’єкта або об’єкта –  $Z_{i=1,M}$ ;

5.  $CZ \ni \{CZ_{i=1} | CZ_{i=2} | \dots | CZ_{i=S}\}$ , де  $CZ$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретне стратегічне завдання з реалізації НІ –  $CZ_{i=1,S}$ ;

6.  $NZ \ni \{NZ_{i=1} | NZ_{i=2} | \dots | NZ_{i=C}\}$ , де  $NZ$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний захід з нейтралізації загрози –  $NZ_{i=1,C}$ ;

7.  $YA \ni \{YA_{i=1} | YA_{i=2} | \dots | YA_{i=W}\}$ , де  $YA$  – множина інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного суб’єкта інформаційно-аналітичної підтримки СЗНБ –  $YA_{i=1,W}$ ;

8.  $NN \ni \{NN_{i=1} | NN_{i=2} | \dots | NN_{i=V}\}$ , де  $NN$  – множина інформаційних об’єктів очікуваних “негативних” наслідків. Множина представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен

з яких характеризує конкретний “негативний” наслідок –  $NN_{i=1,\overline{V}}$ ;

9.  $IN \ni \{IN_{i=1} | IN_{i=2} | \dots | IN_{i=G}\}$ , де  $IN$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний національний інтерес –  $IN_{i=1,\overline{G}}$ ;

10.  $RN \ni \{RN_{i=1} | RN_{i=2} | \dots | RN_{i=H}\}$ , де  $RN$  – множина, представлена у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний національний ресурс –  $RN_{i=1,\overline{H}}$ ;

11.  $E_x \ni \{e_1 | e_2 | \dots | e_{20}\}$ , де  $E_x$  – причинно-наслідковий орієнтовний вектор, призначений характеризувати як інформаційно-просторову, так і часову міжоб’єктну множину процесів і зв’язків в гіпотетичній САМ НБ.

Дану граф-модель пропонується розкрити через призму аналітично-виміральної роботи в “мовно-логічних” координатах “стан” – “можливість” – “ризик” та через площини – “оцінювання” та “прогнозування”.

Отже, під координатою “стан” слід розуміти саме стан впливу загроз. Якщо множину загроз представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретну загрозу реалізації НІ –  $\Omega_{i=1,\overline{N}}$ , де  $\Omega$  – множина інформаційних об’єктів загроз, класифікованих за сферами національної безпеки держави, то під координатою “стан” потрібно розуміти саме координату комплексного вимірювання та представлення одного із базисних індикаторів СЗНБ – інтегрального рівня загроз реалізації НІ, який буде характеризуватись відповідною сукупністю якісних показників конкретних загроз реалізації НІ –  $\Omega_{i=1,\overline{N}}$ . Отже, у відповідності з методом аналізу ієрархії (МАІ) [4], інтегральний рівень загроз реалізації НІ –  $P_Z(t)$  буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників загроз в трирівневій ієрархічній структурі, на момент оцінювання  $t$ . Іншими словами, ми отримуємо не, що інше, як функцію залежності інтегрального рівня загроз реалізації НІ від показників загроз, на момент оцінювання  $t$

$$P_Z(t) = F(\Omega_{i=1,\overline{N}}(t)). \quad (1)$$

Якщо  $\Omega$  розглядати в заданому часовому інтервалі  $t = T_{pr}$ , то “стан” – координата прогнозування динаміки ескалації рівня загроз  $K_e(t)$  [3], що безпосередньо впливає або може впливати на реалізацію НІ держави. У відповідності з МАІ [4], коефіцієнт ескалації загроз –  $K_e(t)$  буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників загроз в трирівневій ієрархічній структурі, на заданий прогнозований час  $T_{pr}$ . Як

зназначалось в [3], на відміну від процедури вимірювання  $P_Z(t)$ , підхід щодо вимірювання  $K_e(t)$ , буде полягати у прогнозованій зміні пріоритету будь-якого якісного показника загрози на одну чи більше градацій за 9-ти - бальною шкалою по черзі, окремо для кожного визначеного показника або групи показників, з метою отримання лише їх інтегрованого приросту. Іншими словами, ми отримуємо функцію залежності коефіцієнта ескалації загроз від інтегрованого приросту показників загроз, в заданому часовому інтервалі  $T_{pr}$

$$K_e(T_{pr}) = F\left(\sum_{i=1}^N \Delta\Omega_i(T_{pr})\right). \quad (2)$$

Під координатою “можливість” слід розуміти сили, засоби, ресурси, якими володіє держава та які вона може задіяти для протидії загрозам. Якщо множину національних ресурсів представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний національний ресурс –  $RN_{i=1,\overline{H}}$ , то під координатою “можливість” потрібно розуміти саме координату вимірювання внутрідержавних можливостей [3]. Якщо множину суб’єктів СЗНБ представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного суб’єкта СЗНБ –  $Y_{i=1,\overline{P}}$ , то “можливість” – також і координата вимірювання можливостей та взаємодії суб’єктів СЗНБ [3]. Якщо множину НІ представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний НІ –  $IN_{i=1,\overline{G}}$ , та врахувати, при цьому, множину національних ресурсів та суб’єктів СЗНБ, то складаються умови для формування множини “нейтралізаційних” заходів, які можливо представити вже у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких буде характеризувати конкретний захід з нейтралізації загрози –  $NZ_{i=1,\overline{C}}$ . В такому випадку, координату “можливість” потрібно розглядати як координату формування та оцінювання сукупності “нейтралізаційних” заходів в процесі вимірювання інтегрального рівня можливостей держави для протидії загрозам –  $P_m(t)$  [3]. Таким чином, у відповідності з МАІ [4],  $P_m(t)$  – буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників “нейтралізаційних” заходів в трирівневій ієрархічній структурі, на момент оцінювання  $t$ . Іншими словами, ми отримуємо функцію залежності інтегрального рівня можливостей держави від показників “нейтралізаційних” заходів, на момент оцінювання  $t$

$$P_m(t) = F(NZ_{i=1,\overline{C}}(t)). \quad (3)$$

Якщо  $NZ$  розглядати в заданому часовому інтервалі  $t = T_{pr}$ , то “можливість” – координата прогнозування динаміки деескалації рівня загроз  $K_{de}(t)$  [3], що безпосередньо впливає або може

впливати на рівень загроз. У відповідності з МАІ [4], коефіцієнт деескалації рівня загроз –  $K_{de}(t)$ , в такому випадку, буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників “нейтралізаційних” заходів в трирівневій ієрархічній структурі, на заданий прогнозований час  $T_{pr}$ . Але, як зазначалось в [3], на відміну від процедури вимірювання  $P_m(t)$ , суть підходу до вимірювання  $K_{de}(t)$  буде полягати у визначенні того, наскільки у кількісному вираженні вплине у майбутньому той чи інший показник “нейтралізаційного” заходу на інтегральний рівень можливостей держави. Тобто, коефіцієнт деескалації рівня загроз буде представляти саме інтегрований приріст якісних показників “нейтралізаційних” заходів в заданому часовому інтервалі  $T_{pr}$

$$K_{de}(T_{pr}) = F\left(\sum_{i=1}^C \Delta NZ_i(T_{pr})\right). \quad (4)$$

Під координатою “ризик” потрібно розуміти саме ризики від розподілу та упровадження стратегічних завдань суб’єктами СЗНБ. Якщо множину “нейтралізаційних” заходів розподілити між множиною суб’єктів СЗНБ та представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретне стратегічне завдання з реалізації НІ, то “ризик” – координата формування та вимірювання як інтегрального рівня прийняттого ризику –  $P_r(t)$ , так і якісних показників конкретних стратегічних завдань з реалізації НІ –  $CZ_{i=1,S}$ . Отже, у відповідності з (МАІ) [4],  $P_r(t)$  буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників стратегічних завдань суб’єктів СЗНБ в трирівневій ієрархічній структурі, на момент оцінювання  $t$ . Іншими словами, ми отримуємо функцію залежності інтегрального рівня прийняттого ризику від показників конкретних стратегічних завдань на момент оцінювання  $t$

$$P_r(t) = F(CZ_{i=1,S}(t)). \quad (5)$$

Якщо, з одного боку, множину суб’єктів та об’єктів держави представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного внутрішнього суб’єкта або об’єкта держави –  $V_{i=1,K}$ , а з іншого, множину зовнішніх по відношенню до держави суб’єктів та об’єктів, представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретного зовнішнього по відношенню до держави суб’єкта або об’єкта –  $Z_{i=1,M}$ , та врахувати, що конкретні стратегічні завдання з реалізації НІ суб’єктами СЗНБ введено в дію, то складаються умови для формування множини “негативних” наслідків, які можливо представити у вигляді сукупності інформаційних об’єктів, кожен з яких характеризує конкретний “негативний” наслідок –  $NN_{i=1,V}$ . Якщо

розглянути  $NN$  в заданому часовому інтервалі  $t = T_{pr}$ , то “ризик” – координата прогнозування динаміки змін рівня ризику  $K_r(T_{pr})$  від введення в дію конкретних стратегічних завдань. Таким чином, у відповідності з МАІ [4], коефіцієнт ризику –  $K_r(T_{pr})$  буде представляти собою функцію парних порівнянь, класифікованих за сферами, показників “негативних” наслідків в трирівневій ієрархічній структурі, на заданий прогнозований час  $T_{pr}$ . Іншими словами, ми отримуємо функцію залежності коефіцієнта ризику від показників конкретних “негативних” наслідків, в заданому часовому інтервалі  $T_{pr}$

$$P_r(t) = F(CZ_{i=1,S}(t)). \quad (6)$$

Якщо припустити, що із сукупності інформаційних об’єктів, об’єкти які характеризують  $V, Z, Y$  починають в інформаційному просторі проявляти себе, то це повинно призвести до формування множини інформаційних об’єктів, які характеризують, як загрози реалізації НІ, так і “негативні” наслідки від введення в дію стратегічних завдань. Отже, результатом формування множини загроз реалізації НІ та “негативних” наслідків є прояв запущених процесів, які можливо охарактеризувати саме через ознаки стабілізуючої та дестабілізуючої дії. Таким чином,  $e_1, e_6, e_7$  – множини причинно-наслідкових процесів і зв’язків, які повинні характеризуватися, як ознаками стабілізуючої дії – прояв від введення в дію стратегічних завдань, так і ознаками дестабілізуючої дії – прояв від нав’язування, цілеспрямованого спонукання до формування джерел конкретних загроз. Визначені таким чином множини процесів і зв’язків вказують на те, що ні в якому разі не потрібно виключати із джерел загроз як множину суб’єктів та об’єктів держави, множину зовнішніх по відношенню до держави суб’єктів та об’єктів, так і множину суб’єктів СЗНБ. За цих умов, множину процесів і зв’язків  $e_2, e_4, e_5$  потрібно розглядати як таку, що вже спричиняє дестабілізуючий вплив, тобто через своєчасне невиявлення, була заздалегідь сформована до свого прояву. Якщо джерелами виникнення загроз розглядати саме множину суб’єктів та об’єктів держави, множину зовнішніх по відношенню до держави суб’єктів та об’єктів, та множину суб’єктів СЗНБ, то  $e_{17}, e_{18}, e_{19}, e_{20}$  – множини процесів і зв’язків, які визначаються лише ознаками дестабілізуючої дії, але їх необхідно класифікувати як прояв “негативних” наслідків, так і прояв – виникнення та формування загроз. Множини процесів і зв’язків  $e_2, e_8, e_9$  слід розглядати як такі, що постійно дестабілізуючи діють на суб’єкти СЗНБ.  $e_{16}$  – множина процесів і зв’язків, що характеризує формування згортки “негативних” наслідків на основі  $e_{17}, e_{18}$ .  $e_3$  – множина процесів і зв’язків, що характеризує

формування згортки “нейтралізаційних” заходів на основі  $e_{10}, e_{13}, e_{11}, e_{12}, e_{15}$  потрібно розглядати як множину процесів і зв’язків пов’язаних з формуванням сукупності стратегічних завдань суб’єктам СЗНБ.  $e_{14}$  слід розглядати, як множину процесів і зв’язків пов’язаних з декомпозицією та доведенням стратегічних завдань до суб’єктів СЗНБ.

Задача автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб’єктам СЗНБ [3] може бути зведена до задачі оптимізації або пошуку задовільних рішень. Задача оптимізації є частковим випадком задачі знаходження задовільних рішень і виходить із останньої, якщо визначити функцію допустимості як мінімум цільової функції на множині допустимих рішень. В той же час, рішення будь-якої задачі пошуку задовільних рішень може бути отримано як рішення задачі оптимізації з відповідним чином вибраною цільовою функцією [7]. В такому випадку, критеріальну функцію САМ НБ -  $F_n(t)$  доцільно визначати через функцію оцінки або функцію якості. Тому,  $F_n(t)$  пропонується визначити через коефіцієнт ефективності якісного формування та розподілу стратегічних завдань між суб’єктами СЗНБ –  $K_n(t)$ , який буде залежати від моделі процесів, що протікають в СЗНБ та множини допустимих рішень. Отже, для того щоб визначити основну цільову функцію автоматизованого моделювання процесів

$$F_n(t) = \begin{cases} K_n(t) = 1 | P_z(t) \leq P_{zp}(t), P_z(t) \leq P_m(t), P_{mp}(t) \leq P_m(t), K_e(t) \leq K_{de}(t), P_r(t) < P_{rp}(t), 0 \leq K_r(t) < P_r(t) \\ K_n(t) \geq 0 | P_z(t) > P_{zp}(t), P_z(t) > P_m(t), P_{mp}(t) > P_m(t), K_e(t) > K_{de}(t), P_r(t) \geq P_{rp}(t), 1 \geq K_r(t) \geq P_r(t) \end{cases}$$

шляхом  $K_n(t) \rightarrow \max;$   $P_z(t) \rightarrow \min;$   
 $P_m(t) \rightarrow \max;$   $K_e(t) \rightarrow \min;$   $K_{de}(t) \rightarrow \max;$   
 $P_r(t) \rightarrow \min;$   $P_{rp}(t) \rightarrow \min;$   $K_r(t) \rightarrow \min;$

де  $P_z(t)$  – інтегральний рівень загроз;

$P_{zp}(t)$  – гранично допустимий рівень загроз;

$P_m(t)$  – інтегральний рівень можливостей держави;

$P_{mp}(t)$  – мінімально допустимий рівень можливостей держави;

$K_e(t)$  – коефіцієнт ескалації загроз;

$K_{de}(t)$  – коефіцієнт деескалації загроз;

$P_r(t)$  – інтегральний рівень прийнятного ризику;

$P_{rp}(t)$  – гранично допустимий рівень ризику;

$K_r(t)$  – коефіцієнт ризику;

при умові, що

$$0 \leq K_n(t) \leq 1; 0 \leq P_z(t) \leq 1; 0 \leq P_{zp}(t) \leq 1;$$

$$0 \leq P_m(t) \leq 1; 0 \leq P_{mp}(t) \leq 1; 0 \leq K_e(t) \leq 1;$$

$$0 \leq K_{de}(t) \leq 1; 0 \leq P_r(t) \leq 1; 0 \leq P_{rp}(t) \leq 1; \quad (7)$$

$$0 \leq K_r(t) \leq 1.$$

Визначена таким чином критеріальна функція буде визначати множину задовільних рішень, коли  $K_n(t)=1$  – тоді і лише тоді, коли будуть

формування та розподілу стратегічних завдань між суб’єктами СЗНБ необхідно визначити  $K_n(t)$ . В свою чергу, функцію (коефіцієнт ефективності)  $K_n(t)$  пропонується визначати через моделювання процесів в СЗНБ, результати яких повинні мати вигляд завершених сценаріїв та характеризуватись такими базовими індикаторами як інтегральний рівень загроз, гранично допустимий рівень загроз, інтегральний рівень можливостей держави, мінімально допустимий рівень можливостей, коефіцієнт ескалації, коефіцієнт деескалації загроз, інтегральний рівень прийнятного ризику, гранично допустимий рівень ризику, коефіцієнт ризику, а у якості критеріїв їх відбору із множини допустимих рішень використати відповідні відношення “ $\leq$ ”. Для цього пропонується виокремити та використати таку сукупність інтегральних показників як конкретні загрози, “нейтралізаційні” заходи, стратегічні завдання та “негативні” наслідки, а у якості критеріїв їх відбору використати ступінь їх повноти, об’єктивності, валідності, надійності, достовірності, доступності, актуальності, вчасності, оперативності [3].

Таким чином, для повного впорядкування множини допустимих рішень стосовно формування та розподілу стратегічних завдань між суб’єктами СЗНБ пропонується основну цільову функцію САМ НБ визначити як:

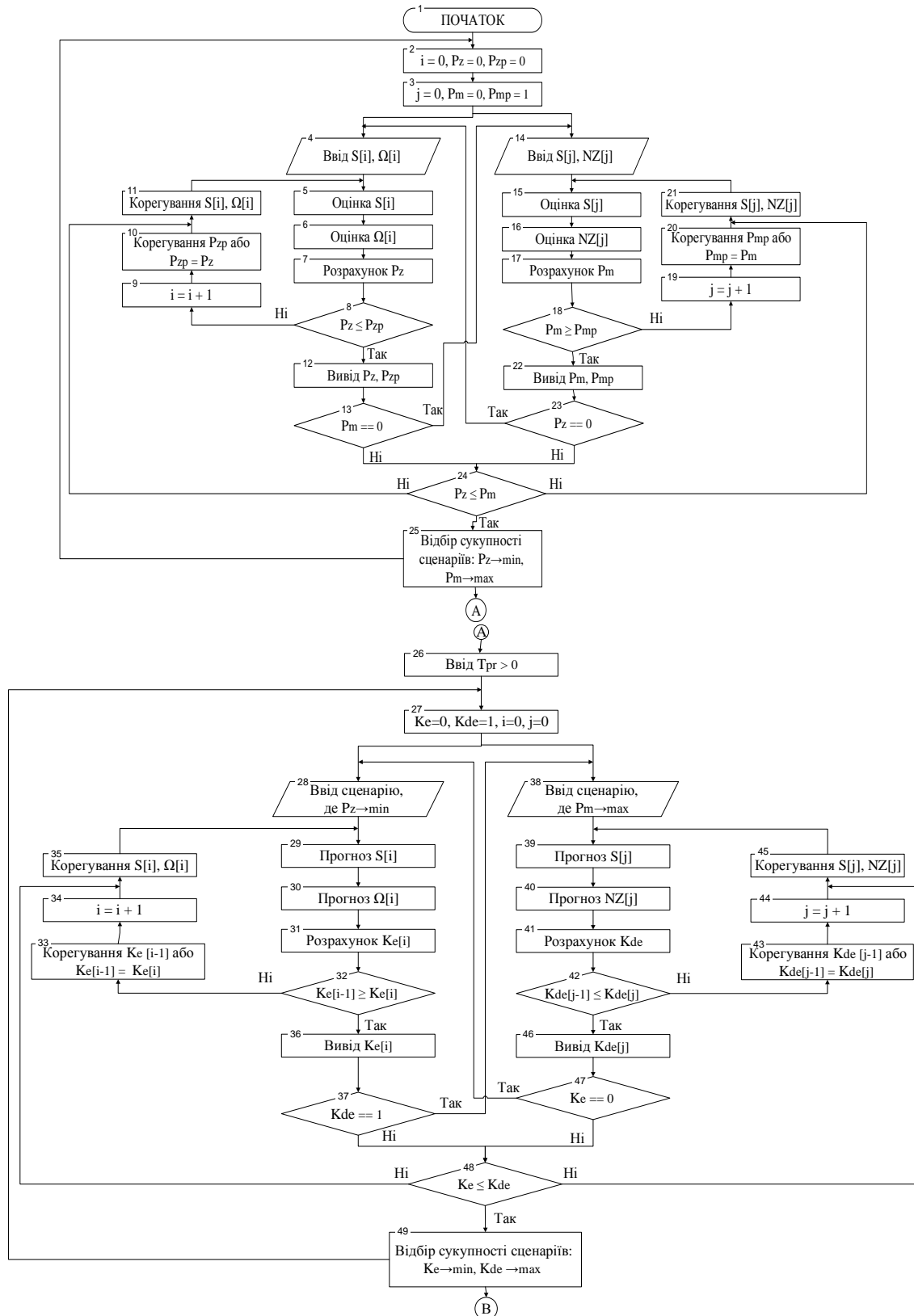
виконуватись усі відношення між відповідними базовими індикаторами. В іншому випадку, коли хоча б одне відношення між відповідними базовими індикаторами не буде виконуватись, то  $K_n(t) \geq 0$ , що буде вказувати на невідповідність рішення умовам якісного формування та розподілу стратегічних завдань між суб’єктами СЗНБ.

Використання засобів автоматизації при розв’язанні розрахункових задач з обґрунтування стратегічних завдань суб’єктам СЗНБ для отримання результатів оцінювання/прогнозування в числових одиницях виміру, як показує САМ НБ, потребує проведення великого обсягу робіт з формалізації інформаційних процесів та розподілу на окремі формальні операції, з яких можливо побудувати визначену логічну послідовність дій для досягнення поставленої мети. Такі окремі операції можуть бути описані певними алгоритмами, реалізація яких повинна надати можливість експерту-аналітику отримати рішення безпосередньо з обґрунтування стратегічних завдань. Тому, на розгляд виноситься алгоритм автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб’єктам СЗНБ. Тобто, авторами пропонується визначити чіткий порядок автоматизованого моделювання процесів прийняття рішень в СЗНБ для розв’язання обраного класу задач. Блок-схему алгоритму



автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ представлено на рис.2. В основу алгоритму автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ покладено метод аналізу ієрархії [4], тому ядром, як видно із рис.2, є введення показників першого та другого рівнів, послідовне їх оцінювання або прогнозування зміни їх пріоритету

за певний період часу, розрахунок базового індикатору та його вивід. Більш детально алгоритм автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ планується розкрити в публікації, присвяченій розробці методики автоматизованого експертно-аналітичного обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ.



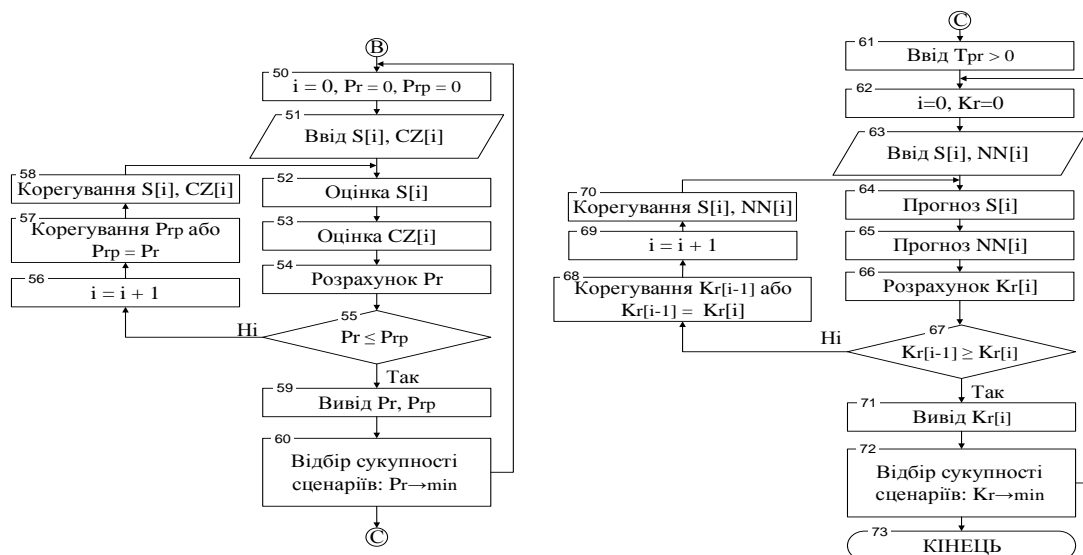


Рис. 2. Блок-схема алгоритму автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ

Але потрібно зауважити, що визначений таким чином підхід до автоматизації сценаріїв обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ передбачає і взаємний перехід між координатами під час проведення аналітично-вимірвальних робіт, і постійний в часі механізм експертного доопрацювання для забезпечення керованого зменшення невизначеностей, стохастичності та нелінійності процесів, що протікають у СЗНБ. Постійне в часі експертне доопрацювання необхідно забезпечувати саме через постійне накопичення достовірної інформації та знань, накопичення чинників, які можуть виникати та динамічно змінювати свої характеристики у часі. На будь-якому етапі: створення, корегування, доповнення моделі прийняття рішень – параметрів, індикаторів та критеріїв моделі, в представленій на розгляд САМ НБ, експерт-аналітик має можливість включитись в процес автоматизованого моделювання по будь-якій із трьох координат “мовно-логічної” структури, в залежності як від наявної інформації, так і від інформації, отриманої за рахунок проведення додаткових моніторингових досліджень [2], так і від задалегідь підготовлених аналітичних рішень.

Методологічний апарат формування обрису автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (АСППР), на сьогоднішній день, ґрунтується лише на досвіді і знаннях розробників. Тобто, механізм формування обрису АСППР лежить в творчій площині та відображає, як правило, системні функції, структуру, принципи і алгоритми функціонування. Представляє собою результат синтезу алгоритмів прийняття рішень на фоні можливостей засобів обробки інформації. Тому, з точки зору теорії прийняття рішень, підхід до формування обрису АСППР слід розглядати як можливість вибору такого варіанту, при якому б досягалась максимальна ефективність функціонування автоматизованої системи. В даному випадку, згідно з методологією автоматизованого розв'язання задач прийняття рішень в СЗНБ [3], АСППР доцільно створювати на основі

оптимізаційних алгоритмів, що дозволяють обчислити оптимальні траєкторії реалізації певного процесу управління із забезпечення безпекового супроводу реалізації НІ. В зв'язку з цим, на розгляд виноситься загальна структурна схема представлення експертно-аналітичної системи автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ, рис.3. Структурна схема інструментального засобу аналізу для підтримки прийняття рішень в СЗНБ умовно складається з трьох основних частин і передбачає модульно-блочну побудову:

блок загального призначення – підсистема експерта-аналітика призначена для здійснення зв'язку між користувачами АСППР та внутрішніми елементами системи. Забезпечує доступ до моделей та даних;

блоки спеціального призначення. В нашому випадку, це алгоритмічно орієнтований функціональний блок, спроможний задовольнити реалізацію алгоритму автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ. Забезпечує доступ до функцій реалізації оптимізаційних алгоритмів, введення інформації та виведення результатів, розв'язання задач прийняття рішень у відповідності з розробленою методологією [3]. Дозволяє здійснювати ефективний уніфікований обмін даними між всіма елементами системи;

блок криптографічного призначення – підсистема організації захисту АСППР, моделей, даних.

Достатньо обґрунтовно та повно питання оцінки якості та ефективності функціонування подібних АСППР розглянуто в [5-7]. Звісно, що найбільш критичною стороною реалізації інструментального засобу аналізу, як і будь-якої АСППР, є організація захисту даних. Звичайно, вимоги та загальні параметри, інтегральні показники, індикатори та критерії оцінки теж є дуже важливими, але питання збереження і захисту даних необхідно вирішувати одним із перших. Адже цільова база даних (ЦБД), доступ до якої надає інструментальний засіб аналізу, може містити дуже велику кількість аналітичних даних, які можуть відображати діяльність СЗНБ.



Рис. 3. Загальна структурна схема представлення експертно-аналітичної системи автоматизованого обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ

Виходячи з вищезазначеного, пропонуємо загальний огляд концепцій, на базі яких можливо створити практичний засіб, за допомогою якого забезпечуватиметься захист АСППР, моделей, даних [8]:

**Аутентифікація** – процедура встановлення особи, яка забезпечує зв'язок з АСППР та програмним сервісом архіву ЦБД. Для проведення даної процедури, на думку дослідників, достатньо імені користувача та його паролю. Процедура аутентифікації повинна забезпечувати взаємне підтвердження сторін. Тобто, експерт-аналітик повинен бути впевнений, що його практичні напрацювання - сценарії моделювання та аналітичні дані без його відома не можуть бути використані.

**Авторизація.** Після встановлення автентичності сторони, що звернулася необхідно вирішити, чи дозволено їй зробити те, за чим вона звернулася. Авторизація здійснюється на базі власної системи розподілу ролей (право користувача на виконання певної процедури), тобто, експерт-аналітик для роботи з ЦБД повинен мати певні права, наприклад з її модернізації.

**Конфіденційність.** Під конфіденційністю розуміється механізм, який запобігає зчитуванню інформації, якою обмінюється експерт-аналітик з ЦБД, сторонніми особами.

**Цілісність та захист від копіювання.** Для забезпечення необхідності гарантувати, що АСППР не було змінено в процесі роботи та цілковито виконуються ліцензійні умови.

Конфіденційність та цілісність даних можливо забезпечити, використавши механізми сертифікатів для шифрування та підпису ЦБД. Ще одним аспектом безпеки АСППР є наявність засобів для аудиту. Можливість створення протоколів і аудиторської звітності дій, що стосується безпеки сервісів. При запуску сервісу аудиту та протоколювання в журналі сервісу повинна фіксуватись як успішна, так і неуспішна

### Література

1. Богданович В. Ю. Теоретико-методологічні основи забезпечення національної безпеки України: Монографія. : у 7 т. –Т.1.Теоретичні основи, методи й

аутентифікація, а також інформація про експертно-аналітика та час його роботи.

### Висновки

Представлена на розгляд модель САМ НБ, побудована на основі логічно завершеної аналітично-виміральної схеми, надала можливість формалізувати та визначити основну цільову функцію, перелік функцій залежності ознак, інтегральні показники, базові індикатори та критерії оцінки створення комплексних сценаріїв автоматизованої підтримки прийняття рішень у СЗНБ. Розроблений в ході досліджень алгоритм, дозволяє обчислювати оптимальні траєкторії реалізації певного процесу управління, формувати в автоматизованому режимі підтверджені експертно у кількісному вираженні управлінські сценарії. Визначена структура інструментального засобу аналізу, на думку авторів, включає достатній перелік функціонально розподілених модулів, здатних задовольнити реалізацію автоматизованого моделювання процесів формування та розподілу стратегічних завдань між суб'єктами СЗНБ.

### Перспективи подальших досліджень

На думку авторів, подальший розвиток досліджень в цьому напрямку необхідно спрямувати на розробку: методики автоматизованого експертно-аналітичного обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ для раннього виявлення та усунення загроз реалізації НІ;

АСППР для експертно-аналітичної підтримки обґрунтування стратегічних завдань суб'єктам СЗНБ; чисельного експерименту з нейтралізації гіпотетичної загрози воєнного або терористичного характеру, використовуючи інструментальний засіб аналізу, розроблений для забезпечення автоматизованої підтримки прийняття рішень у СЗНБ.

технології забезпечення національної безпеки України / В. Ю. Богданович, І. Ю. Свида, Є. Д. Скулиш; за заг. ред. Є.Д.Скулиша. – К. :Наук.-вид. відділ НА СБ

України, 2012. – 548 с. **2. Богданович В. Ю.** Концептуальна модель інформаційно-моніторингової системи національної безпеки / В.Ю.Богданович, А.Л.Висідалко // Київ: НАУ: Захист інформації, Том 16, – 2014. – №1. – С. 81–88. **3. Богданович В. Ю.** Методологічний підхід до автоматизації інформаційно-аналітичних процесів безпекового супроводу реалізації національних інтересів / В. Ю. Богданович, А. Л. Висідалко // Сучасний захист інформації, ДУТ, – 2014. – № 3. С.4–10. **4. Thomas L. Saaty.** Multi-decisions decision-making: In addition to wheeling and dealing, our national political bodies need a formal approach for prioritization / Thomas L. Saaty // University of Pittsburgh, 322 Mervis Hall, Pittsburgh, PA 15260, United

States / Mathematical and Computer Modelling 46 (2007) 1001–1016. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.elsevier.com/locate/mcm](http://www.elsevier.com/locate/mcm) **5. Бурячок В. Л.** Основи формування державної системи кібернетичної безпеки / Бурячок В. Л. Монографія. – К. : НАУ, 2013. – 432 с. **6. Джарратано Джозеф** Экспертные системы: принципы разработки и программирование, 4-е издание / Джозеф Джарратано, Гари Райли ; Пер. с англ. К. А. Птицына. – М. : ООО “И.Д. Вильямс”, 2007. – 1152 с. **7. Месарович М.** Теория иерархических многоуровневых систем / Месарович М., Мако Д., Такаха И. Издательство “Мир”. – М. : 1973. **8. Neal Koblitz.** A Course in Number Theory and Cryptography. Second Edition / Springer-Verlag. New York, 1994, p.235.

## ПУТИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

<sup>1</sup>Владимир Юрьевич Богданович (д-р техн. наук, профессор)

<sup>2</sup>Андрей Леонидович Высидалко

<sup>3</sup>Александр Николаевич Косоков (канд. воен. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

<sup>2</sup>Украинский аналитический центр перспективного развития, Киев, Украина

<sup>3</sup>Воинская часть А1906, Киев, Украина

В процессе исследований была предложена модель для автоматизированного обоснования стратегических заданий субъектам системы обеспечения национальной безопасности (СОНБ). Определено основную целевую функцию, перечень функций зависимости признаков, интегральные показатели, базовые индикаторы и критерии оценки автоматизированного моделирования сценариев реагирования на угрозы реализации национальных интересов (НИ). Разработан алгоритм автоматизированного обоснования стратегических заданий субъектам СОНБ. Определена структура инструментального средства анализа для моделирования процессов формирования и распределения стратегических заданий между субъектами СОНБ.

**Ключевые слова:** национальные интересы; система обеспечения национальной безопасности; безопасное сопровождение; автоматизированная экспертно-аналитическая система; автоматизированная система поддержки принятия решений; целевая функция; интегральные показатели; базовые индикаторы.

## THE WAYS OF IMPROVING METHODOICAL BASIS AND INSTRUMENTAL TOOLS OF DECISION MAKING PROCESSES SUPPORT WITHIN THE NATIONAL SECURITY SYSTEM

<sup>1</sup>Volodymyr Y. Bohdanovych (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Andrii L. Vysidalko

<sup>3</sup>Oleksandr M. Kosogov (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)

<sup>1</sup>Central Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Ukrainian Analytical Center for Perspective Development, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Military Unit A1906, Kyiv, Ukraine

During researches is proposed the model of the automated decision-making from substantiate of the strategic objectives for the subjects of the national security system (NSS). Identified the main target function, list of functions of the dependence from signs, integral indexes, basic indicators and criteria of estimation of the automated modeling of scenarios of the reacting to threats of the realization of national interests (NI). It was developed algorithm for automated justification of the strategic objectives for the subjects of the NSS. It was detected the structure of the analysis tool for the simulation of the processes of formation and distribution of the strategic tasks between the subjects of the NSS.

**Keywords:** national interests; the national security system; secure accompaniment; automated expert and analytical system; automated decision support system; objective function; integral indexes; base indicators.

## References

**1. Bohdanovych V.Y., Svyda I.Y., Skulysh Y.D.** (2012), Theoretical and methodological foundations of national security of Ukraine: monograph. [Teoretyko-metodolohichni osnovy zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy: Monohrafiia, T.I. Teoretychni osnovy, metody u tekhnolohii zabezpechennia natsionalnoi bezpeky Ukrainy], NA SB Ukrainy, Kyiv, 548 p. **2. Bohdanovych V.Y., Vysidalko A.L.** (2014), Conceptual model of information and monitoring systems of the national security. [Konseptualna model informatsiino-monitorynhovoi systemy natsionalnoi bezpeky], Zahyst informatsii, Kyiv, NAU, No.1, pp.81–88. **3. Bohdanovych V.Y., Vysidalko A.L.** (2014), The methodological approach to the automation of the information and analytical processes support of the implementation the national security interests. [Metodolohichni pidkhid do avtomatyzatsii informatsiino-analitychnykh protsesiv bezpekovooho suprovodu realizatsii Natsionalnykh interesiv], Modern data protection, Kyiv,

DUT, No. 3, pp. 4–10. **4. Thomas L. Saaty.** “Multi-decisions decision-making: In addition to wheeling and dealing, our national political bodies need a formal approach for prioritization”, available at: [www.elsevier.com/locate/mcm](http://www.elsevier.com/locate/mcm) **5. Buryachok V.L.** (2013), Principles of formation of the state system cyber security: monograph. [Osnovy formuvannia derzhavnoi systemy kibernetichnoi bezpeky: Monohrafiia], NAU, Kyiv, 432 p. **6. Giarratana Joseph, Gary Riley.** (2007), Expert systems: principles of design and programming. [Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programmirovaniia], 4-e izdanie, “ID Williams”, Moscow, 1152 p. **7. Mesarovich M., Mako D., Takakhara Y.** (1973), Theory of hierarchical multilevel systems. [Teoriia ierarhicheskikh mnogourovnevnykh sistem], “Mir”, Moscow, 343 p. **8. Neal Koblitz** (1994), A Course in Number Theory and Cryptography. Second Edition, Springer-Verlag. New York, 235 p.

Отримано: 19.05.2015 року

Дмитро Анатолійович Бухал

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ДАЛЬНОСТІ ЗОНИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА З ВРАХУВАННЯМ ПОТУЖНОСТІ ВИПРОМІНЮВАННЯ РАДІОСТАНЦІЙ СИСТЕМИ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ОКРЕМОЇ МЕХАНІЗОВАНОЇ БРИГАДИ

Неприйняття своєчасних заходів щодо забезпечення розвідвахищеності системи радіозв'язку призводить до виявлення та подальшого вогневого ураження складових системи управління. Тому з метою досягнення необхідного рівня розвідвахищеності системи радіозв'язку окремої механізованої бригади у статті запропоновано порядок визначення дальності зони радіоелектронної розвідки противника, який враховує наявну потужність випромінювання радіостанцій.

У розрахунках дальності зони радіоелектронної розвідки противника застосування моделі зв'язності надає можливість знизити потужність випромінювання радіостанцій в межах енергетичного запасу ліній зв'язку.

**Ключові слова:** система радіозв'язку окремої механізованої бригади; зв'язність радіостанцій; потужність випромінювання; радіоелектронна розвідка противника.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Радіозв'язок є одним із родів зв'язку, який широко використовується у процесі управління окремою механізованою бригадою (омбр). Незважаючи на недостатню пропускну здатність, схильність до перешкод, залежність від умов розповсюдження радіохвиль, він продовжує залишатися найбільш розповсюдженим засобом передавання інформації під час виконання завдань омбр.

Досвід ведення антитерористичної операції свідчить про те, що противник за допомогою технічних засобів розвідки постійно намагається виявити факти інформаційного обміну та встановити зміст повідомлень, місця розташування радіостанцій та їх приналежність до елементів системи управління омбр.

Неприйняття своєчасних заходів щодо забезпечення розвідвахищеності системи радіозв'язку (СР) омбр призводить до виявлення та подальшого вогневого ураження складових системи управління.

Тому визначення дальності зони радіоелектронної розвідки (РР) противника є актуальним завданням для галузі системи управління та зв'язку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз відомих джерел [1–4] свідчить, про те, що питанню визначення зони РР противника приділяється незначна увага. Зазвичай пропонується спиратися на максимальну дальність розповсюдження радіохвиль з визначенням імовірності виявлення радіостанцій СР омбр. Це призводить до неврахування потужності випромінювання радіостанцій СР, яка безпосередньо впливає на відношення сигнал/шум на вході комплексу РР противника.

Крім того, під час визначення імовірності виявлення радіостанцій СР омбр виникає проблема збору статистичних даних. Відсутність достовірних даних призводить до зменшення адекватності показника виявлення радіостанцій СР. До того ж, враховуючи

положення теореми про незалежні події, імовірність виявлення радіостанцій СР омбр є добутком імовірностей частотно-часової та електромагнітної доступності. Звідси виникає проблема залежності значень імовірностей подій між собою – велике значення однієї імовірності події буде нівелюватися малою імовірністю іншої події.

З огляду на визначені проблемні питання, **мета статті** полягає у визначенні дальності зони РР противника з врахуванням потужності випромінювання радіостанцій системи радіозв'язку окремої механізованої бригади.

### Методи дослідження

У ході дослідження було застосовано системний підхід з використанням основних положень теорії зв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Визначення дальності зони РР противника проводиться на початковому етапі планування СР омбр. Зазвичай начальник зв'язку омбр визначає дальність зони РР противника для ультрахвильового діапазону біля 35 км від лінії зіткнення з противником. Відповідно до визначеної структури системи управління омбр радіостанції розташовуються у районі ведення бойових дій та починають встановлювати зв'язок на максимальних потужностях. Порядок визначення дальності зони РР противника з врахуванням зв'язності радіостанцій системи радіозв'язку омбр наведений на рис. 1.

Після встановлення зв'язку проводиться розрахунок зв'язності для усіх задіяних ліній зв'язку СР омбр.

Під зв'язністю розуміється наявність стійкого зв'язку між кожною парою радіостанцій СР хоча б за одним з інформаційних маршрутів.

За показник зв'язності лінії зв'язку приймемо коефіцієнт зв'язності (крок 3):

$$K_{зв} = \frac{q}{q_{\max}} e^{\frac{q_{\max} - q}{q_{\max}}}, \quad (1)$$

де  $q$  – час відсутнього зв'язку між заданими радіостанціями СР омбр;

$q_{\max}$  – загальний час зв'язку між заданими радіостанціями СР омбр відповідно до Плану зв'язку

(складається з часу відсутнього та часу діючого зв'язку).

Графік функції залежності коефіцієнта зв'язності лінії зв'язку від часу відсутнього зв'язку за визначений період часу наведений на рис. 2.

Шкала зв'язності СР омбр визначається за такими показниками:  $[0-0,4]$  – незадовільна зв'язність,  $[0,4-0,6]$  – задовільна зв'язність,  $[0,7-0,8]$  – добра зв'язність,  $[0,8-1,0]$  – відмінна зв'язність.

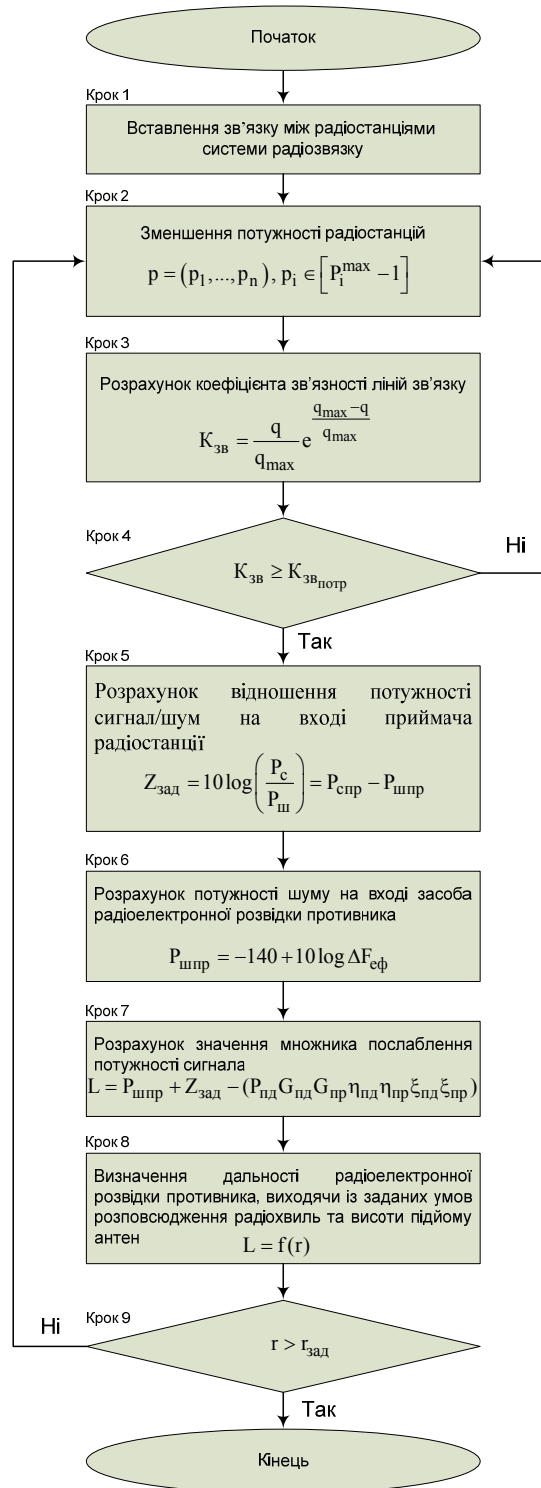
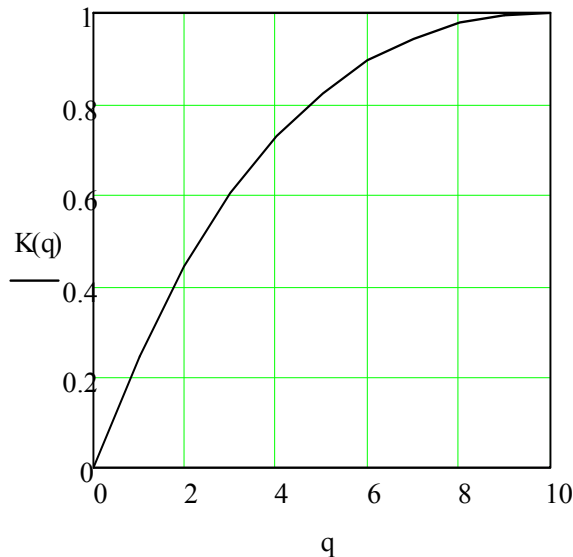


Рис. 1. Порядок визначення дальності зони радіоелектронної розвідки противника з врахуванням зв'язності радіостанцій системи радіозв'язку окремої механізованої бригади



**Рис. 2. Графік функції залежності коефіцієнта зв'язності лінії зв'язку від часу відсутнього зв'язку**

Отримані результати свідчать про наявність зв'язку між радіостанціями. Перевищення коефіцієнта зв'язності лінії зв'язку над заданим коефіцієнтом  $K_{зв} \geq K_{зв,потр}$  (крок 4) свідчить про те, що існує

енергетичний запас лінії зв'язку для зменшення потужності випромінювання радіостанцій СР омбр. У цьому випадку проводиться повернення на крок 2 та зменшується потужність випромінювання радіостанції.

Зменшення потужності випромінювання призводить до зниження напруженості електричного поля у точці прийому сигналів антенами комплексу РР противника. Тому для збереження стійкого та достовірного зв'язку необхідно знову проводити розрахунок показника зв'язності ліній зв'язку.

Для розрахунку дальності зони РР противника необхідно визначити такі вихідні дані для радіостанцій СР та комплексів РР противника:  $P_{с,пд}$  – потужність передавача сигналу радіостанції СР;  $G_{пд}, G_{пр}$  – коефіцієнт посилення передавальної/приймальної антени радіостанції СР/комплексу РР противника;  $\eta_{пд}, \eta_{пр}$  коефіцієнт корисної дії фідера передавальної/приймальної

антени радіостанції СР/комплексу РР противника;  $\xi_{пд}, \xi_{пр}$  – коефіцієнт узгодження передавальної/приймальної антени зі виходом/входом передавача/приймача радіостанції СР/комплексу РР противника;  $\Delta F_{эф}$  – смуга пропускання для кожного каналу комплексу РР.

Значення потужності шуму на вході комплексу РР противника (крок 7) визначається після проведення підготовчих розрахунків на 5-6 кроці.

Далі за графіками залежності множника послаблення потужності сигналу від відстані  $L = f(r)$  знаходиться дальність затухання радіохвиль ( $r$ , км).

Отримана відстань ( $r$ ) у подальшому порівнюється із заданою ( $r_{зад}$ ). У разі невідповідності умові (крок 9) – здійснюється повернення на крок 2.

Розрахувавши дальність затухання радіохвиль функціонуючих радіостанцій СР омбр у заданому районі, відкладаємо розраховане значення від місць розташування комплексів РР противника (зазвичай 5-7 км від переднього краю). Ця відстань і буде реальною дальністю зони РР противника для радіостанцій СР омбр відповідно до їх наявної потужності випромінювання.

### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

Для визначення дальності зони РР противника під час проведення досліджень було застосовано математичну модель зв'язності ліній зв'язку СР омбр. Особливістю даної моделі є те, що вона характеризує енергетичний запас лінії зв'язку у межах якого можливо знизити потужність випромінювання радіостанцій. Вплив зниження потужності випромінювання радіостанції був врахований під час визначення дальності зони РР противника (крок 5, 7 рис. 1).

Напрямок подальших досліджень вбачається у розробленні методики визначення дальності зони РР противника з врахуванням рельєфу місцевості та зв'язності радіостанцій СР омбр, що надасть можливість вирішувати спеціальні тактичні задачі в галузі військового управління та зв'язку.

### **Література**

- 1. Макаренко С. И.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты [Текст] / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166 с.
- 2. Борисов В. И.** Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью [Текст] / В. И. Борисов, В. М. Зинчук, А. Е. Лимарев, Н. П. Мухин, Г. С. Нахмансон – М.: Радио и связь, 2003. – 640 с.
- 3. Ерышов В. Г.** О методе построения

- разведзащищённой системы связи [Текст] / В. Г. Ерышов, Корсунский А. С., Ващенко А. П. // Вопросы кибербезопасности. – 2003. – № 3. – 16–20 с.
- 4. Кременчуцкий А. Л.** Методика оценки скрытности системы защиты объектов связи и информатизации [Текст] / А. Л. Кременчуцкий, Стародубцев Ю. И., Ерышов В. Г. // Труды 8-й Всероссийской НПК “Актуальные проблемы защиты и безопасности” – 2005. – № 3. – 176–182 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ ЗОНЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ РАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА С УЧЁТОМ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОСТАНЦИЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ОТДЕЛЬНОЙ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ БРИГАДЫ**

*Дмитрий Анатольевич Бухал*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

*Непринятие своевременных мер по обеспечению разведзащищенности системы радиосвязи приводит к выявлению и последующему огневому поражению составляющих системы управления. Поэтому с целью достижения необходимого уровня разведзащищенности системы связи отдельной механизированной бригады в статье предложен порядок определения дальности зоны радиоэлектронной разведки противника, который учитывает существующую мощность излучения радиостанций.*

*В расчетах дальности зоны радиоэлектронной разведки противника применение модели связности даёт возможность снизить мощность излучения радиостанций в границах энергетического запаса линий связи. Дальнейшее развитие предложенного подхода даст возможность решать специальные тактические задачи в области военного управления и связи.*

**Ключевые слова:** *система радиосвязи; связность радиостанций; радиоэлектронная разведка; дальность зоны радиоэлектронной разведки.*

**DETERMINATION OF AN ENEMY RADIO RECONNAISSANCE'S RANGE TAKING INTO ACCOUNT A RADIO STATIONS RADIANT POWER OF AN ARMoured BRIGADE'S COMMUNICATION SYSTEM**

*Dmytro A. Bukhal*

*Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Rejection from timely the measures to support radio-electronic security communication system leads to detection and subsequent fire destruction of control system components.*

*Therefore for the purpose of progress of radio-electronic security necessary level of armored brigade's communication system in this article suggests procedure of determination radio reconnaissance's range of enemy subject to radiant power of radio stations.*

*In radio reconnaissance's range calculations application of connectivity model gives us an opportunity to reduce radiant power of radio stations in margin limits of communication lines. Based on dependence calculated factor reducing signal power from distance of spreading radio signal we obtain enemy radio reconnaissance's range.*

*Subsequent progress with the approach will give us an chance to solve special tactical tasks in military control and communication area.*

**Keywords:** *an enemy radio reconnaissance's range; connectivity; communication system; radio stations radiant power.*

**References**

- 1. Makarenko S.I.,** Ivanov M.S., Popov S.A. (2013), Interference protection of communication systems pseudorandomness of frequency tuning [*Pomehozashhishhennost' sistem svyazi s psevdosluchajnoj perestrojkoj rabochej chastoty*], SPb.: Svoe izdatel'stvo, 166 p.
- 2. Borisov I.I.,** Borisov V.I., Zinchuk V.M., Limarev A.E., Mukhin N.P., Nahmanson G.S. (2003), Interference protection of communication systems with broadening range of signals with modulation signal carrier by pseudorandomness succession [*Pomehozashhishhennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov moduljaciej nesushhej psevdosluchajnoj posledovatel'nost'ju*], Moscow, Radio and communication, 640 p.
- 3. Yeryshev V.G.,** Korsunskiy A.S., Vashenko A.P. (2003), About method of radio-electronic security communication system [*O metode postroenija razvedzashhishhionnoj sistemy svyazi*], *Voprosy kiberbezopasnosti*, No. 3., pp. 16–20.
- 4. Kremencutskiy A.L.,** Starodubtsev Y.I., Yeryshev V.G., (2005), Method of estimation radio-electronic security of communication objectives [*Metodika ocenki skrytnosti sistemy zashhity ob#ektov svyazi i informatizacii*], *Trudy 8-j Vserossijskoj NPK "Aktual'nye problemy zashhity i bezopasnosti"*, No. 3, pp. 176–182.

Отримано: 21.07.2015 року



Анатолій Петрович Волобуєв (канд. техн. наук, с.н.с.)

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## ТЕНЗОР ДОСТУПНОСТІ РАДІОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКРИТТЯ ЗАСОБАМИ РАДІОРОЗВІДКИ ПРОТИВНИКА

У статті розглядається актуальне наукове завдання забезпечення необхідного рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення. В якості показника рівня радіомаскування радіостанцій та систем радіозв'язку військового призначення, що розгортаються на їх базі, запропоновано використовувати їх розвідувальну доступність, яка складається з доступності для енергетичного викриття, доступності для викриття за частотою, доступністю для викриття за напрямом, доступністю для визначення місцеположення та доступністю для радіоперехоплення. Запропонована математична модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки противника, основана на застосуванні окремих положень теорії електромагнітного поля та теорії тензорного числення. При цьому доступність радіостанції для енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника подається 4-тензором 4 рангу. Отримані залежності компонентів даного тензору від амплітудно-фазового розподілу струму по розкритку антенної решітки радіостанції, координат та кількості випромінювачів, лінійних розмірів антенної решітки, довжини хвилі, відстані від радіостанції до засобу радіорозвідки противника, абсолютних магнітної і діелектричної проникностей та функції ослаблення операційного району, як середовища розповсюдження радіохвиль.

**Ключові слова:** радіостанція; система радіозв'язку військового призначення; викриття радіостанції; рівень радіомаскування; розвідувальна доступність; тензор доступності радіостанції для енергетичного викриття.

### Вступ

Радіозв'язок по праву є одним з основних родів зв'язку у збройних силах, а часто єдиним можливим, який спроможний забезпечити обмін інформацією в системах управління військами та озброєнням. Стрімкий розвиток систем радіозв'язку військового призначення в світі в останні роки пов'язаний в багатьом з розвитком інформаційних технологій та конвергенцією комп'ютерних та телекомунікаційних мереж, що створило широке коло питань для досліджень.

**Постановка проблеми.** Сьогодні системи радіозв'язку, що розгортаються в інтересах різних ланок управління Збройних Сил України, не спроможні забезпечити необхідного рівня радіомаскування, який диктує сучасний стан систем радіорозвідки розвинених у воєнному відношенні країн світу [1–7]. Таким чином, забезпечення необхідного рівня радіомаскування систем радіозв'язку військового призначення є актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** за даним напрямом показав, що в межах розв'язання визначеного завдання дослідниками в першу чергу обирався показник рівня радіомаскування та отримувалися його аналітичні залежності від різноманітних характеристик радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційних районів, як середовища розповсюдження радіохвиль, із застосуванням методів математичного моделювання. У відомих джерелах виявлені такі показники рівня радіомаскування:

1. Умовна ймовірність прийняття вірного рішення про наявність радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки, за умови, що цей радіосигнал дійсно є [8–9]:

$$P_{\text{вир}} = 1 - P_{\text{проп}} = 1 - \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{\frac{P_{\text{пр}}^{\text{пор}}}{N_0} - T\Delta f - \frac{Q}{N_0}}{\sqrt{2 \left( T^2 \Delta f^2 + \frac{Q}{N_0} \right)}} \right) \right],$$

де  $P_{\text{проп}}$  – ймовірність пропуску радіосигналу окремої радіостанції;

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt;$$

$P_{\text{пр}}^{\text{пор}}$  – порогове значення потужності електромагнітного коливання на вході приймача засобу радіорозвідки, при перевищенні якого приймається рішення про наявність корисного сигналу на вході в адитивній суміші з шумом;

$N_0$  – спектральна щільність шуму еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки;

$T$  – тривалість радіосигналу;

$\Delta f$  – ширини спектру радіосигналу окремої радіостанції;

$Q$  – енергія радіосигналу.

2. Ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за

умови роботи всіх радіостанцій системи [9]:

$$P^{ln} = MP^1 \exp((M-1) \ln(1-P_1)),$$

де  $M$  – кількість радіостанцій в системі радіозв'язку військового призначення.

3. Ймовірність енерго-часового контакту засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови роботи всіх радіостанцій системи радіозв'язку [9]:

$$P^{lne} = P^{vir} P^{ln}$$

4. Ймовірність викриття системи радіозв'язку військового призначення за час проведення радіорозвідки знаходиться при застосуванні приблизної формули Муавра-Лапласа [9]:

$$P_{cp}^{vkr} = 1 - \Phi \left( M - P^{lne} \frac{T_p}{T_{p1}} \right) / \sqrt{\frac{(1 - P^{lne}) P^{lne} T_p}{T_{p1}}},$$

де  $T_p$  – час розвідки засобом радіорозвідки;

$$T_{p1} = \frac{2\Delta F}{kC_{min}^2} - \text{час необхідний для однократного}$$

аналізу діапазону частот, що розвідуються;

$C_{min}$  – мінімальна швидкість передавання інформації в системі радіозв'язку військового призначення;

$k$  – кількість приймачів радіорозвідки;

$\Delta F$  – діапазон частот радіорозвідки.

5. Ймовірність контакту у часі засобу радіорозвідки з однією окремою радіостанцією за умови однієї працюючої радіостанції [9]:

$$P^1 = \left( \frac{S}{C} - T^{vir} \right) \Pi,$$

де  $S$  – довжина пакету;

$C$  – швидкість передавання інформації окремою радіостанцією;

$T^{vir}$  – час прийняття вірного рішення про наявність радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки, за умови, що цей радіосигнал дійсно є;

$\Pi$  – середня продуктивність окремої радіостанції.

6. Співвідношення потужності радіосигналу окремої радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки до потужності еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки [10]:

$$q = \frac{Q}{T N_0 \Delta f} = \frac{Q}{N_0 B},$$

де  $B$  – база радіосигналу.

7. Дальність радіорозвідки (в різноманітних частотних діапазонах) [11–12]:

в діапазоні ДХ, наприклад, дальність радіорозвідки оцінюється за емпіричною формулою Остіна:

$$E_{sig} = \frac{300\sqrt{P}}{D_p} \sqrt{\frac{\alpha}{\sin \alpha}} e^{-\frac{0,0014}{\lambda^{0,6}} D_p},$$

де  $E_{sig}$  – напруженість електромагнітного поля в

точці приймання;

$P$  – потужність випромінювання окремої радіостанції;

$\alpha$  – дуга великого круга між точками приймання та передавання;

$\lambda$  – довжина хвилі;

$D_p$  – дальність радіорозвідки.

8. Ймовірність радіоперехоплення (за умови призначення на один тракт посту перехоплення  $K_{дж}$  джерел випромінювань) [13, 14]:

$$P_{rp} \approx \frac{t_{rp} + \tau_n - 2\tau_0}{K_{дж} (t_n + \tau_n)},$$

де  $t_{rp}$  – тривалість передавання;

$\tau_n$  – час перегляду частоти після настроювання апаратури;

$\tau_0$  – мінімальна тривалість передавання, що необхідно перехопити для отримання необхідної інформації;

$t_n$  – час настроювання тракту перехоплення.

Решта показників є також ймовірнісними, які взагалі розраховуються методом статистичних випробувань. З наведеного вище видно, що перевага надається ймовірнісним показникам. Це легко пояснити з наступних міркувань. Несанкціоноване приймання радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення можливе лише на фоні завад, в умовах змін параметрів операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль та дії інших непередбачуваних факторів. Тому виявлення радіосигналів систем радіозв'язку військового призначення є випадковим, помилки визначення параметрів радіосигналів – випадкові, а висновки та рішення, які радіорозвідка приймає на основі результатів приймання та оброблення радіосигналу, можуть бути помилковими. Але ймовірнісним показником притаманний суттєвий недолік, а саме, перевірка адекватності таких показників вимагає суттєвих обсягів статистичного матеріалу, що далеко не завжди можливо, особливо якщо мова йде про перспективні системи радіозв'язку військового призначення.

Серед детермінованих показників слід відмітити дальність радіорозвідки, що розраховується за емпіричними формулами, та співвідношення потужності радіосигналу радіостанції на вході приймача засобу радіорозвідки до потужності еквівалентного джерела шуму на вході приймача засобу радіорозвідки.

З наведених співвідношень видно, що далеко не всі характеристики радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційного району, які впливають на рівень радіомаскування радіостанцій, враховані у цих співвідношеннях, що не дозволяє якісно вирішити визначене завдання забезпечення необхідного рівня радіомаскування.

Врахувати якомога більше характеристик та

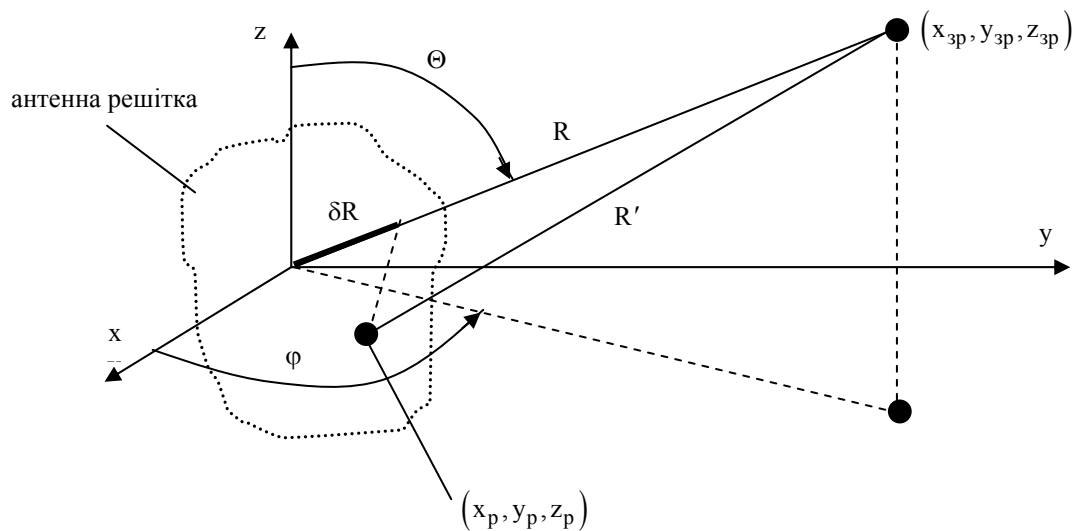
фундаментально підійти до розв'язання даного завдання можливо лише за допомогою теорії електромагнітного поля (ЕМП) [15], яка забезпечує теоретичний аналіз процесу розповсюдження радіохвиль. При чому в якості показника рівня радіомаскування пропонується використовувати розвідувальну доступність радіостанції, яка відображує ступінь легкості, з якою радіостанція може бути викрита засобами радіорозвідки противника. Аналіз процесу викриття радіостанції засобами радіорозвідки противника дозволяє зробити висновок, що такий показник буде складатися з доступності радіостанції для енергетичного викриття, доступності для викриття за напрямом, доступності для викриття за частотою, доступністю для визначення місцеположення, доступності для радіоперехоплення. Зрозуміло, що

базовою складовою буде доступність для енергетичного викриття.

**Мета статті** полягає в розробленні матмоделі енергетичного викриття радіостанції на основі положень теорії ЕМП та отриманні аналітичної залежності доступності радіостанції для енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника від основних характеристик радіостанцій, засобів радіорозвідки та операційного району.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Розробимо математичну модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки. Нехай радіостанція розгорнута в операційному районі, який будемо вважати 4-простором з декартовою системою координат  $(x, y, z)$  і часом  $t$  (рис. 1).



**Рис. 1. Схема взаємного розміщення радіостанції та засобу радіорозвідки противника в операційному районі**

де  $(x_{zp}, y_{zp}, z_{zp})$  – декартові координати засобу радіорозвідки;  
 $R, \Theta, \varphi$  – сферичні координати засобу радіорозвідки;  
 $(x_p, y_p, z_p)$  – декартові координати  $p$ -го випромінювача антенної решітки радіостанції.

$(r_{max} \approx \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right])$ , де  $L$  – максимальний лінійний розмір антени) можна описати антисиметричним 4-тензором 2 рангу ЕМП  $F_{\pi_{kl}}$ :

$$F_{\pi_{kl}} = \frac{\partial A_{\pi_l}}{\partial x^k} - \frac{\partial A_{\pi_k}}{\partial x^l} \quad (k, l = 0, 1, 2, 3)$$

або у розгорнутому вигляді  $F_{\pi_{kl}}$ :

$$\begin{pmatrix} 0 & (\nabla_0 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_0}) & (\nabla_0 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_0}) & (\nabla_0 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_0}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_0}) & 0 & -(\nabla_2 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_2}) & (\nabla_1 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_1}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_0}) & (\nabla_2 A_{\pi_1} - \nabla_1 A_{\pi_2}) & 0 & -(\nabla_3 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_3}) \\ -(\nabla_0 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_0}) & -(\nabla_1 A_{\pi_3} - \nabla_3 A_{\pi_1}) & (\nabla_3 A_{\pi_2} - \nabla_2 A_{\pi_3}) & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $A_{\pi_l}, A_{\pi_k}$  – компоненти 4-потенціалу ЕМП на при роботі на передачу між ближньої зони антенної решітки радіостанції  $A_{\pi_k} = (A_{\pi_0}, A_{\pi_1}, A_{\pi_2}, A_{\pi_3}) = (A_{\pi_t}, A_{\pi_x}, A_{\pi_y}, A_{\pi_z})$

$x^k, x^l$  – компоненти 4-вектору  
 $(x^0, x^1, x^2, x^3) = (t, x, y, z);$   
 $(\nabla_0, \nabla_1, \nabla_2, \nabla_3) = \left( \frac{\partial}{\partial x^0}, \frac{\partial}{\partial x^1}, \frac{\partial}{\partial x^2}, \frac{\partial}{\partial x^3} \right) =$   
 $= \left( \frac{\partial}{\partial t}, \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$  – компоненти 4-вектору

Гамільтона.

$$\begin{pmatrix} 0 & (\nabla_0 A_{z_{p1}} - \nabla_1 A_{z_{p0}}) & (\nabla_0 A_{z_{p2}} - \nabla_2 A_{z_{p0}}) & (\nabla_0 A_{z_{p3}} - \nabla_3 A_{z_{p0}}) \\ -(\nabla_0 A_{z_{p1}} - \nabla_1 A_{z_{p0}}) & 0 & -(\nabla_2 A_{z_{p1}} - \nabla_1 A_{z_{p2}}) & (\nabla_1 A_{z_{p3}} - \nabla_3 A_{z_{p1}}) \\ -(\nabla_0 A_{z_{p2}} - \nabla_2 A_{z_{p0}}) & (\nabla_2 A_{z_{p1}} - \nabla_1 A_{z_{p2}}) & 0 & -(\nabla_3 A_{z_{p2}} - \nabla_2 A_{z_{p3}}) \\ -(\nabla_0 A_{z_{p3}} - \nabla_3 A_{z_{p0}}) & -(\nabla_1 A_{z_{p3}} - \nabla_3 A_{z_{p1}}) & (\nabla_3 A_{z_{p2}} - \nabla_2 A_{z_{p3}}) & 0 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де  $(A_{z_{p0}}, A_{z_{p1}}, A_{z_{p2}}, A_{z_{p3}})$  – компоненти 4-потенціалу ЕМП в дальній зоні антенної решітки радіостанції (в місці розміщення засобу радіорозвідки противника)

$$A_{z_{p\mu}} = (A_{z_{p1}}, A_{z_{p2}}, A_{z_{p3}}).$$

Зрозуміло, що ваговою складовою енергетичного викриття радіостанції засобом радіорозвідки противника є процес перетворення 4-тензору ЕМП  $F_{\pi kl}$  (1) в 4-тензор (2)  $F_{z_{p\mu\nu}}$ , що відповідає тензорному рівнянню

$$F_{z_{p\mu\nu}} = d_{e_{\mu\nu kl}} F_{\pi kl} \quad (3)$$

Спираючись на теорію тензорного числення [16], можна зробити висновок, що  $d_{e_{\mu\nu kl}}$  є 4-тензором 4 рангу, який має 256 компонентів. Будемо його називати **тензором доступності радіостанції для її енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника**. Сутність доступності радіостанції для її енергетичного викриття полягає в тому, що вона відображує ступінь легкості з якою засобами радіорозвідки противника може бути здійснене енергетичне викриття радіостанції.

Отримаємо залежності компонентів тензора доступності радіостанції для енергетичного викриття від параметрів радіостанції, засобу радіорозвідки та операційного району. Для цього спочатку перетворимо тензорне рівняння (3) до виду

$$F_{z_{p\mu\nu}} F'_{\pi kl} = d_{e_{\mu\nu kl}} \quad (4)$$

де  $F_{\pi kl} F'_{\pi kl} = I$ .

Як відомо з матричного аналізу компоненти  $F'_{\pi kl}$

При цьому ЕМП в дальній зоні антенної решітки радіостанції ( $r_{\min} \approx \frac{2L^2}{\lambda}$ ) (в місці розміщення засобу радіорозвідки противника) можна описати антисиметричним 4-тензором ЕМП 2 рангу  $F_{z_{p\mu\nu}}$ :

матимуть такий вигляд:

$$F'_{\pi kl} = \begin{pmatrix} \frac{F'_{\pi 00}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 01}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 02}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 03}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 10}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 11}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 12}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 13}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 20}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 22}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 23}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 24}}{\det F_{\pi}} \\ \frac{F'_{\pi 30}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 31}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 32}}{\det F_{\pi}} & \frac{F'_{\pi 33}}{\det F_{\pi}} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де  $F'_{\pi 00}, F'_{\pi 01}, F'_{\pi 02}, F'_{\pi 03}, F'_{\pi 10}, F'_{\pi 11}, F'_{\pi 12}, F'_{\pi 13}, F'_{\pi 14},$

$F'_{\pi 20}, F'_{\pi 21}, F'_{\pi 22}, F'_{\pi 23}, F'_{\pi 30}, F'_{\pi 31}, F'_{\pi 32}, F'_{\pi 33},$

$F'_{\pi 40}, F'_{\pi 41}, F'_{\pi 42}, F'_{\pi 43}$  – алгебраїчні доповнення компонентів тензора  $F_{\pi kl}$  в детермінанті  $\det F_{\pi}$ ;

$$F_{\pi kl} = \begin{pmatrix} F_{\pi 00} & F_{\pi 01} & F_{\pi 02} & F_{\pi 03} \\ F_{\pi 10} & F_{\pi 11} & F_{\pi 12} & F_{\pi 13} \\ F_{\pi 20} & F_{\pi 21} & F_{\pi 22} & F_{\pi 23} \\ F_{\pi 30} & F_{\pi 31} & F_{\pi 32} & F_{\pi 33} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} F_{\pi 0} & F_{\pi 8} & F_{\pi 7} & F_{\pi 6} \\ -F_{\pi 8} & F_{\pi 1} & -F_{\pi 9} & F_{\pi 5} \\ -F_{\pi 7} & F_{\pi 9} & F_{\pi 2} & -F_{\pi 4} \\ -F_{\pi 6} & -F_{\pi 5} & F_{\pi 4} & F_{\pi 3} \end{pmatrix} \text{ – при}$$

використанні матричних позначень.

Далі отримаємо детермінант  $\det F_{\pi}$ :

$$\det F_{\pi} = (\nabla_0 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 0})^2 (\nabla_3 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 3})^2 + (\nabla_0 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 0})^2 (\nabla_1 A_{\pi 3} - \nabla_3 A_{\pi 1})^2 + (\nabla_0 A_{\pi 3} - \nabla_3 A_{\pi 0})^2 (\nabla_2 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 2})^2 + 2(\nabla_0 A_{\pi 1} - \nabla_1 A_{\pi 0})(\nabla_3 A_{\pi 2} - \nabla_2 A_{\pi 3}) \times \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \times (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + 2 (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) \times \\ & \times (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + 2 (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times \\ & \times (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) \end{aligned}$$

та алгебраїчні доповнення компонентів тензору  $F_{n_{kl}}$  в детермінанті  $\det F_{\Pi}$ :

$$F'_{n_{00}} = 0; \quad (7)$$

$$F'_{n_{01}} = (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (8)$$

$$F'_{n_{02}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (9)$$

$$F'_{n_{03}} = (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (10)$$

$$F'_{n_{10}} = -(\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (11)$$

$$F'_{n_{11}} = 0; \quad (12)$$

$$F'_{n_{12}} = -(\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (13)$$

$$F'_{n_{13}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (14)$$

$$F'_{n_{20}} = -(\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (15)$$

$$F'_{n_{21}} = (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}); \quad (16)$$

$$F'_{n_{22}} = 0; \quad (17)$$

$$F'_{n_{23}} = -(\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (18)$$

$$F'_{n_{30}} = -(\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (19)$$

$$F'_{n_{31}} = (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) - (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}); \quad (20)$$

$$F'_{n_{32}} = (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) + (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}); \quad (21)$$

$$F'_{n_{33}} = 0. \quad (22)$$

З (7-22) видно, що 112 компонентів тензору дорівнюють нулю. Отже, скористаємося (4,6-22) та доступності радіостанції для енергетичного отримаємо вирази для ненульових компонентів викриття засобами радіорозвідки противника даного тензору з першими індексами 01:

$$\begin{aligned} d_{eB_{0101}} &= (\nabla_0 A_{3p_1} - \nabla_1 A_{3p_0}) \left( (\nabla_0 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) \right)^2 - \\ & - (\nabla_0 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_0}) (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_1 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_1}) + (\nabla_0 A_{n_3} - \nabla_3 A_{n_0}) \times \\ & \times (\nabla_3 A_{n_2} - \nabla_2 A_{n_3}) (\nabla_2 A_{n_1} - \nabla_1 A_{n_2}) \Bigg) \frac{1}{\det F_{\Pi}}; \quad (23) \end{aligned}$$

$$d_{eB0102} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1})^2 + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) + (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (24)$$

$$d_{eB0103} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2})^2 + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (25)$$

$$d_{eB0110} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3})^2 - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (26)$$

$$d_{eB0112} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (27)$$

$$d_{eB0113} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (28)$$

$$d_{eB0120} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1})^2 - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (29)$$

$$d_{eB0121} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0})^2 (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) + (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) + (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (30)$$

$$d_{eB0123} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0})^2 (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (31)$$

$$d_{eB0130} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( -(\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2})^2 - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{II}}; \quad (32)$$

$$d_{e\theta_{0131}} = (\nabla_0 A_{3p1} - \nabla_1 A_{3p0}) \left( (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0})^2 (\nabla_1 A_{n3} - \nabla_3 A_{n1}) - (\nabla_0 A_{n1} - \nabla_1 A_{n0}) (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) (\nabla_3 A_{n2} - \nabla_2 A_{n3}) - (\nabla_0 A_{n2} - \nabla_2 A_{n0}) \times (\nabla_0 A_{n3} - \nabla_3 A_{n0}) (\nabla_2 A_{n1} - \nabla_1 A_{n2}) \right) \frac{1}{\det F_{\Pi}}. \quad (33)$$

Решта з 132 виразів для ненульових компонентів тензору, що розглядається, отримуються аналогічно. Після цього, спираючись

на [15, 17], 4-потенціал ЕМП  $A_{n_k}$  на межі ближньої зони антенної решітки радіостанції запишемо таким чином:

$$A_{n1} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^x \exp(-\psi_p^x) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (34)$$

$$A_{n2} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^y \exp(-\psi_p^y) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (35)$$

$$A_{n3} = \frac{\mu}{4\pi} \sum_{p=1}^N j_p^z \exp(-\psi_p^z) \exp \left( -ik \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right) \Big/ \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{2} + \left( \frac{L}{\lambda} \right)^{\frac{1}{3}} \right]; \quad (36)$$

$$A_{n0} = \frac{1}{-i\omega\epsilon\mu} \operatorname{div} A_{\Pi}, \quad (37)$$

де  $\mu$  – абсолютна магнітна проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, Гн/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м);

$N$  – кількість випромінювачів в антені радіостанції;

$(j_p^x, j_p^y, j_p^z)$  – складові вектору амплітуд щільності електричного струму в випромінювачах антенної решітки радіостанції, яка працює на передачу, а/м<sup>3</sup>;

$(\psi_p^x, \psi_p^y, \psi_p^z)$  – складові вектору фаз щільності електричного струму в випромінювачах антенної

решітки радіостанції, яка працює на передачу;

$$i = \sqrt{-1};$$

$k = \omega\sqrt{\epsilon\mu}$  – хвильове число операційного району;

$$\omega = 2\pi f \text{ – кругова частота поля, Гц;}$$

$\epsilon$  – абсолютна діелектрична проникність операційного району, як середовища розповсюдження електромагнітних хвиль, ф/м (якщо антена радіостанції знаходиться у повітрі  $\epsilon = 10^{-9}/36\pi$  ф/м).

А 4-потенціал ЕМП  $A_{3p_\mu}$  в дальній зоні антенної решітки радіостанції (в районі розміщення засобу радіорозвідки) запишемо таким чином:

$$A_{3p1} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^x \exp(-\psi_p^x) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (38)$$

$$A_{3p2} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^y \exp(-\psi_p^y) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (39)$$

$$A_{3p3} \approx \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-ikR}}{R} \sum_{p=1}^N j_p^z \exp(-\psi_p^z) \exp \left[ ik \left( \sin \Theta (x_p \cos \varphi + y_p \sin \varphi) + z_p \cos \Theta \right) \right]; \quad (40)$$

$$A_{3p0} = \frac{1}{-i\omega\epsilon\mu} \operatorname{div} A_{3p}, \quad (41)$$

де  $V$  – функція ослаблення в операційному районі.

Таким чином, підставляючи (34–41) у (6, 23–33) та решту виразів ненульових компонентів розглядаемого тензору, отримуємо шукані залежності 144 компонентів 4-тензору доступності радіостанції для енергетичного викриття від характеристик радіостанції, засобів радіорозвідки та операційного району.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонована математична модель енергетичного викриття радіостанції засобами радіорозвідки, основана на застосуванні положень теорії ЕМП та теорії тензорного числення. На відміну від існуючих моделей вона дозволяє підійти до вирішення завдання забезпечення

необхідного рівня радіомаскування більш фундаментально та врахувати більш значну кількість характеристик, що впливають на цей рівень. Дана модель показує, що доступність радіостанції для енергетичного викриття може бути подана 4-тензором 4 рангу, який містить 144 ненульових компоненти, та дозволяє отримати залежності цих компонент від амплітудно-фазового розподілу струму по розкриттю антенної решітки радіостанції, координат та кількості випромінювачів, лінійних розмірів антенної решітки, довжини хвилі, відстані від радіостанції до засобу радіорозвідки противника, абсолютних магнітної і діелектричної проникностей та функції ослаблення операційного району.

Тензор доступності радіостанції для

енергетичного викриття засобами радіорозвідки противника є основою розвідувальної доступності радіостанції, як показника рівня її радіомаскування. Тому в майбутніх роботах доцільно отримати аналітичні залежності решти основних доступностей радіостанції, зокрема доступностей для викриття за напрямом, викриття за частотою, викриття місцеположення, доступності для радіоперехоплення та на їх основі отримати аналітичну залежність розвідувальної доступності як окремої радіостанції так і системи радіозв'язку військового призначення в цілому для застосування в ході розв'язання задачі забезпечення необхідного рівня радіомаскування перспективної системи радіозв'язку військового призначення.

### Література

**1. Оружие и технологии России:** энциклопедия. XXI век в 13 т. [Текст] / под ред. зам. Пред. Прав-ва РФ – Министра обороны РФ С. Иванова. – М. : Изд. дом “Оружие и технологии”, 2006. Т. XIII: Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы. 2006. – 695 с. **2. Фиолентов А.** Французский авиационный комплекс радиоэлектронной разведки SARIG-NG [Текст] / А. Фиолентов // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 4. – С. 44–46. **3. Фароский А.** Средства радиоэлектронной войны ВМС Франции [Текст] / А. Фароский // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 5–6. – С. 75–82. **4. Стрелецкий А.** Мобильный автоматизированный комплекс радиоразведки сухопутных войск США [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 5–6. – С. 40–42. **5. Стрелецкий А.** Система радиоэлектронной разведки сухопутных войск США “Гардрейл коммон сенсор” [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2001. – № 9. – С. 23–26. **6. Кондратьев А.** Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США “Профет” [Текст] / А. Кондратьев // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 37–41. **7. Стрелецкий А.** Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны “Вулфпак” [Текст] / А. Стрелецкий // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27–28. **8. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиомаскировка и помехозащита [Текст] / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М. : Изд-

во МАИ, 1999. – 240 с. **9. Макаренко С. И.** Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты [Текст] : монография / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов. – СПб. : Свое изд-во, 2013. – 166 с. **10. Палий А. И.** Радиоэлектронная борьба (средства и способы подавления и защиты радиоэлектронных систем) [Текст] / А. И. Палий. – М. : Воениздат, 1981. – 320 с. **11. Цветнов В. В.** Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие [Текст] / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. – М. : Изд-во МАИ, 1998. – 248 с. **12. Вартанесян В. А.** Радиоэлектронная разведка [Текст] / В. А. Вартанесян. – М. : Воениздат, 1975. – 255 с. **13. Вартанесян В. А.** Радиопеленгация [Текст] / В. А. Вартанесян, Э. Ш. Гойхман, М. И. Рогаткин. – М. : Воениздат, 1966. – 248 с. **14. Куприянов А. И.** Теоретические основы радиоэлектронной борьбы [Текст] / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров. – М. : Вузовская книга, 2007. – 356 с. **15. Ландау Л. Д.** Краткий курс теоретической физики [Текст]: в 3 кн. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука: Глав. ред. физ.-мат. лит., 1969. Кн.1: Механика. Электродинамика. – 1969. – 271 с. **16. Аквисис В. В.** Тензорное исчисление [Текст] / М. А. Аквисис, В. В. Гольдберг. – М. : Изд-во “Наука”, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1972. – 351 с. **17. Зелкин Е. Г.** Методы синтеза антенн: Фазированные антенные решетки и антенны с непрерывным раскрытием [Текст] / Е. Г. Зелкин, В. Г. Соколов. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с

## ТЕНЗОР ДОСТУПНОСТИ РАДИОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ВСКРЫТИЯ СРЕДСТВАМИ РАДИОРАЗВЕДКИ ПРОТИВНИКА

*Анатолий Петрович Волобуев (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

*В статье рассмотрена актуальная научная задача обеспечения необходимого уровня радиомаскировки систем радиосвязи военного назначения. В качестве показателя уровня радиомаскировки радиостанций и систем радиосвязи военного назначения, которые разворачиваются на их базе, предложено использовать их разведывательную доступность, которая состоит из доступности для энергетического вскрытия, доступности для вскрытия по частоте, доступности для вскрытия по направлению, доступностью для определения местоположения и доступностью для радиоперехвата. Предложена математическая модель энергетического вскрытия радиостанции средствами радиоразведки, основанная на применении отдельных положений теории электромагнитного поля и теории тензорного исчисления. При этом доступность радиостанции для энергетического вскрытия средствами радиоразведки противника представляется 4-тензором 4 ранга. Получены зависимости компонентов данного тензора от амплитудно-фазового распределения тока по раскрытию антенной решетки радиостанции, координат и количества излучателей, линейных размеров*



антенной решетки, длины волны, расстояния от радиостанции до средства радиоразведки противника, абсолютных магнитной и диэлектрической проницаемостей и функции ослабления операционного района, как среды распространения радиоволн.

**Ключевые слова:** радиостанция; система радиосвязи военного назначения; уровень радиомаскировки; разведывательная доступность; тензор доступности радиостанции для энергетического вскрытия.

### THE RADIO STATION ACCESSIBILITY TENSOR FOR ENERGY DETECTION BY ENEMY RADIO INTELLIGENCE MEANS

*Anatolii P. Volobuiev (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*This paper describes a topical problem of tactical radio system necessary radiocamouflage level support. An intelligence accessibility was proposed like index of radio station and tactical radiosystem radiocamouflage level. The index consist of an accessibility to energy detection, an accessibility to frequency detection, an accessibility to direction detection, an accessibility to location detection and an accessibility to radio interception. An energy detection of radio station by an hostile signals intelligence facilities a mathematical model was proposed. The model was created on base the electromagnetic field theory and the tensor calculus theory. An radio station accessibility to energy detection by an enemy communication intelligence facilities was formatted like 4-tensor of rank 4. Mathematical relations between the tensor components and amplitude-phase distribution of current across array antenna aperture, radiating element coordinates and amount, array antenna linear dimension, wavelength, spacing between a radio station and an enemy communication intelligence facilities, absolute permeability and absolute permittivity, source-attenuation function of an operations area like a radiowaves propagation medium.*

**Keywords:** radio station; tactical radiosystem; radiocamouflage level; intelligence accessibility; accessibility tensor of a radio station to energy detection.

### References

- 1. Arms and Technologies of Russia:** encyclopedia. XXI Century in 13 t. (2006). [*Oruzhie i tehnologii Rossii: entsiklopediya*], Moscow, "Oruzhie i tehnologii", T. XIII: Sistemyi upravleniya, svyazi i radioelektronnoy borbyi, 695 p.
- 2. Fiolentov A.** (2002), French aviation complex electronic intelligence SARIG-NG. [*Frantsuzskiy aviatsionniy kompleks radioelektronnoy razvedki SARIG-NG*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 4, pp. 44–46.
- 3. Faroskiy A.** (2001), Means electronic warfare French Navy. [*Sredstva radioelektronnoy voynyi VMS Frantsii*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 5–6, pp. 75–82.
- 4. Streletskiy A.** (2001), Mobile automated complex of signals intelligence United States Army. [*Mobilniy avtomatizirovanniy kompleks radiatorazvedki suhoputnyih voysk SShA*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, № 5–6, pp. 40–42.
- 5. Streletskiy A.** (2001), System of electronic intelligence United States Army "Gardreyl Common Sensor". [*Sistema radioelektronnoy razvedki suhoputnyih voysk SShA "Gardreyl kommon sensor"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №9, pp. 23–26.
- 6. Kondratev A.** (2008), Promising complex electronic intelligence United States Army "Prophet". [*Perspektivniy kompleks radioelektronnoy razvedki suhoputnyih voysk SShA "Profet"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №7, pp. 37–41.
- 7. Streletskiy A.** (2002), American perspective land complex conducting electronic warfare "Wolfpack" [*Amerikanskiy perspektivniy nazemniy kompleks vedeniya radioelektronnoy voynyi "Vulfpak"*], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, №10, pp. 27–28.
- 8. Tsvetnov V.V., Demin V.P., Kupriyanov. A.I.** (1999), Electronic warfare: radio camouflage and immunity. [*Radioelektronnaya borba: radiomaskirovka i pomehozaschita*], Moscow, MAI, 240 p.
- 9. Makarenko S.I., Ivanov M.S., Popov S.A.** (2013), Noise immunity of the system due to the operating frequency Hopping. [*Pomehozaschishennost sistem svyazi s psevdosluchaynoy perestroykoy rabochey chastoty*], **monografiya**, SPb., Svoe izd-vo, 166 p.
- 10. Paliy A.I.** (1981), Electronic warfare (the means and methods of suppression and protection of electronic systems), [*Radioelektronnaya borba (sredstva i sposobyi podavleniya i zaschityi radioelektronnyih sistem)*], Moscow, Voenizdat, 320 p.
- 11. Tsvetnov V.V., Demin V.P., Kupriyanov A.I.** (1998), Electronic warfare: radio reconnaissance and jamming. [*Radioelektronnaya borba: radiatorazvedka i radioprotivodeystvie*], Moscow, MAI, 248 p.
- 12. Vartanesyan V.A.** (1975), Radio-electronic intelligence. [*Radioelektronnaya razvedka*]. Moscow, Voenizdat, 255 p.
- 13. Vartanesyan V.A., Goyhman E.Sh., Rogatkin M.I.** (1966), Radio direction finding. [*Radiopelengatsiya*], Moscow, Voenizdat, 248 p.
- 14. Kupriyanov A.I., Saharov A.V.** (2007), Theoretical foundations of electronic warfare. [*Teoreticheskie osnovyi radioelektronnoy borby*], Moscow, Vuzovskaya kniga, 356 p.
- 15. Landau L.D., Lifshic E.M.** Theoretical physics short course in 3 t. (1969) [*Kratkiy kurs teoreticheskoy fiziki*], T.1 Mehanika i elektrodinamika, Moscow, 271 p.
- 16. Akivis M.A., Goldberg V.V.** (1972), Tensor calculus. [*Tenzornoe ischislenie*], Moscow, "Nauka", 351 p.
- 17. Zelkin, E.G., Sokolov, V.G.** Antennas synthesis methods: Phased-array antennas and continuous antenna aperture (1980), [*Metodi synteza anten: Phazirovannye antennae reshetki i antenni s neprerivnim raszkivom*], Moscow, Sov. radio, 296 p.

Отримано: 14.07.2015 p.

*Сергій Володимирович Волошко (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Ігор Іванович Слюсарь (канд. техн. наук, доцент)*

*Артем Олексійович Москаленко (канд. техн. наук)*

*Ігор Володимирович Ромашко*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна*

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Останнім часом широкий розвиток отримала концепція мережево-центричної війни (NET-CENTRIC WAR OPERATIONS, NCWO), сутність якої полягає в об'єднанні сенсорної і бойової підсистем із метою підвищення швидкості керування та забезпечення повної синхронізації бойових дій. Необхідним аспектом реалізації даної концепції вважається впровадження нових систем керування, розвідки, комп'ютерного моделювання, оперативного бойового забезпечення та ін. У цьому відношенні незмінним лідером стосовно проведення революційних змін у військово-технічній сфері залишаються США. В якості основного інформаційного середовища для реалізації NCWO розглядається супутниковий зв'язок.

У статті в рамках згаданої концепції розглянуто проекти нових і перспективних систем супутникового зв'язку із застосуванням технології цифрового діаграмоутворення і ортогональної частотної дискретної модуляції.

**Ключові слова:** система супутникового зв'язку; цифрове діаграмоутворення; цифрова антенна решітка.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасна епоха глобалізації змушує провідні космічні держави поєднувати зусилля в напрямку подальшого розвитку наукомістких і ресурсомістких технологій у сфері телекомунікацій. Підтвердженням цього є спроби здійснити проект глобальної інформаційної космічної системи "НЕО" для глобального обміну інформаційними потоками через супутники різних держав та різного призначення.

В той же час бойові дії сучасності показують, що в нинішніх умовах значно збільшився обсяг інформації, необхідний для прийняття рішень, зростає і динамічність самої інформації, яка швидко застаріває. У сучасному бою для ухвалення адекватного рішення необхідна оперативна й точна інформація в реальному часі, що відповідає сформованій на даний момент обстановці. Складність і динамічність інформації вимагають значно більше часу для її аналізу, а сучасний характер бойових дій - прийняття рішень у якомога коротші строки, а в окремих випадках - миттєво. Тому у збройних силах найбільш розвинених держав з'явилися такі нові форми ведення воєнних дій, як інформаційні операції (наступальні, оборонні, спеціальні), і нові способи збройної боротьби, як наприклад, боротьба із системами бойового управління (Command Control Warfare – C2W). Технічною основою забезпечення нових форм ведення воєнних дій повинні служити перспективні системи зв'язку, створені на основі впровадження новітніх інформаційних технологій.

Цифрові транспортні мережі, що створюються на основі систем ущільнення існуючих середовищ

передачі: коаксіального і волоконно-оптичного кабелю, витої пари, радіофіру – дозволяють забезпечити цифрову форму подання всіх переданих і оброблюваних сигналів, незалежно від типу переданої інформації, будь то мова, текст, дані, графіка й зображення, а також цифрові методи їхньої обробки і передачі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведені протягом останніх років численні наукові дослідження щодо можливості застосування в системах зв'язку сучасних технологій цифрової обробки сигналів на основі надрелеївського розрізнення, цифрового діаграмоутворення (ЦДУ) [1, 5-6], Multiple Input Multiple Output (MIMO) [7, 8], а також комбінацій просторового, частотного та часового розподілу каналів зв'язку дозволяють зробити висновок: технології ЦДУ, MIMO, програмної реконфігурації стають базовими для сучасних систем зв'язку і суттєво покращують їх характеристики.

При створенні перспективних засобів супутникового зв'язку в умовах удосконалення форм інформаційної боротьби та підвищення вимог до ефективності систем зв'язку значну увагу слід спрямувати на застосування технології цифрового діаграмоутворення, методів ортогональної частотної дискретної модуляції сигналів (OFDM) та неортогональної частотної дискретної модуляції сигналів (N-OFDM) [2].

**Мета статті.** Обґрунтування доцільності створення нових систем супутникового зв'язку за рахунок застосування цифрового діаграмоутворення, надрелеївського розрізнення

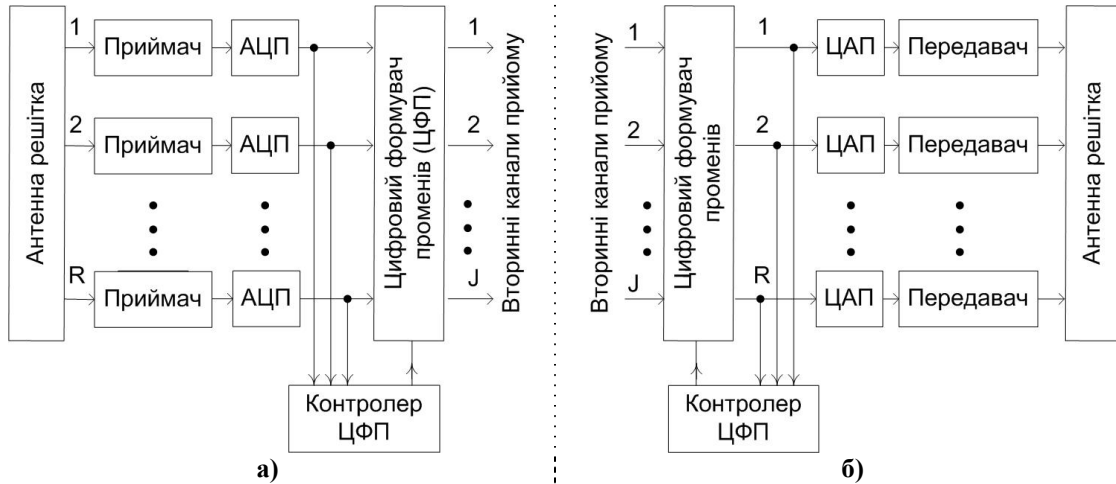
сигналів та удосконалення методів обробки сигналів в засобах зв'язку.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

**Проекти із застосуванням технологій цифрового діаграмоутворення**

Серед проектів з ЦДУ слід назвати вже реалізований проект ССЗ THURAYA, який фінансувався компанією Thuraya Satellite

Telecommunication (OAE). До складу космічного сегменту THURAYA входять космічні апарати (КА) на геостаціонарній орбіті зі встановленою на борту приймально-передавальною ЦАР L-діапазону. Антенна решітка утворена із 128 дипольних елементів і забезпечує одночасне формування до 300 променів. Приймальний та передавальний сегменти ЦАР представлені на рис. 1.



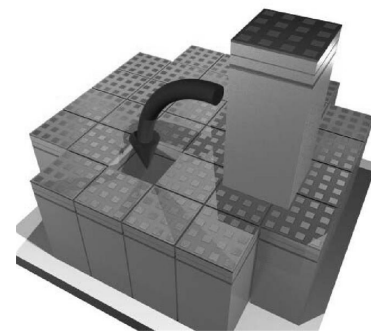
**Рис. 1. Приймальний (а) та передавальний (б) сегменти ЦАР супутника-ретранслятора Thuraya**

За рахунок ЦДУ та перенацілення променів система спроможна адекватно реагувати на зміну інформаційного навантаження. При цьому в бортовому спецобчислювачі реалізуються функції виділення каналів зі змінною смугою пропускання, декодування сигналів у стандартах FDMA та TDMA, їхньої квадратурно-фазової модуляції та демодуляції, що дозволяє забезпечити комутацію понад 25 000 дуплексних каналів зв'язку, розрахованих на обслуговування 1,75 млн. абонентів одночасно.

Особливістю проекту квазістаціонарної ССЗ компанії Mitsubishi Electric (Японія) є здатність забезпечення за рахунок ЦАР кожним із трьох супутників системи до 100 000 каналів двостороннього зв'язку. При цьому формування численних променів діаграми спрямованості дозволяє більш раціонально використовувати ресурс ретрансляторів.

На створення антени з цифровим формуванням променів в інтересах ширококутового супутникового зв'язку спрямований також проект SANTANA (Smart Antenna Terminal), започаткований та профінансований Міністерством освіти і досліджень Німеччини. У проект приймали участь Гамбурзький технічний університет, Інститут комунікації та навігації, Інститут високочастотної та НВЧ техніки, а також підприємства EADS Astrium, IMST, DLR, IHF, VIcon та ін. Метою проекту було створення демонстратора активної ЦАР Ка-діапазону. Проект складався з двох етапів. У ході першого були розроблені, створені та досліджені 16-елементні приймальний та передавальний модулі

ЦАР. На другому етапі за рахунок використання сукупності базових модулів створений демонстратор 4-модульної (64-елементної) приймально-передавальної ЦАР. Подальші дослідження в проекті SANTANA були спрямовані на системну інтеграцію, у ході якої була розроблена, створена та досліджена 16-модульна (256-елементна) приймально-передавальна супутникова ЦАР (рис. 2).



**Рис. 2. Модульний принцип формування 256-елементної ЦАР**

З огляду на використання повітряного сегменту в перспективних системах супутникового зв'язку заслугоує на увагу проект HALO-Network фірми Angel Technologies Corporation (США) із стратосферною базовою станцією мегаполісної радіомережі, що розміщується на спеціальному літаку Proteus каліфорнійської фірми Scaled Composites. Згідно проекту ЦАР повинна замінити рухому антену. Літак Proteus знаходиться на висоті 18-20 км і рухається за кільцевою траєкторією з діаметром кола 10-15 км. Він має охоплювати послугами ширококутового цифрового зв'язку

сотні тисяч наземних користувачів на площі великого мегаполісу з радіусом 120-150 км.

Важливе значення має впровадження ЦАР у систему супутникової радіонавігації GPS (США), яка набула поширення по всьому світу, а її приймальні індикатори стали продуктами масового попиту. Перспективи розширення комерційного ринку навігаційної апаратури виявилися настільки вражаючі, що США здійснили модифікацію системи під цивільні потреби.

### *Проекти із застосуванням технологій ортогональної частотної дискретної модуляції*

Найбільш придатними для військових систем супутникового зв'язку (ВССЗ) вважаються широкопasmові сигнали (ШСС), які забезпечують значні швидкості передачі, підвищену завадостійкість та енергетичну прихованість. Пріоритетним для ВССЗ із ЦДУ є використання ШСС на основі OFDM. Цей метод використовується у стандартах HIPERLAN/2, IEEE 802.11, IEEE 802.16 [4], тощо. Сутність методу OFDM полягає в розподілі всієї смуги частот на множину підканалів фіксованої ширини, які можна розглядати як набір систем із QAM.

До ключових переваг методу OFDM варто віднести поєднання високої швидкості передачі разом із протидією міжканальній інтерференції – явищу, що є наслідком багатопроменевого поширення. При цьому відсутність частотної залежності каналів забезпечується ортогональністю несучих сигналів. Застосування OFDM забезпечує підвищення показників порогових співвідношень сигнал/шум та енергетичну ефективність сигналу на біт інформації у порівнянні з традиційними методами модуляції. Крім того, наявність низькошвидкісних субканалів робить модуляцію OFDM особливо зручною для реалізації її в ЦАР з точки зору обробки інформації у реальному масштабі часу.

### *Література*

1. Слюсар В. И. Цифровое формирование луча в системах связи: будущее рождается сегодня / В. И. Слюсар // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – № 1. – С. 6–12. 2. Филиппов А. Ю. Алгоритмы модуляции технологий xDSL // Сети ЭВМ и телекоммуникации. Режим доступа: <http://lecture.by.ru/articles/xdsl>. 3. Зубарев Ю. Б. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы / Ю. Б. Зубарев, М. И. Кривошеев, И. Н. Красносельский – М. : НИИР. 2001. – 568 с. 4. Рошан П. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 801.11 / П. Рошан, Д. Лиэри. – М. : Вильямс, 2004. – 304 с. 5. Слюсар В. И.

Одним із OFDM-проектів в інтересах збройних сил США є MinuteMan, який фінансується Office of Naval Research (ONR) і здійснюється з 2000 р. Electrical Engineering Department and Computer Science Department of UCLA (США). Мета проекту – розробка системи радіозв'язку та обміну даними сил флоту з безпілотними повітряними, надводними і наземними апаратами.

До речі, фірма Nova Engineering пропонує вже комплекти зв'язку для ВМС США, які використовують принцип OFDM та випускаються серійно (HDR LOS Radio Modem). У сухопутних військах НАТО незабаром з'явиться система зв'язку, що використовує військову версію протоколу 802.11g (OFDM), її виробництво освоїла нідерландська фірма MobiComm.

### **Висновки і перспективи подальших досліджень**

Наведений перелік проектів і програм, що спираються на застосування технології ЦДУ та модуляції OFDM (N-OFDM), є далеко не повним і постійно розширюється.

Крім того, при створенні перспективних засобів супутникового зв'язку зростає кількість досліджень, спрямованих на впровадження технологій просторово-часової і просторово-поляризаційної обробки сигналів. В останні роки все більшого поширення набуває застосування модуляції OFDM (N-OFDM) в сукупності з випромінюванням сигналів подвійної поляризації.

Отже, удосконалення сучасних засобів зв'язку шляхом впровадження технології ЦДУ та модуляції OFDM (N-OFDM) – закономірний історично-діалектичний процес розвитку. Використання зазначених технологій є визначним явищем у розвитку ВССЗ, здатним кардинально вплинути на якість ведення ефективних бойових дій в епоху мережево-центричних та інформаційних воєн.

Цифровые антенные решетки в зарубежных системах мобильной связи / В. И. Слюсар, М. А. Заблочкин // Зв'язок. – 1999. – №1. – С. 25–27. 6. Слюсар В. И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи / В. И. Слюсар // Радиоаматор. – 1999. – №8. – С. 58–59. 7. Слюсар В. И. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов / В. И. Слюсар // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2005. – №8. – С. 52–59. 8. Слюсар В. И. Метод многоимпульсной передачи сигналов в ММО-системе / В. И. Слюсар, А. Н. Дубик // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 2006. – №3. – С. 75–80.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ**

*Сергей Владимирович Волошко (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Игорь Иванович Слюсарь (канд. техн. наук, доцент)*

*Артем Алексеевич Москаленко (канд. техн. наук)*

*Игорь Владимирович Ромашко*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина*

В последнее время широкое развитие получила концепция сете-центрической войны (NET-CENTRIC WAR OPERATIONS, NCWO), суть которой состоит в объединении сенсорной и боевой подсистем с целью повышения скорости управления и обеспечения полной синхронизации боевых действий. Необходимым аспектом реализации данной концепции считается внедрение новых систем управления, разведки, компьютерного моделирования, оперативного боевого обеспечения и т.п. В этом отношении бесспорным лидером относительно проведения революционных изменений в военно-технической сфере остаются США. В качестве основной информационной среды для реализации NCWO рассматривается спутниковая связь.

В статье в рамках упомянутой концепции рассмотрены проекты новых и перспективных систем спутниковой связи с применением технологии цифрового диаграммообразования и ортогональной частотной дискретной модуляции.

**Ключевые слова:** система спутниковой связи; цифровое диаграммообразование; цифровая антенная решётка.

## THE USE OF THE DIGITAL SIGNALS PROCESSING TECHNOLOGY FOR ADVANCED SATELLITE COMMUNICATIONS SYSTEMS DEVELOPMENT

*Serhii V. Voloshko (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Ihor I. Sliusar (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

*Artem O. Moskalenko (Candidate of Technical Sciences)*

*Ihor V. Romashko*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine*

In recent years, widely developed the concept of network-centric war (NET-CENTRIC WAR OPERATIONS, NCWO), the essence of which is to combine the sensor and combat subsystems to enhance the speed and control to ensure full synchronization of the fighting. An essential aspect of the implementation of this concept is the introduction of new management systems, intelligence, computer simulation, operational combat support, etc. In this respect, the undisputed leader of the revolutionary changes regarding the military-technical sphere are the United States. As the main information environment for the implementation of NCWO considered satellite.

The article referred to the concept as part of the drafts of new and emerging satellite communication systems using digital beamforming technology and orthogonal frequency discrete modulation.

**Keywords:** satellite communication system; digital beamforming; digital antenna array.

### References

1. Sliusar V.I. (2001), [Tsifrovoe formirovanie lucha v sistemah svyazi: budushee rozhdetsya segodnya], Elektronika: Nauka, Tehnologiya, Biznes, № 1. pp. 6–12.
2. Filiminov A.Y. [Algoritmy modulyatsii tehnologiy xDSL], Seti EVM i telekommunikatsii, Available at: <http://lecture.by.ru/articles/xdsl>.
3. Zubarev Y.B., Krivosheev M.I., Krasnoselskiy I.N. (2001), [Tsifrovoe televizionnoe veschaniye. Osnovy, metody, sistemy], Moscow, NIIR, 568 p.
4. Roshan P., Lieri D. (2004), [Osnovy postroyeniya besprovodnykh lokalnykh setey standarta 801.11], Moscow, Vilyams, 304 p.
5. Sliusar V.I., Zablotskiy M.A. (1999), [Tsifrovyye anteny reshetki v zarubezhnykh sistemah mobilnoy svyazi], Zviyazok, № 1. pp. 25–27.
6. Sliusar V.I. (1999), [Tsifrovoe diagrammoobrazovanie – bazovaya tehnologiya perspektivnykh sistem svyazi], Radioamator, № 8, pp. 58–59.
7. Sliusar V.I. (2005), [Sistemy MIMO: printsipy postroyeniya i obrabotka signalov], Elektronika: Nauka, Tehnologiya, Biznes, № 8, pp. 52–59.
8. Sliusar V.I., Dubik A.N. (2006), [Metod mnogoimpulsnoy peredachi signalov v MIMO-sisteme], Izvestiya vuzov. Seriya Radioelektronika, № 3. pp. 75–80.

Отримано: 08.06.2015 р.

<sup>1</sup>Борис Анатолійович Генів<sup>2</sup>Яков Теофанович Андрейко (канд. військ. наук, доцент)<sup>2</sup>Олексій Максимович Чернобривченко<sup>2</sup>Дмитро Вікторович Резнік<sup>3</sup>Вадим Герасимович Ердяков<sup>1</sup>Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця, Україна<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна<sup>3</sup>Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ПОКАЗНИК ЕФЕКТИВНОСТІ ВЗАЄМОДІЇ ТАКТИКО-ВОГНЕВИХ ПІДРОЗДІЛІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ТА ВІЙСЬК ПРОТИПОВІТРЯНОЇ ОБОРОНИ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК

У статті розглянуто векторний показник ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ та військ протиповітряної оборони Сухопутних військ, складовими якого є часткові показники ефективності зенітного ракетного прикриття об'єктів. Також, за результатами моделювання, проведено оцінювання ефективності взаємодії для визначених варіантів її реалізації. Показано, що варіанти організації взаємодії підрозділів характеризуються значеннями сукупності показників, що складають деяку багатовимірну одиницю, яку можливо подати у вигляді вектору в багатовимірному просторі, координати якого задаються значеннями відповідних показників. Також визначено, що вибір кращого з варіантів може бути проведений з використанням математичного апарату таксономії, який дозволяє проводити розрахунки по ранжируванню визначеного переліку варіантів на основі безрозмірного показника (еталонного вектора значень).

**Ключові слова:** взаємодія; показник ефективності взаємодії; протиповітряна оборона; ефективність зенітного ракетного прикриття.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Взаємодія тактико-вогневих підрозділів угруповання зенітних ракетних військ (ЗРВ) уявляє собою об'єктивно існуючий процес управління. Внаслідок цілеспрямованої дії органів управління взаємодія набуває організований характер та виступає як узгоджені дії військ (сил) по виконанню бойових завдань.

Прийняття рішення на організацію взаємодії військ пов'язано з оцінкою її ефективності за визначеними показниками та критеріями.

Через це виникає необхідність оцінити ефективність взаємодії тактико-вогневих підрозділів угруповання ЗРВ, що надасть можливість визначити раціональний варіант її здійснення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питаннями оцінки ефективності бойових дій в цілому та взаємодії безпосередньо, а також пошуку ефективних форм її реалізації, присвячені роботи багатьох фахівців [1-6]. Але, незважаючи на зацікавленість багатьох дослідників до взаємодії, пошуку ефективних форм її реалізації та оцінки, проблема оцінки ефективності взаємодії військ повністю не вирішена [6]. Аналіз відомих праць свідчить, що при дослідженні ефективності процесів взаємодії військ найбільш часто розглядаються вимоги щодо забезпечення

максимальних значень математичного очікування кількості знищених цілей або ймовірності збереження об'єктів прикриття [7, 8]. Однак, зазначені показники не чутливі до організації взаємодії військ та характеризують ступінь досягнення мети бойових дій різнорідних сил, що діють незалежно [1]. Даний напрямок дослідження оцінки взаємодії систем вивчено недостатньо.

Тому **метою статті** є подальший розвиток методів оцінки ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів ЗРВ та військ протиповітряної оборони (ППО) Сухопутних військ (СВ) та обґрунтування показника, що дозволяє її проводити.

### Методи дослідження

У ході дослідження використовувалися такі методи: аналіз теоретичних джерел з проблем організації взаємодії, вивчення та узагальнення передового досвіду організації взаємодії між елементами активних систем та метод синтезу.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Показники ефективності, що найчастіше використовуються при проведенні досліджень взаємодії міжвидового угруповання військ при вирішенні завдань протиповітряної оборони наведено у табл. 1 [2]. Зазначені показники мають обмежену область застосування. Так, наприклад,

при визначені ступеню досягнення мети взаємодії розглядаються варіанти взаємодії угруповання військ, а не їх складові. В той же час відомо, що оптимальне по частинах не забезпечує оптимального в цілому.

Виходячи з цього, для оцінювання ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів угруповання ЗРВ за різними варіантами [3] пропонується застосовувати векторний показник, складовими якого є часткові показники ефективності зенітного ракетного прикриття об'єктів:

$$E = (e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6), \quad (1)$$

де  $e_1$  – кількість знищених засобів повітряного нападу (ЗПН) противника;

$e_2$  – кількість втрачених зенітних ракетних комплексів (ЗРК) за типами ( $e_{21}, e_{22}, \dots, e_{2n}$ );

$e_3$  – кількість відновлених ЗРК при проведенні реконфігурації ( $e_{31}, e_{32}, \dots, e_{3n}$ );

$e_4$  – кількість витрачених зенітних керованих ракет (ЗКР) за типами ЗРК ( $e_{41}, e_{42}, \dots, e_{4n}$ );

$e_5$  – кількість втрачених зенітних керованих ракет за типами ЗРК ( $e_{51}, e_{52}, \dots, e_{5n}$ );

$e_6$  – середня ефективність ППО об'єктів, що розраховується як зважена за кількістю об'єктів сума відношень кількості знищених ЗПН із призначених на об'єкт до кількості призначених на даний об'єкт ЗПН:

$$e_6 = \sum_{i=1}^m \mu_i \frac{M_{зні}}{M_{прі}}, \quad (2)$$

де  $\mu_i$  – важливість  $i$ -го об'єкту прикриття, яка

задовольняє умові  $\sum_{i=1}^m \mu_i = 1$ ;

$M_{зні}$  – кількість знищених ЗПН у ході прикриття  $i$ -го об'єкту;

$M_{прі}$  – кількість ЗПН, що брали участь в нанесенні ударів по  $i$ -му об'єкту;

$m$  – загальна кількість об'єктів, прикриття яких здійснюється угрупованням ЗРВ.

Таблиця 1

Показники ефективності взаємодії

№ п/п	Аналітичний вираз	Позначення
1.	$K_{ВЗ} = \frac{W}{\sum_{x=1}^X W_x}$	$W (W_x)$ – результат, що досягається при взаємодії угруповання військ (кожної частини угруповання); $x$ – кількість взаємодіючих частин угруповання.
2.	$K_{ВЗ} = \frac{W_{ВЗ} - W}{W}$	$W (W_{ВЗ})$ – ступінь досягнення мети при застосуванні тільки своїх (своїх та взаємодіючих) військ.
3.	$K_{ВЗ} = \frac{M_{ВЗ} - M}{M_i^0 - M_p^0}$	$M_{ВЗ}$ – попереджений збиток об'єктів прикриття в реальних умовах взаємодії; $M_i^0 (M_p^0)$ – попереджений збиток об'єктів прикриття в ідеальних (реальних) умовах без взаємодії.
4.	$\Delta E_{ВЗ} = P_{\infty}^{ВЗ} - P_{\infty}^0$	$P_{\infty}^{ВЗ} (P_{\infty}^0)$ – ймовірність збереження об'єкту прикриття за умови наявності (відсутності) взаємодії військ.
5.	$\Delta M = M_{\infty}^{ВЗ} - M_{\infty}^0$	$M_{\infty}^{ВЗ} (M_{\infty}^0)$ – відносний добуток математичного сподівання збереженого військово-економічного потенціалу за умови наявності (відсутності) взаємодії військ.
6.	$f_{ВЗ} = \frac{Q - Q_{ВЗ}}{Q} = 1 - \frac{Q_{ВЗ}}{Q}$	$Q (Q_{ВЗ})$ – очікуваний збиток без організації взаємодії (при організації взаємодії).
7.	$K_{ВЗі} = \frac{W_{ВЗі} - W_0}{W_{ВЗі}}$	$W_0 (W_{ВЗі})$ – результат, що досягається угрупованням військ без взаємодії (при $i$ -му способі взаємодії).
8.	$K_{ВЗ}^{i/j} = \frac{E_i}{E_j}$	$E_i (E_j)$ – ефективність дій при $i$ -му ( $j$ -му) способі взаємодії.

Часткові показники (1) є складовими загальних показників ефективності зенітного ракетного прикриття [4] та корельованими (наприклад, кількість втрачених ЗРК залежить від кількості знищених ЗПН; кількість витрачених ЗКР від кількості знищених ЗПН та ін.). Але їх використання дозволяє здійснити вибір кращого варіанту взаємодії військ з точки зору досягнення

кінцевої мети бойових дій.

Розглянемо приклад, у якому противник здійснює нанесення двох масованих ракетно-авіаційних ударів (МРАУ): перший по засобам ППО, другий – по 10 об'єктам, що прикриваються. Зенітне ракетне прикриття об'єктів створено угрупованням у складі трьох зенітних ракетних полків (зрп):

01 зрп у складі трьох ЗРК середньої дальності (СД);  
 02 зрп у складі дев'яти ЗРК малої дальності (МД);  
 03 зрп у складі дев'яти ЗРК ближньої дії (БД).

При організації зенітного ракетного прикриття вогнева, структурна і ресурсна взаємодія тактико-вогневих підрозділів може здійснюватись різними способами та передбачати [3]:

вибір та зміну бойових позиції підрозділів за

критерієм максимуму зваженої кількості стрільби; проведення реконфігурації елементів озброєння ЗРК за встановленими критеріями повноти бойової конфігурації та ресурсних обмежень;

здійснення маневру зенітними керованими ракетами за варіантом, що максимізує математичне очікування кількості знищених цілей; перерозподіл бойових обслуг підрозділів.

Таблиця 2

**Варіанти взаємодії тактико-вогневих підрозділів**

Номер варіанту	Способи взаємодії			
	Зміна бойових позицій	Реконфігурація ЗРК	Маневр ЗРК	Переформування БО
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	+	+	-	-
4	+	+	+	-
5	+	+	+	+

Розглянемо п'ять можливих альтернативних варіантів організації взаємодії підрозділів при організації зенітного ракетного прикриття (табл. 2). При цьому, для першого варіанту не передбачаються узгоджені дії підрозділів (взаємодія відсутня); для другого варіанту

здійснюється узгоджена зміна бойових позицій підрозділів, за критерієм максимуму зваженої кількості стрільби; для третього варіанту разом з зміною бойових позицій підрозділів здійснюється реконфігурація ЗРК і так далі.

Таблиця 3

**Значення показників ефективності зенітного ракетного прикриття для різних варіантів взаємодії**

Номер варіанту	МРАУ	Кількість ЗПН		Кількість ЗРК було/знищено			Кількість ЗРК витрачено/втрачено			Ефект. ППО об'єктів
		в ударі	збито	ЗРК СД	ЗРК МД	ЗРК БД	ЗРК СД	ЗРК МД	ЗРК БД	
1	1	40	12	3/2	9/3	48/6	12/-	12/12	8/16	
	2	50	8	1/1	6/2	42/5	8/-	9/7	4/16	0,15
	Разом:	90	20	3/3	9/5	48/11	20/-	21/19	12/32	0,15
2	1	40	12	3/2	9/3	48/6	12/-	12/12	8/16	
	2	50	10	1/1	6/1	42/4	10/-	9/1	8/8	0,21
	Разом:	90	22	3/3	9/4	48/10	22/-	21/13	16/24	0,21
3	1	40	12	3/2	9/3	48/6	12/-	12/12	8/16	
	2	50	13	2/1	6/1	43/4	14/-	12/4	8/10	0,26
	Разом:	90	25	3/2	9/4	48/10	26/-	22/16	16/26	0,26
4	1	40	12	3/2	9/3	48/6	12/-	12/12	8/16	
	2	50	15	2/1	6/1	43/4	17/-	16/8	9/7	0,3
	Разом:	90	27	3/2	9/4	48/10	29/-	28/20	17/23	0,3
5	1	40	12	3/2	9/3	48/6	12/-	12/12	8/16	
	2	50	16	2/1	6/1	43/4	16/-	15/7	12/4	0,32
	Разом:	90	28	3/2	9/4	48/10	28/-	27/19	20/20	0,32

Таблиця 4

**Порівняльна оцінка варіантів взаємодії за таксономічним показником**

Номер варіанту	Без урахування важливості ознак	З урахуванням важливості ознак щодо	
		збереження об'єктів прикриття	максимуму знищених цілей
1	0,1933	0,2866	0,2572
2	0,4989	0,5137	0,4953
3	0,6197	0,7472	0,7182
4	0,3724	0,7515	0,7119
5	0,4364	0,8865	0,8098

За результатами моделювання (табл. 3) для кожного варіанту організації взаємодії можуть бути сформовані векторні показники (1):

$$E_1 = (20; 3; 5; 11; 0; 0; 0; 20; 21; 12; 0; 19; 32; 0,15);$$

$$E_2 = (22; 3; 4; 10; 0; 0; 0; 22; 21; 16; 0; 13; 24; 0,15);$$

$$E_3 = (25; 3; 4; 10; 1; 0; 1; 26; 22; 16; 0; 16; 26; 0,26);$$

$$E_4 = (27; 3; 4; 10; 1; 0; 1; 29; 28; 17; 0; 29; 23; 0,30);$$

$$E_5 = (28; 3; 4; 10; 1; 0; 1; 28; 27; 20; 0; 19; 20; 0,32).$$



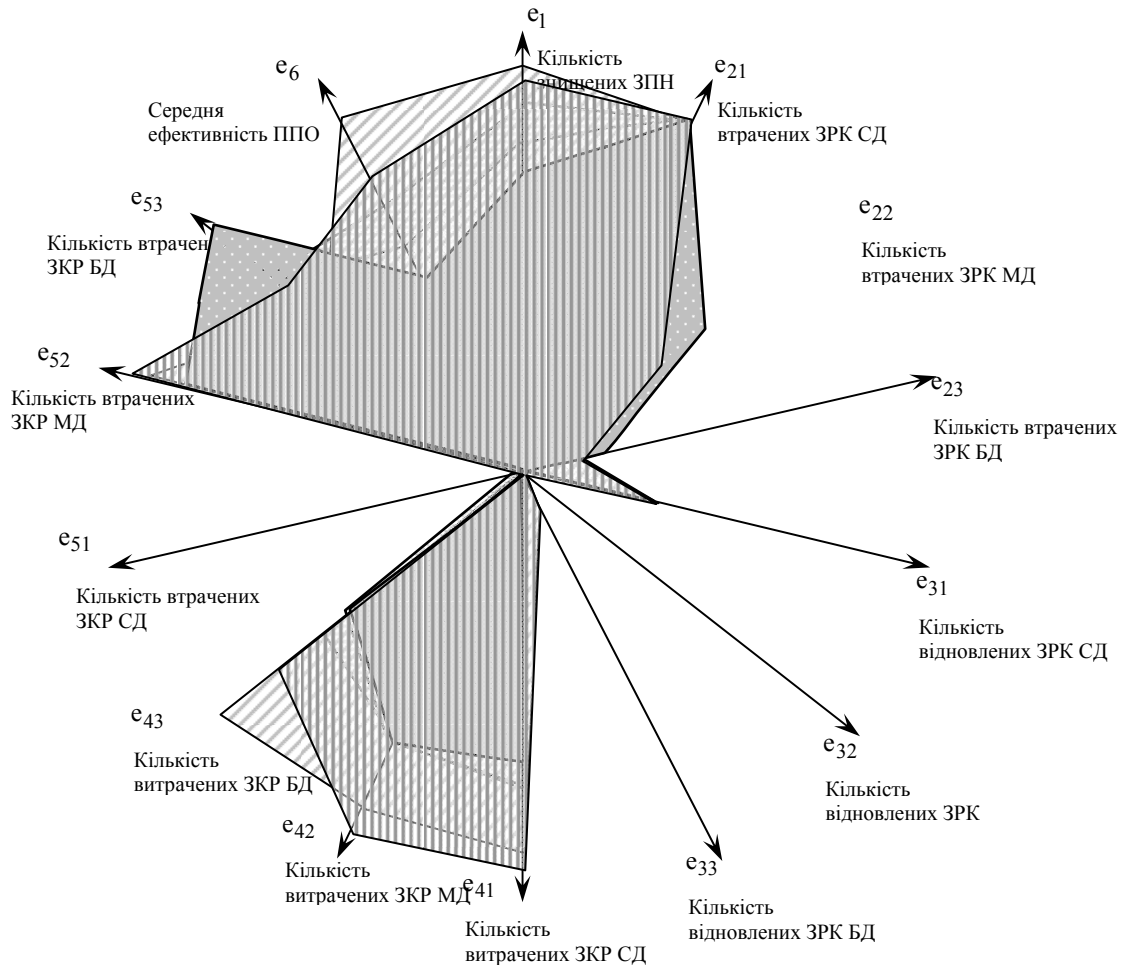


Рис.1. Багатокутник часткових показників ефективності взаємодії

Таблиця 5

Оцінки важливості ознак складових векторного показника ефективності організації взаємодії

№ п/п	Позначення показника	Зміст показника	Значення оцінки важливості показника при вирішенні завдань щодо	
			збереження об'єктів прикриття	максимуму знищених цілей
1.	$e_1$	Кількість знищених ЗПН	0,1905	0,2857
2.	$e_{21}$	Кількість втрачених ЗРК СД	0,1190	0,0952
3.	$e_{22}$	Кількість втрачених ЗРК МД	0,0714	0,0571
4.	$e_{23}$	Кількість втрачених ЗРК БД	0,0476	0,0381
5.	$e_{31}$	Кількість відновлених ЗРК СД	0,0714	0,0238
6.	$e_{32}$	Кількість відновлених ЗРК МД	0,0429	0,0143
7.	$e_{33}$	Кількість відновлених ЗРК БД	0,0286	0,0095
8.	$e_{41}$	Кількість витрачених ЗРК СД	0,0476	0,0476
9.	$e_{42}$	Кількість витрачених ЗРК МД	0,0286	0,0286
10.	$e_{43}$	Кількість витрачених ЗРК БД	0,0190	0,0190
11.	$e_{51}$	Кількість втрачених ЗРК СД	0,0238	0,0714
12.	$e_{52}$	Кількість втрачених ЗРК МД	0,0143	0,0429
13.	$e_{53}$	Кількість втрачених ЗРК БД	0,0095	0,0286
14.	$e_6$	Середня ефективність ППО об'єктів	0,2857	0,2381

Шукані варіанти організації взаємодії підрозділів характеризуються значеннями сукупності показників, що складають деяку багатовимірну одиницю, яку можливо подати у вигляді вектору в багатовимірному просторі,

координати якого задаються значеннями відповідних показників (рис. 1). Вибір кращого з варіантів може бути проведений з використанням математичного апарату таксономії, який дозволяє проводити розрахунки по ранжируванню

визначеного переліку варіантів на основі безрозмірного показника (еталонного вектора значень) та є найбільш універсальним [5]. При пошуку еталонного вектору значень для варіантів організації взаємодії будемо відносити показники  $e_1, e_3$  та  $e_6$  до стимуляторів, що позитивно впливають на загальну ефективність взаємодії, інші ( $e_2, e_4$  та  $e_5$ ) до дестимуляторів.

Порівняльна оцінка варіантів взаємодії за таксономічним показником (табл. 4) свідчить, що організація взаємодії тактико-вогневих підрозділів за різними способами дозволяє значно збільшити її ефективність. При цьому, зміна значень оцінок важливості ознак складових векторного показника (табл. 5) дозволяє проводити оцінку ефективності взаємодії з множини варіантів, які відповідно синтезуються:

за змістом бойового завдання (наприклад, не допустити ударів ЗПН по об'єкту прикриття; прикритті війська ОК в обороні та ін.);

за складом і станом угруповання ЗРВ для конкретних умов обстановки;

за критеріями, що встановлені вищестоящим командуванням або визначеними за значеннями показників (наприклад, щільності зенітного ракетного прикриття, забезпечення максимуму кількості стрільб) та ін.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Застосування запропонованого векторного показника ефективності взаємодії тактико-вогневих підрозділів угруповання ЗРВ надасть можливість провести розрахунок ефективності взаємодії що дозволить проводити порівняльну оцінку впливу різних варіантів організації взаємодії на ефективність бойових дій.

Це дозволить збільшити точність оперативної оцінки можливостей угруповання ЗРВ з ведення бойових дій щодо знищення ЗПН з визначеною ефективністю.

### Література

1. **Афанасьев Ю. И.** Обоснование показателей эффективности взаимодействия войск (сил) противовоздушной обороны / Ю.И. Афанасьев // Военная мысль. - 2011. - № 6. - С. 47-51.  
 2. **Микрюков В. Ю.** Теория взаимодействия войск. / В. Ю. Микрюков - М. : "Вузовская книга", 2002. - 240 с.  
 3. **Дробаха Г. А.** Взаємодія тактико-вогневих підрозділів зенітних ракетних військ та протиповітряної оборони Сухопутних військ при вирішенні завдань протиповітряної оборони / Г. А. Дробаха, Б. А. Генюв, Г. М. Зубрицький // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - 2014. - №1(14). - С. 90-93.  
 4. **Єрмошин М. О.** Оцінка ефективності бойових дій зенітних ракетних військ: Навчальний посібник / М. О. Єрмошин, Г. А. Дробаха. - Х. : ХВУ, 2004. - 258 с.

5. **Торопчин А. Я.** Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її ефективності: Монографія./ А. Я. Торопчин, І. О. Кириченко, М. О. Єрмошин, Г. А. Дробаха, М. П. Долина - Х. : ХУ ПС, 2006. - 347 с. 6. **Резнік Д. В.** Можливості використання моделі узгодженої взаємодії для оцінки ефективності взаємодії військ / Д. В. Резнік, О. М. Чернобричченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. - 2014. - №2 (20). - С. 88-92. 7. **Довідник** з протиповітряної оборони / А. Я. Торопчин, І. О. Романенко, Ю. Г. Даник, Р. Е. Пашенко та ін. - К. : МО України, Х. : ХВУ, 2003. - С. 295-300. 8. **Неупокоев Ф. К.** Противовоздушный бой / Ф. К. Неупокоев. - М. : Воениздат, 1989. - 262 с.

## ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТАКТИКО-ОГНЕВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК И ВОЙСК ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ СУХОПУТНЫХ ВОЙСК

<sup>1</sup>Борис Анатолиевич Генюв

<sup>2</sup>Яков Теофанович Андрейко (канд. воен. наук, доцент)

<sup>2</sup>Алексей Максимович Чернобричченко

<sup>2</sup>Дмитрий Викторович Резник

<sup>3</sup>Вадим Герасимович Ердяков

<sup>1</sup>Командование Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины, Винница, Украина

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

<sup>3</sup>Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина

В статье рассмотрены векторный показатель эффективности взаимодействия тактико-огневых подразделений зенитных ракетных войск и войск противовоздушной обороны Сухопутных войск, составляющими которого являются частные показатели эффективности зенитного ракетного прикрития объектов. Также, по результатам моделирования, проведены оценки эффективности определенных вариантов взаимодействия. Показано, что варианты организации взаимодействия подразделений характеризуются значениями совокупности показателей, составляющих некоторую многомерную единицу, которую можно представить в виде вектора в многомерном пространстве, координаты которого задаются значениями соответствующих показателей. Также определено, что выбор лучшего из вариантов может быть проведен с использованием математического аппарата таксономии, который позволяет проводить расчеты по ранжированию определенного перечня вариантов на основе безразмерного показателя (эталонного вектора значений).

**Ключевые слова:** взаимодействие; показатель эффективности взаимодействия; противовоздушная оборона; эффективность зенитного ракетного прикрития.

ANTI-AIRCRAFT MISSILE TROOPS AND LAND FORCES AIR DEFENSE TROOPS TACTICAL AND FIRE UNITS COOPERATION EFFECTIVENESS INDICATOR

<sup>1</sup>Borys A. Henov

<sup>2</sup>Yakov T. Andreiko (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<sup>2</sup>Oleksii M. Chernobryvchenko

<sup>2</sup>Dmytro V. Rieznik

<sup>3</sup>Vadym H. Erdiakov

<sup>1</sup>Air Force Command of Ukraine, Vinnitsa, Ukraine

<sup>2</sup>National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

<sup>3</sup>Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

The article describes the method of evaluating cooperation effectiveness using the vector index of efficiency interaction of tactical and fire departments antiaircraft missile troops and Land Forces air defense troops, whose components include private performance indicators covering antiaircraft missile sites. Based on the results of the simulations, were conducted evaluating the effectiveness of certain communication options. Options for the interaction of units are characterized by values of the set of indicators that make up some multidimensional unit, which can be represented as a vector in a multidimensional space coordinates which specify values for appropriate indicators. It was determined that choosing the best option may be conducted using the mathematical apparatus of taxonomy, which allows you to perform calculations on the ranking list of specific options based on the dimensionless parameter (reference vector values). It was found that the application of the proposed indicator of the effectiveness of the vector interaction tactical-firing anti-aircraft missile units grouping of troops would allow calculating the efficiency of cooperation and will allow for a comparative assessment of the impact of different options for interaction on the effectiveness of combat operations. All this will increase the accuracy of the rapid assessment of the possibility of grouping of anti-aircraft missile troops for combat operations to destroy the air attack with some efficiency.

**Keywords:** interaction; interaction performance indicator; air defense; anti-aircraft missile effectiveness of cover.

### References

1. Afanasiev U.I. (2011), Justification performance interaction of troops (forces), defense. [*Obosnovanie pokazatelei efektyvnosti vzaemodistvija voisk (sil) protivovozdushnoi oborony*], Voennaja misl, No. 6, pp. 47–51.
2. Mikrukov V.U. (2002), The theory of the interaction of forces. [*Teorija vzaemodistvija voisk*], Moscow, Vuzovskaja kniga, 240 p.
3. Drobakha H.A., Genov B.A., Zudrickyi G.M. (2014), Interaction tactical and fire the Air Defence Forces and Air Defence Ground Forces in solving air defense. [*Vzaemodii taktiko-vohnevykh pidrozdiliv zenitnykh raketnykh viisk ta protypovitrianoi oborony Sukhuputnykh viisk pry vyrishenni zavdan protypovitrianoi oborony*], Nauka i tehnika Povitrianyh Syl Zdroinykh Syl Ukrainy, No. 1(14), pp. 90–93.
4. Yermoshyn M.O., Drobakha H.A. (2004), Evaluating the effectiveness of fighting anti-aircraft missile troops: Manual. [*Otsinka efektyvnosti boiovykh dii zenitnykh raketnykh viisk: Navchalnyi posibnyk*], Kharkiv, KhVU, 258 p.
5. Toropchin A.I., Kyrychenko I.O., Yermoshyn M.O., Drobakha H.A., Dolyna M.P. (2006), Synthesis of adaptive structures of the system anti-aircraft missile and artillery cover objects and forces and its evaluation: Monograph. [*Synteza adaptyvnykh struktur systemy zenitnoho raketno-artylerskoho prykryttia ob'ektiv i viisk ta otsinka yii efektyvnosti: Monohrafiia*], Kharkiv, KhVU, 347 p.
6. Rieznik D.V. (2014), Possibility of using coordinated interaction model for evaluation of troops interaction efficiency. [*Mozhlyvist vykorystania modeli uzgodzhenoii vzaemodii dlia ocinky efektyvnosti vzaemodii viisk*], Suchasni informacii tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony, No. 2(20), pp. 88–92.
7. Toropchin A.I., Romanenko U.G., Danyk R.E. (2003), Handbook of Air Defence. [*Dovidnik z protypovitrianoi oborony*], Ministry of Defense of Ukraine, Kyiv, pp. 295–298.
8. Neupokoev F.K. (1989), Antiaircraft battle. [*Protivovozdushniy boy*], Moscow, Voenizdat, 262 p.

Отримано: 05.06.2015 р.

Юрій Григорович Даник (д-р техн. наук, професор)

Олексій Олександрович Писарчук (д-р техн. наук, с.н.с.)

Сергій Віталійович Тимчук

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Україна

## МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МОНІТОРИНГУ

У статті розглянуто математичне забезпечення автоматизованої системи збору та обробки інформації від технічних засобів моніторингу. Виділено проблематику, що обмежує можливості відомих підходів до побудови подібного класу складних систем. Показано можливість застосування ситуативного підходу до синтезу структури системи, для реалізації якого запропонована графодинамічна модель опису складної розподіленої інформаційної системи. Визначено напрямки вдосконалення алгоритмів об'єднання та обробки інформації від різномірних інформаційних джерел.

**Ключові слова:** інформаційна система; ситуаційне управління; модель; моніторинг.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Війни і локальні конфлікти останніх років та тенденції в удосконаленні форм і методів збройної боротьби характеризуються всебічною інформатизацією цього процесу, високою динамікою змін обстановки, гібридністю в діях та асиметричним характером. Основним з факторів досягнення цілей військової агресії стає інформаційна перевага над противником, яка забезпечується об'єднанням в єдине інтегроване інформаційне середовище на базі захищених телекомунікаційних каналів й ефективним застосуванням за єдиним задумом і планом технічних засобів моніторингу (ТЗМ), інформаційної (інформаційно-психологічної, кібернетичної) протидії, радіоелектронного впливу, традиційних систем ударного озброєння тощо. Цим досягається всеохоплююча інформаційна обізнаність командирів різної ланки управління для формування своєчасних і достовірних рішень [1].

На теперішній час кожна розвинена у військовому відношенні держава має на озброєнні сучасні автоматизовані системи управління (АСУ) військами і зброєю (АСУ ВЗ) та інтенсивно й результативно проводить дослідження з їх удосконалення. АСУ ВЗ є апаратно-програмною основою єдиного інтегрованого інформаційного середовища управління. До таких систем, наприклад, належать: АСУ ВЗ Збройних сил США – Global Command and Control System та Future Combat Systems з інтегрованою до них автоматизованою системою збору, обробки і розподілу інформації DCGS (Distributed Common Ground System); система управління бойовими компонентами та модулями JASMINЕ (Польща); автоматизовані системи управління “Акація-МЕ” і “Созвездие-2М” (Росія) та багато інших. Ключовою компонентою (підсистемою) АСУ ВЗ є

система збору і обробки інформації (СЗОІ) моніторингу зовнішньої обстановки за усіма її складовими. Саме СЗОІ визначає повноту, своєчасність та достовірність інформаційного забезпечення АСУ ВЗ і ефективність її функціонування в цілому.

Оцінки розробників АСУ ВЗ та результати практичного застосування переконливо доводять наявність проблем у принципах побудови та методологічній базі обробки інформації в СЗОІ. Першопричиною цього є інформаційна надмірність даних моніторингу, зумовлена особливостями реалізації єдиного інформаційного простору. При цьому характерним є постійне зростання кількості інформаційних джерел (ІД) та ТЗМ різного типу. Зазначені особливості посилюються високою динамікою зміни зовнішньої обстановки при реалізації управління. У результаті виникає конфлікт інформаційної надмірності та технічної й методологічної спроможності оперативного опрацювання великих обсягів даних для прийняття ефективних рішень на управління в умовах значної динаміки зміни поточної ситуації.

Таким чином, **актуальним** є завдання вироблення методологічних підходів до побудови СЗОІ та обробки інформації в системі за умов значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку конфліктних ситуацій (КС) управління та динаміки зміни поточної обстановки.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Відомі підходи до синтезу структур складних систем базуються здебільшого на формуванні статичної структури системи, незмінної в процесі її функціонування і застосування [2, 3]. При цьому завдання і функції системи, як правило, рівномірно розподіляються між усіма її складовими з вибірковістю елементів лише за

ієрархією структури в горизонтально-вертикальних зв'язках. На збільшення щільності потоку КС управління системи реагують збільшенням елементів структури за відповідними рівнями, що породжує, у свою чергу, інформаційну надмірність даних для обробки.

Відомі підходи до обробки інформації в сучасних СЗОІ за основу мають статистичні методи (оцінювання або згладжування експериментальних даних). Їх точнісні характеристики покращуються зі збільшенням обсягів експериментальних даних. Однак із наближенням експериментальних виборок до тисячі вимірів продуктивність відомих підходів не забезпечує реального масштабу часу їх застосування, а на точнісні характеристики істотно впливає нелінійність досліджуваних процесів. Крім того, традиційні методи обробки вимірів в існуючій формі не прийнятні для обробки нестационарних випадкових процесів із змінними в часі статистичними характеристиками [4–6]. Більше того, їх використання є проблемним для спільної обробки вимірювальної інформації та інформації, що складно формалізується (результати видового моніторингу, судження

військових розвідників тощо). Саме ці особливості інформації властиві сучасним СЗОІ.

Зазначене є недоліками існуючих підходів до синтезу структури й обробки інформації в сучасних складних інформаційних системах типу СЗОІ. Можливим шляхом їх усунення є застосування синергетичних методів, зокрема ідеології ситуаційного управління, фрактального опису складних інформаційних систем, методів самоорганізації на етапі обробки інформації.

Виходячи із зазначеного, **метою статті** є вироблення напрямів щодо ситуаційного синтезу структури та отримання ефективних методів обробки даних в автоматизованій СЗОІ від ТЗМ в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

### Викладення основного матеріалу. дослідження

Досягнення мети дослідження потребує, перш за все, аналізу принципів та особливостей побудови АСУ та її складової – СЗОІ. У загальному вигляді будь-яка АСУ (АСУ ВЗ не є винятком) будується за класичною схемою (рис. 1).



Рис. 1. Структурна схема АСУ

Сучасну АСУ ВЗ слід розглядати не стільки як складну, а як велику систему, що і зумовлює значну інформаційну надмірність, високу щільність потоку КС та динаміку зміни поточної обстановки. В усіх відомих АСУ ВЗ впроваджено ідеологію відкритих розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління. Технологічно такі системи побудовано на основі захищених комп'ютерних мереж та

укомплектовано мобільним взаємозамінним стандартизованим у межах бойових завдань модульним обладнанням. Це забезпечує високу готовність до застосування та стійкість системи до надзвичайних ситуацій, оперативну сумісність і гнучкість при здійсненні об'єднаних та коаліційних дій з управління кризами, а також можливість об'єднання як існуючих підсистем, елементів, так і перспективних високотехнологічних засобів без перехідних

циклів заміни застарілого обладнання. Функціональною основою побудови сучасних АСУ ВЗ є цикл управління Дж. Бойда: Observation / спостереження (збір інформації від внутрішніх і зовнішніх джерел); Orientation / орієнтування (формування множини можливих планів дій і оцінювання кожного із них за вектором критеріїв); Decision / рішення (вибір найкращого плану дій для практичної реалізації); Action / дія (практична реалізація вибраного плану дій) [1]. Цикл Бойда забезпечує впровадження в АСУ ВЗ моделі незалежного управління – реалізацію в реальному масштабі часу інформаційних запитів від об'єктів управління (ОУ) різної ланки з доступністю отриманої інформації для усіх рівнів ієрархії вертикальних та горизонтальних зв'язків у системі з можливістю жорсткого розмежування доступу.

Призначення та суть складових АСУ й взаємодіючих елементів полягає в такому.

Як інформаційні джерела розглядаються ті радіо- і радіолокаційні станції, системи радіозв'язку та інше устаткування, що мають випромінювання в акустичному, радіо-, відео- і інфрачервоному діапазонах хвиль та перебувають на об'єктах моніторингу (ОМ) (пілотовані й безпілотні повітряні, космічні апарати, пункти управління, радіотехнічні системи і комплекси різного призначення тощо). Засобами сенсорної складової (ТЗМ) ОМ можна охарактеризувати ознаками трьох класів: *фактами* – об'єктивною інформацією про ОМ, що відображається числовою величиною, наприклад космічний (або від аеродинамічного об'єкта) знімок ОМ, його контури, склад, динаміка зміни форми і т. д.; *даними* – об'єднанням вимірювальної інформації про ОМ, наприклад, його координати, параметри траєкторії руху (зокрема екстрапольовані), характеристики випромінюваних сигналів, ефективна поверхня розсіювання, радіолокаційний портрет тощо; *судженнями* – суб'єктивною інформацією про ОМ, наприклад, характер його дій, зміст радіообміну, стан ОМ та ін.

*Об'єкти управління (споживачі інформації та/або виконавчі елементи)* є сукупністю сил і засобів, що реалізують упорядкований комплекс дій, спрямованих на виконання команд управління з метою усунення КС, що виникла.

Центральними компонентами АСУ є сукупність елементів, що формують підсистему збору та обробки інформації (на рис. 1 позначені пунктиром), яку окремо від АСУ можна розглядати як цілісну самостійну компоненту – інформаційну чи інформаційно-керуючу систему. У випадку АСУ ВЗ, функції цих елементів об'єднує СЗОІ від технічних засобів моніторингу. Вона забезпечує пункти управління різного рівня попередньо обробленою узагальненою та адаптованою інформацією про противника через спостереження за ІД, тим самим надаючи основу для прийняття рішення та подання відповідних

команд на ОУ – сили та засоби вогневого ураження.

СЗОІ від ТЗМ у загальному вигляді є сукупністю (підсистем), описаних нижче.

*Множина ТЗМ (сенсорів)* є сукупністю, як правило, різнорідних автономних технічних засобів (вимірювальних (інформаційних) систем, сенсорів, окремих датчиків та ін.), а також інших засобів, за допомогою яких формується масив даних, фактів або лінгвістичних характеристик про поточну (зовнішню) ситуацію (обстановку), стан, режими роботи, дії ОМ. Прикладом ТЗМ можуть бути системи радіолокаційного спостереження повітряного (космічного) простору, космічні інформаційні системи (дистанційного зондування Землі, метеорологічні, навігаційні), засоби тепловізійного спостереження, контролю радіочастотного ресурсу, датчики руху тощо – будь-які технічні засоби моніторингу (спостереження) різних діапазонів хвиль.

*Система обробки інформації є множиною апаратних засобів (технічна складова) зі спеціалізованим програмно-алгоритмічним (інформаційним) забезпеченням*, що дозволяє здійснювати процеси накопичення, зберігання, обробки (у тому числі аналітичної) інформації та підтримки прийняття рішень. Технічна складова – це множина автоматизованих робочих місць (АРМ), обладнаних обчислювальними засобами, системами передачі даних та засобами прийому і відображення інформації колективного та (або) індивідуального користування, об'єднаних у ситуаційні центри централізованого чи розподіленого типів (DATA-центри). Програмно-алгоритмічна складова будується на основі інформаційних систем, спеціалізованих баз даних, розрахункових додатків, інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень із всебічним застосуванням геоінформаційних технологій [7].

*Система телекомунікації*, що відповідає вимогами захищеності та стійкості, є сукупністю засобів та каналів зв'язку всіх можливих типів для передачі аудіо-, відео-, сигнальної, цифрової, сервісної та іншої інформації на внутрішніх і зовнішніх контурах за різними рівнями ієрархії управління.

*Спеціальне технічне обладнання* включає системи навігації, електроживлення, життєзабезпечення, технічного захисту інформації.

*Оперативний склад АРМ* системи обробки інформації відповідає вимогам фахової підготовки та стану високопродуктивної роботи.

**Синтез складної СЗОІ** полягає у визначенні трьох категорій: властивостей, елементів, відношень. Однозначний і повний опис цих категорій визначає систему, її структуру, параметри та ефективність. Метою синтезу є конкретизація і визначення оптимальних (раціональних) рішень для вказаних категорій.

*Властивості (вимоги до) СЗОІ* повинні забезпечити можливість ефективного її функціонування в умовах значної інформаційної

надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації з використанням вже застосованих підходів та доповнені новітніми пропозиціями і включатимуть:

впровадження ідеології відкритих розподілених складних ергатичних інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління;

використання технологій захищених комп'ютерних мереж, комплектування мобільним взаємозамінним стандартизованим у межах бойових завдань модульним обладнанням для досягнення високого рівня сумісності, взаємозамінності та гнучкості;

впровадження циклічності етапів "спостереження – орієнтування – рішення – дія" з реалізацією в режимі реального часу інформаційних запитів для усіх рівнів ієрархії вертикально-горизонтальних зв'язків з розмежуванням доступу;

динамічні властивості СЗОІ у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощування залежно від типу, щільності потоку КС й динаміки зміни поточної ситуації зі зниженням розмірності завдань обробки інформації за рахунок послідовно-паралельного режиму реалізації та внутрішніх циклів функціонування систем;

забезпечення високих показників оперативності, достовірності й повноти вихідної інформації СЗОІ.

Визначення складу СЗОІ, параметрів її елементів та відношень (інформаційних зв'язків) між ними є змістом завдання структурно-параметричного синтезу системи. Забезпечення сформованих властивостей системи в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки шляхом створення статичної структури СЗОІ є малоєфективним та недоцільним. Цей шлях є регресивним і, як довела практика, призводить до появи громіздких структур, не здатних модифікуватись, адаптуватись і розвиватись залежно від інформаційних запитів та потреб обстановки. У той же час, в об'єктах живої природи успішно вирішуються завдання створення і функціонування складних хімічних сполук та організмів, здійснюється перенос енергії, накопичення і передача інформаційних потоків, обробка значних обсягів даних тощо. Це реалізується, зокрема, шляхом створення, повторення і нагромадження первинних вдалих примітивів та реалізації еволюційних процесів, механізмів розвитку, адаптації, самоутворення і самоліквідації [8]. Зрозуміло, що це примітивне подання складних природних процесів і механізмів, але їх відображення у СЗОІ через методи синергетики у вигляді ситуаційних механізмів, фрактальних структур, алгоритмів самоорганізації тощо дозволяє припустити можливість забезпечення сформованих вимог до даної системи в сучасних великих АСУ ВЗ [9].

Враховуючи викладене, реалізацію процесу структурно-параметричного синтезу пропонуємо провести за ідеологією ситуаційного управління [10]. Суть цього процесу для СЗОІ полягає в описі системи із сукупності базових елементарних примітивів та їх розширенні залежно від ієрархічного рівня АСУ ВЗ. У результаті формується інформаційна модель системи, яка має відкриту архітектуру, є завершеною (без жорсткої статичності у структурі) для певного рівня ієрархії, але з можливістю доповнення з появою нових потреб і запитів (відповідно до КС, що виникає), інваріантно до рівня управління. Для відомих на відповідному рівні ієрархії управління переліку елементів, їх параметрів, зв'язків між ними та властивостей здійснюють ситуативний синтез структури СЗОІ як найкращий варіант побудови підсистеми реагування на конкретну КС. У результаті формуються і циклічно (за Дж. Бойдом) функціонують підсистеми СЗОІ, що в межах інформаційної моделі системи послідовно-паралельно відпрацьовують значну щільність КС та декомпозиційних інформаційних потоків в умовах значної динаміки зміни поточної обстановки. Фактично реалізується ситуативне управління структурою та параметрами СЗОІ в умовах значної інформаційної надмірності результатів моніторингу, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

Таким чином, методологію ситуативного синтезу структури автоматизованої системи збору та обробки інформації від ТЗМ пропонуємо подати послідовністю етапів:

- 1) формування інформаційної моделі СЗОІ на базі фрактальних структур;
- 2) виявлення (отримання) та ідентифікація поточної КС;
- 3) ситуативний структурно-параметричний синтез СЗОІ відповідно до КС, що виникла та ідентифікована;
- 4) оцінювання ефективності результатів ситуативного синтезу структури СЗОІ і корегування за необхідності результатів виконання другого та третього етапів;
- 5) повторення третього й четвертого етапів для іншої КС.

Для формування інформаційної моделі СЗОІ встановлено вимоги до її властивостей:

інваріантний до рівнів управління та споживачів інформації (виконавчих елементів) опис динаміки зміни структури СЗОІ;

запровадження фрактально-графової структури для реалізації властивостей її наслідування, інкапсуляції та поліморфізму з розвитком і модифікацією залежно від інформаційної надмірності результатів моніторингу, щільності потоку КС та динаміки зміни поточної ситуації;

прогностичні властивості моделі у визначенні вимог до складу елементів СЗОІ відповідного рівня управління, споживачів інформації із забезпеченням високих показників оперативності, достовірності й повноти вихідної інформації.

Математичне подання інформаційної моделі базується на формальному описі елементів СЗОІ відповідно до структури, зображеної на рис. 1.

Першопричиною формування інформаційної моделі та ситуаційного конфігурування СЗОІ є КС, опис якої реалізується певною множиною (формуляром). Формуляр формується наступною трійкою:  $P_{ks}$  – ознака КС з унікальною для кожного її типу літерно-цифровою комбінацією;  $T_{ks}$  – множина частинних завдань системи з усунення КС, що виникла (формується, виходячи із завдань системи в цілому й завдань окремих АРМ);  $I_{ks}$  – множина інформаційних потреб системи з усунення КС. Тоді *формуляр КС* задаємо множиною

$$KS_i = \{P_{ks_i}, T_{ks_j}^{KS}, I_{ks_f}^{KS}\}, \quad (1)$$

$$i = 1 \dots I, \quad j = 1 \dots J, \quad f = 1 \dots F.$$

У свою чергу, множина частинних завдань з усунення КС і перелік інформаційних потреб для  $i$ -ї КС можна подати у вигляді підмножин:

$$T_{ks_j}^{KS} = \{T_{ks_{i1}}, T_{ks_{i2}}, T_{ks_{i3}}, \dots, T_{ks_{iL_i}}\},$$

$$i = 1 \dots L_i, \quad (2)$$

$$I_{ks_f}^{KS} = \{I_{ks_{i1}}, I_{ks_{i2}}, I_{ks_{i3}}, \dots, I_{ks_{iK_i}}\},$$

$$k = 1 \dots K_i.$$

Опис системи обробки інформації реалізується для кожного її окремого елемента (АРМ або ТЗМ). Кожне АРМ описується *формуляром*, що містить перелік завдань та інформаційних потреб:

$$ES_j = \{T_{ks_j}^{ES}, I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ID})\}. \quad (3)$$

Функціональне позначення  $I_{ks_j}^{ES}(I_{ks_f}^{ID})$  характеризує взаємозв'язок інформаційних потреб  $j$ -го АРМ, забезпечуваних інформаційними можливостями  $f$ -го ІД.

Опис ТЗМ характеризується множиною пар (*формуляром ТЗМ*):  $I_{ks}^{ID}$  – перелік інформаційних можливостей ТЗМ;  $TX$  – перелік технічних характеристик ( $TX$ ) ТЗМ –

$$ID_f = \{I_{ks_f}^{ID}, TX_f\}. \quad (4)$$

Таким чином, на понятійному рівні здійснено формальний математичний опис складових СЗОІ.

Формування інформаційної моделі СЗОІ на базі фрактальних графодинамічних структур реалізує використання їх властивостей: самоподібності, дробової розмірності, масштабної інваріантності, ієрархічності [11] – для забезпечення визначених вимог до моделі системи. Опис СЗОІ реалізують фрактальним графом, що показує сукупність ТЗМ, відповідних АРМ та зв'язків між ними. Реалізація процесів формування фрактального графа, його зміни, розвитку, модифікації здійснюється з використанням операцій: копіювання графа; уведення ребра, що зв'язує виділену пару вершин (з'єднання); розбиття ребра із уведенням додаткової вершини тощо [11].

Фрактальний граф є асимптотичним геометричним об'єктом, виконання послідовних

кроків індуктивної чи дедуктивної побудови якого дає послідовність ієрархічних структур (ініціатор, предфрактальний та фрактальний графи). Індуктивне визначення предфрактального графа  $G=(V, E)$  полягає в послідовному застосуванні операції заміни вершини ініціатором  $H=(W, Q)$  до передфрактального графа, отриманого на попередньому етапі побудови [12]. На першому етапі передфрактальному графу відповідає ініціатор. Вершинами ініціатора  $H=(W, Q)$  виступають ТЗМ, інформаційно замкнені на відповідне АРМ обробки інформації. На базі ініціатора  $H=(W, Q)$  формується передфрактальний граф, наприклад трирівневої структури, шляхом послідовного застосування операції заміни вершини ініціатором.

Побудова адекватної моделі функціонування СЗОІ вимагає опису не лише її структури, а й врахування взаємодії системи із зовнішнім середовищем (ІД та користувачами інформації). Для опису взаємодії СЗОІ з ІД та користувачами інформації пропонуємо використати багат шаровий граф [13]. Багатшарова фрактально-графова структура з урахуванням результатів формування передфракталу, що описує СЗОІ, складатиметься з трьох шарів (підграфів):

$G^1$  – підграф множини ІД на ОМ,  $G^2$  – підграф множини ТЗМ та множини АРМ системи обробки інформації,  $G^3$  – підграф споживачів інформації. Результатом є багатшарова фрактально-графова інформаційна модель. Для графа  $G^1$  вершинами

$v_k^1 \in ID$ , які об'єднані ребрами  $r_k^1$  та утворюють дерева, що характеризують ОМ, їх ієрархічну структуру. У графі  $G^2$  вершини – ТЗМ та наявні АРМ системи обробки інформації, а інформаційні потоки між ними показують ребра графа.

Вершинами графа  $G^3$  є користувачі інформації, які з'єднуються ребрами відповідно до їх ієрархічних зв'язків. Ребра, що сполучають вершини з різних шарів, відображають внутрішні та зовнішні інформаційні зв'язки СЗОІ через ребра відповідних графів. Застосування фрактально-графових операцій для отримання багатшарової математичної інформаційної моделі СЗОІ в запропонований спосіб та опис процесів, що відбуваються в системі, відповідними моделями дадуть фрактальну графодинамічну модель для опису динаміки зміни процесів у системі. Загалом це забезпечить отримання задекларованих раніше властивостей СЗОІ.

Побудована таким чином інформаційна фрактальна графодинамічна модель забезпечує формування надмірної структури СЗОІ для заданого рівня ієрархії. В отриманій структурі реалізується в подальшому ситуативний динамічний синтез системи – процес ситуативного управління структурою і параметрами СЗОІ.

Етап *ідентифікації поточної КС* реалізується в ході обробки інформації. Для етапу синтезу



структури і визначення параметрів СЗОІ він вважається реалізованим.

*Ситуативний структурно-параметричний синтез СЗОІ* відповідно до КС реалізується із визначенням кількісної та якісної структури системи.

Кількісний склад системи визначається за оптимізаційною моделлю, отриманою шляхом зведення вектора суперечливих критеріїв до єдиного функціонала за нелінійною схемою компромісів як розв'язок багатокритеріальної оптимізаційної задачі:

$$F(N_{ARM}) = (1 - t_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - D_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} + (1 - ID_{KS0}(N_{ARM}))^{-1} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де залежними від кількості АРМ  $N_{ARM}$ , нормованими до мінімізованої форми, частинними критеріями є:  $t_{ks0}(N_{ARM})$  – час, витрачений на усунення КС;  $D_{ks0}(N_{ARM})$  – достовірність рішень на усунення КС;  $ID_{ks0}(N_{ARM})$  – характеристика інформаційної надмірності синтезованої системи. Кількість АРМ визначає також кількість інших складових СЗОІ через міжрівневі зв'язки її графодинамічної фрактальної інформаційної моделі.

Якісний склад системи встановлюють, виходячи з вимог найкращого відображення в її структурі КС, що виникла. При цьому оптимальною буде структура, яка забезпечує виконання найбільшої кількості функцій АРМ із заданих формуляром КС  $T_{Sj} \rightarrow \max$ ; найбільшу кількість використовуваних для усунення КС ІД  $I_{Sj} \rightarrow \max$  з найкращими  $TX_{Sj} \rightarrow \max$ .

Операцію конфігурування реалізують відповідно до оптимізаційної моделі

$$\Psi_j = GT_{j0}(1 - T_{Sj0})^{-1} + GI_{j0}(1 - I_{Sj0})^{-1} + GTX_{j0}(1 - TX_{Sj0})^{-1} \rightarrow \min. \quad (6)$$

За вагові коефіцієнти використовують значення  $GT_j$ ,  $GI_j$ ,  $GTX_j$ , що відображають значущість АРМ за параметрами  $T_{Sj}$ ,  $I_{Sj}$ ,  $TX_{Sj}$ .

Ефективність результатів ситуативного синтезу структури СЗОІ оцінюють за узагальненим показником – ступенем відображення в синтезованій системі вимог КС. Це реалізується з контролем виконання умови  $\Omega_{ks}^{min} POR < \Omega_{ks} < \Omega_{ks}^{max} POR$ , де  $\Omega_{ks}^{min} POR$ ,  $\Omega_{ks}^{max} POR$  – радіуси внутрішньої та зовнішньої сфер з центром у точці  $W$  (рис. 2) поверхонь, які розмежовують області виконання (позначка 1) і невиконання (позначка 2) системою цільових завдань. На рис. 2 позначено:  $W_{rW}$  – необхідний вектор рішень, визначений формуляром КС, що характеризує вимоги до системи з відображенням у її структурі поточної ситуації;  $W_{rS}$  – забезпечуваний вектор рішень, що характеризує ступінь відображення в структурі синтезованої системи КС;  $P_{ksW}$ ,  $P_{ksS}$  – ознака КС, встановлена вимогами до системи і забезпечувана синтезованою системою відповідно;  $I_{ksW}$ ,  $I_{ksS}$  – потрібні й забезпечувані інформаційні потреби системи;  $T_{ksW}$ ,  $T_{ksS}$  – необхідні та виконувані конфігурованою системою завдання з усунення КС;  $\Omega_{ks} = \sqrt{(T_{ksW} - T_{ksS})^2 + (P_{ksW} - P_{ksS})^2 + (I_{ksW} - I_{ksS})^2}$  – відхилення системи.

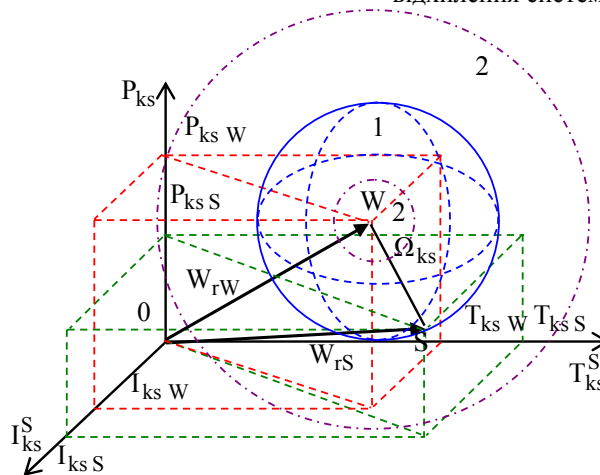


Рис. 2. Графічне зображення області виконання і невиконання завдання

**Обробка інформації** має на меті реалізацію двох класів завдань:

- загальносистемного спрямування:*
- виявлення та ідентифікація КС, що виникла;
- формування та реалізація команд внутрішнього ситуаційного управління;
- вироблення рішень на усунення КС і

формування команд управління виконавчим елементам;

- цільового спрямування:*
- визначення координат ОМ (наземного, надводного, повітряного, космічного) та параметрів його руху;

ідентифікація ОМ (класифікація) за типом, визначення його тактико-технічних характеристик, належності до групи об'єктів тощо;

встановлення характеру поточних дій ОМ, прогнозування можливого стану і подальшого характеру дій окремо та в групі, визначення його можливостей, сильних та слабих сторін тощо.

Для виконання зазначених завдань слід використовувати сукупність фактів, даних, суджень про ОМ, потік неформалізованої інформації про поточну ситуацію.

Методологічно сформульовані завдання обробки інформації зводяться до трьох етапів: спільна траєкторна обробка вимірів від різнотипних ТЗМ; ідентифікація КС та ОМ; формування аналітичного висновку про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління виконавчим елементами.

Спільна траєкторна обробка вимірів від різнотипних ТЗМ потребує об'єднання різнорідних та несинхронізованих експериментальних вибірок. Положення динамічного ОМ в просторі однозначно характеризується вектором шести параметрів у геоцентричній системі координат (ГСК)  $\bar{b}$ , який визначають за вектором вимірюваних параметрів у пунктової системі координат (ПСК)  $\bar{a}$  із однозначним зв'язком

$$\bar{a} = F\bar{b}, \quad (7)$$

або з уведенням позначень моделей зміни координат динамічного об'єкта в ПСК –  $A(t)$  та в ГСК –  $B(t)$  матимемо

$$A(t) = F(B(t)), \quad (8)$$

де  $F$  – узагальнена матриця переходу від вектора (моделі зміни) координат у ГСК до вектора параметрів (моделі) у ПСК.

Аналітичні моделі, що описують рух одного й того ж об'єкта в різних системах координат, формують у такий спосіб.

Модель руху ОМ в ГСК (теоретичну модель) формують як розв'язок диференціального рівняння (ДР), отриманого за методом диференціальних перетворень (ДП) [26]:

$$P \frac{d^m B(t)}{dt^m} + \dots = f_B(t, B(t)) = \frac{(k+m)!}{k!H^m} B(k+m) + \dots = F_B(k, B(k)), \quad (9)$$

де  $B(k)$  при  $k=0, 1, \dots$  – шукані початкові умови руху динамічного об'єкта (координата і швидкість) у ГСК. Згідно з оберненими ДП матимемо модель руху ОМ у ГСК:

$$B(t) = P^{-1}\{B(k)\} = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^k B(k). \quad (10)$$

Модель (10) у ПСК, подана за перетвореннями (8), матиме такий вигляд:

$$A(t) = \sum_{j=0}^L A_j t^j. \quad (11)$$

Початковою інформацією для визначення аналітичних експериментальних моделей в ПСК є вибірки дискретних значень певної координати

$$\bar{a} = \{a_1, a_1, \dots, a_n\}. \quad (12)$$

За вибірками (12) з використанням одного з відомих статистичних методів [17] формуються поліноміальні моделі:

$$\hat{A}(t) = \sum_{j=0}^L \hat{A}_j t^j, \quad (13)$$

де  $\hat{A}_0, \hat{A}_1, \hat{A}_2, \dots$  – коефіцієнти полінома.

Відповідно до методу балансу диференціальних спектрів для моделей (11) і (13) матимемо систему рівнянь

$$P\{A(t)\}_t^* \Rightarrow A(k) = \hat{A}(k) \Leftarrow P\{\hat{A}(t)\}_t^*. \quad (14)$$

Сформована система дозволяє отримати вектор початкових умов руху ОМ за обмеженим складом вимірюваних параметрів в однопозиційній системі з урахуванням часової надмірності експериментальних даних. Для багатопозиційної системи маємо сукупність частинних систем вигляду (14) за кількістю вимірювачів  $d$ :

$$P\{A_i(t)\}_t^* \Rightarrow A_i(k) = \hat{A}_i(k) \Leftarrow P\{\hat{A}_i(t)\}_t^*, \quad (15)$$

$$i = 1 \dots d.$$

У сформованій системі врахована як параметрична, так і часова надмірність вимірюваних даних. Інформаційне об'єднання вимірювачів з використанням системи (15) не критичне до вимог когерентності їх роботи в часі та просторі, оскільки процес об'єднання здійснюється на рівні моделей руху ОМ.

Ідентифікація КС та ОМ здійснюється із впровадженням принципів самоорганізації та базується на описі об'єкта множиною  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_i\}$  з ознаками: факти  $F = \{F_1, F_2, \dots, F_j\}$ , дані  $D = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$ , судження  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_l\}$ . Тоді ОМ характеризується апріорною множиною ознак

$$R_i \subset F_i \cup D_i \cup S_i = \{F_i, D_i, S_i\} = R_i. \quad (16)$$

У процесі спостереження за ОМ формуємо апостеріорну множину ознак:

$$W = \left\{ \begin{array}{l} F = \{\hat{F}_1, \hat{F}_2, \dots, \hat{F}_j\}, \\ D = \{\hat{D}_1, \hat{D}_2, \dots, \hat{D}_k\}, \\ S = \{\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_l\} \end{array} \right\} = \{\hat{F}_i, \hat{D}_i, \hat{S}_i\}. \quad (17)$$

Після трансформації множин (16), (17) до монотонного ряду формують їх поліноміальні апріорні (18) та апостеріорні (19) моделі

$$\begin{aligned} f_j(N) &= f_0 + f_1 N + f_2 N^2 + \dots, \\ d_i(N) &= d_0 + d_1 N + d_2 N^2 + \dots, \\ s_k(N) &= s_0 + s_1 N + s_2 N^2 + \dots; \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \hat{f}_j(N) &= \hat{f}_0 + \hat{f}_1 N + \hat{f}_2 N^2 + \dots, \\ \hat{d}_l(N) &= \hat{d}_0 + \hat{d}_1 N + \hat{d}_2 N^2 + \dots, \\ \hat{s}_k(N) &= \hat{s}_0 + \hat{s}_1 N + \hat{s}_2 N^2 + \dots. \end{aligned} \quad (19)$$

Останні (моделі (18), (19)) обробляють на предмет виключення аномальних вимірів, що не належать вибірці (16). У результаті маємо моделі:

$$\begin{aligned} \hat{f}'_j(N) &= \hat{f}'_0 + \hat{f}'_1 N + \hat{f}'_2 N^2 + \dots, \\ \hat{d}'_l(N) &= \hat{d}'_0 + \hat{d}'_1 N + \hat{d}'_2 N^2 + \dots, \\ \hat{s}'_k(N) &= \hat{s}'_0 + \hat{s}'_1 N + \hat{s}'_2 N^2 + \dots. \end{aligned} \quad (20)$$

Аргументом  $N$  є абстрактний аналоговий процес, що описують у дискретній формі сіткою вимірів  $N = 1, 2, 3, \dots$ . Ознакою відповідності моделей (18), (19) образу (16) є мінімізація величини різниці площ фігур, обмежених моделями й інтервалами їх розгляду –  $\max \delta < (\delta' < \delta) < \min \delta$ . Значення  $\max \delta$  визначають за наявності в експериментальній вибірці випадкових помилок і більше 50% аномалій, величини  $\max \delta$  визначають тільки за наявності випадкових помилок. Параметри  $\delta$ ,  $\delta'$  розраховують як різницю інтегралів:

$$\begin{aligned} \delta &= \left[ \int_{N_1}^{N_n} f_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}_j(N) dN \right]^2, \\ \delta' &= \left[ \int_{N_1}^{N_n} f'_j(N) dN - \int_{N_1}^{N_n} \hat{f}'_j(N) dN \right]^2. \end{aligned} \quad (21)$$

Об'єднання всіх категорій ознак для ідентифікації ОМ здійснюють із застосуванням технології вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів. За згорткою формують узагальнені ознаки для кожного  $R_i$ -го ОМ з апіорної множини ознак  $P_{Ei}$  і з апостеріорної множини  $P_i$ :

$$P_{Ei} = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\gamma_{f0ij}}{1 - f_{0ij}} + \sum_{l=1}^{L_i} \frac{\gamma_{d0il}}{1 - d_{0il}} + \sum_{k=1}^{K_i} \frac{\gamma_{s0ik}}{1 - s_{0ik}}, \quad (22)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{\gamma_{f0ij}}{1 - \hat{f}_{0ij}} + \sum_{l=1}^{L_i} \frac{\gamma_{d0il}}{1 - \hat{d}_{0il}} + \sum_{k=1}^{K_i} \frac{\gamma_{s0ik}}{1 - \hat{s}_{0ik}}.$$

Числові значення міри відповідності ОМ образу визначають як відношення

$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{P_1}{P_{E1}}, W_2 = \frac{P_2}{P_{E2}}, \dots, \\ W_i &= \frac{P_i}{P_{Ei}}, \dots, W_n = \frac{P_n}{P_{En}}. \end{aligned} \quad (23)$$

Рішення про ідентифікацію приймають за умови  $W_i > 0,5$ . Самоорганізація виявляється в наближенні апіорних та апостеріорних моделей ознак, що знижує розмірність задачі ідентифікації.

*Формування аналітичного висновку* про поточну ситуацію та прийняття рішення на формування команд управління потребує комплексного розгляду результатів траєкторної обробки, ідентифікації ОМ разом із отриманими первинними фактами, даними, судженнями та неформалізованими інформаційними потоками. Результатом цього процесу мають бути аналітичні висновки про стан, характер поточних і прогнозованих дій ОМ (окремо чи в групі), його можливості, уразливість тощо. За характером інформація для аналітичної обробки є експериментальною та суб'єктивною і носить статистичний та нечіткий характер невизначеності [14, 15]. Формування аналітичних висновків за різномірною надмірною інформацією пропонуємо реалізувати шляхом побудови і використання ієрархічного дерева логічного висновку [15]. Базова структура логічного дерева для інфології фактів, даних, суджень може мати, наприклад, модель типу (16), а його графічно-логічне зображення з урахуванням неформалізованих інформаційних потоків наведено на рис. 3.

Інформаційною основою для вузлів логічного дерева є база знань, що формується у процесі розробки і тестування програмно-алгоритмічної складової СЗОІ, а розрахунково-логічна складова – суть обчислювального алгоритму інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень СЗОІ.

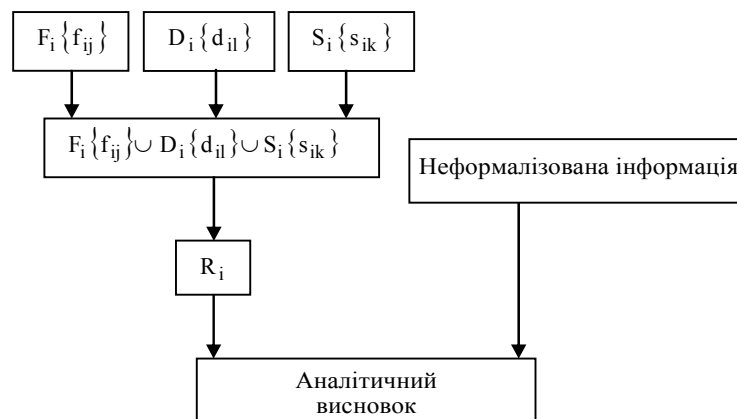


Рис. 3. Дерево логічного висновку для інфології фактів, даних, суджень

## Висновки й перспективи подальших досліджень

Побудова сучасних СЗОІ повинна забезпечувати ефективне виконання цільових завдань в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки. Це реалізується за принципами: впровадження ідеології відкритих розподілених інформаційно-керуючих систем, інваріантних за своєю структурою до рівня управління; використання технологій захищених мереж та принципів уніфікації складових і взаємозаміщення; впровадження циклічності Дж. Бойда на усіх рівнях ієрархії управління; динамічних властивостей у ситуативній структурно-параметричній адаптивності (реконфігурації) та нарощуванні; забезпечення високих показників оперативності, достовірності та повноти вихідної інформації.

Функціонування СЗОІ слід будувати на ситуативному принципі управління її структурою та параметрами шляхом формування і застосування багатопарової фрактально-графової інформаційної моделі СЗОІ від ТЗМ. Така модель відповідатиме властивостям: інваріантному до

рівнів управління та споживачів опису динаміки зміни структури СЗОІ; наслідування, інкапсуляції та поліморфізму структур з розвитком і модифікацією; прогнозування вимог до складу елементів відповідного рівня управління і споживачів.

Обробка інформації в СЗОІ включає етапи: загальносистемного спрямування (виявлення та ідентифікація КС, формування та реалізація команд внутрішнього управління; вироблення рішень на усунення КС і формування команд управління виконавчим елементами); цільового спрямування (визначення координат ОМ та параметрів руху, ідентифікація ОМ, встановлення характеру його поточних дій, прогнозування можливого стану). Їх реалізацію запропоновано з використанням методу спільної обробки вимірів, моделей самоорганізації та дерев логічного висновку із статистичними та нечіткими підходами до обробки вихідних даних.

Зазначені підходи забезпечують реалізацію процесів ситуативного синтезу структури та обробки даних в автоматизованій СЗОІ від ТЗМ в умовах значної інформаційної надмірності, високої щільності потоку КС та динаміки зміни поточної обстановки.

## Література

1. Щерба А. А. Еволюція розвідувально-вогневої технології на основі мережецентричних принципів управління / А. А. Щерба // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 4. – С. 109–112.
2. Цвиркун А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
3. Основы моделирования сложных систем : учеб. пособ. для студентов вузов / Под ред. И. В. Кузьмина. – К.: Высшая школа, 1981. – 360 с.
4. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
5. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений / Б. Ф. Жданюк. – М.: Сов. радио, 1978. – 350 с.
6. Кузьмин С. З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С. З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с.
7. Морозов А. О. Ситуаційні центри. Теорія і практика : збірник статей / А. О. Морозов, Г. Є. Кузьменко, В. А. Литвинов. – К.: Вид-во СП “Інтертехнодрук”, 2009. – 346 с.
8. Пригожин И. Р. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Р. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
9. Ивахненко А. Г.

- Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А. Г. Ивахненко. – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с.
10. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика / Д. А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
11. Семенов А. С. Фрактальные развивающиеся архитектуры / А. С. Семенов // Управление большими системами. – 2010. – Спец. вып. 30.1 “Сетевые модели в управлении”. – С. 91–103.
12. Перепелиця В. О. Роль індуктивного визначення фрактального графа в оцінці його числових характеристик / В. О. Перепелиця, Л. Н. Сергеева, А. Ю. Позднякова // Вісник Запорізького державного університету. – 1999. – № 2. – С. 13–23.
13. Агеев Д. В. Методика описания структуры современных телекоммуникационных систем с использованием многослойных графов / Д. В. Агеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 6/4 (48). – С. 56–59.
14. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Высшая школа, 1999. – 576 с.
15. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : Універсам-Вінниця, 1999. – 320 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА

*Юрий Григорьевич Даник (д-р техн. наук, профессор)  
Алексей Александрович Писарчук (д-р техн. наук, с.н.с.)  
Сергей Витальевич Тимчук*

*Житомирский военный институт имени С. П. Королёва, Житомир, Украина*

*В статье рассмотрено математическое обеспечение автоматизированной системы сбора и обработки информации от технических средств мониторинга. Выделена проблематика, которая ограничивает возможности известных подходов к построению подобного класса сложных систем. Показана возможность применения ситуативного подхода к синтезу структуры системы, для*

реализации которого предложена графодинамическая модель описания сложной распределенной информационной системы. Определены направления совершенствования алгоритмов объединения и обработки информации от разнородных информационных источников.

**Ключевые слова:** информационная система; ситуационное управление; модель; мониторинг.

## MATHEMATICAL SUPPORT OF THE INFORMATION COLLECTION AND PROCESSING AUTOMATED SYSTEM FROM THE MONITORING EQUIPMENT

*Yurii H. Danyk (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Oleksii O. Pysarchuk (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Serhii V. Tymchuk*

*Zhytomyr Military Institute named after S. P. Koroljov, Zhytomyr, Ukraine*

*In article the software of the automated system of gathering and processing of the information from monitoring means is considered. The problematics which limits possibilities of known approaches to construction of a similar class of difficult systems is allocated. Possibility of application of the situational approach to synthesis of structure of system for which realisation it is offered graph-dynamic model of the description of the difficult distributed information system is shown. Directions of improvement of algorithms of association and processing of the information from diverse information sources are defined.*

**Keywords:** information system; situation-dependent control; model; monitoring.

### References

- 1. Scherba A. A.** (2014), Evolution reconnaissance and fire technology based on networkcentric management principles. [*Evolyutsiya rozviduvanno-vognevoyi tehnologiyi na osnovi merezhetsentrichnih printsipiv upravlinnya*], Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo universitetu, No. 4, pp. 109–112.
- 2. Tsvirkun A. D.** (1982), Fundamentals of structure synthesis of complex systems. [*Osnovy sinteza struktury slozhnykh sistem*], Nauka, Moscow, 200 p.
- 3. Kuzmin I. V.** (1981), Basics of modeling of complex systems: a textbook for university students. [*Osnovy modelirovaniya slozhnykh sistem : ucheb. posob. dlya studentov vuzov*], Vysshaya shkola, Kiev, 360 p.
- 4. Seydzh E., Mels Dzh.** (1976), Estimation theory and its application in communication and management. [*Teoriya otsenivaniya i yeyo primeneniye v svyazi i upravlenii*], Svyaz, Moscow, 350 p.
- 5. Zhdanyuk B. F.** (1978), Fundamentals of statistical processing trajectory measurements. [*Osnovy statisticheskoy obrabotki traektornykh izmereniy*], Sovetskoe radio, Moscow, 350 p.
- 6. Kuzmin S. Z.** (1986), Fundamentals of design of digital radar data processing. [*Osnovy proektirovaniya sistem tsifrovoy obrabotki radiolokatsionnoy informatsii*], Radio i svyaz, Moscow, 352 p.
- 7. Morozov A. O., Kuzmenko G. Ye., Lytvynov V. A.** (2009), The situational centres. The theory and practice: the collection of articles. [*Sytuatsiyni tsentry. Teoriya i praktyka : zbirnyk statey*], Vydavnytstvo SP “Intertekhnodruk”, Kyiv, 223 p.
- 8. Prigozhin I. R., Stengers I.** (1986), Order out of chaos. New dialogue between man and nature. [*Poryadok iz haosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy*], Progress, Moscow, 432 p.
- 9. Ivahnenko A. G.** (1981), Inductive method of self-organizing models of complex systems. [*Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem*], Naukova dumka, Kiev, 296 p.
- 10. Pospelov D. A.** (1986), Contingency management theory and practice. [*Situatsionnoye upravlenie: teoriya i praktyka*], Nauka, Moscow, 288 p.
- 11. Semenov A. S.** (2010), Fractal developing architectures. [*Fraktalnye razvivayushchiesya arkhitektury*], Upravlenie bolshimi sistemami, Spetsialnyy vyipusk 30.1 “Setevyye modeli v upravlenii”, pp. 91–103.
- 12. Perepelitsya V. O., Sergeeva L. N., Pozdnyakova A. Yu.** (1999), The role of inductive definition of fractal graph in the evaluation of its numerical characteristics. [*Rol Induktivnogo viznachennya fraktalnogo grafu v otslntsl yogo chislovykh harakteristik*], Visnik Zaporizkogo derzhavnogo universitetu, No. 2, pp. 13–23.
- 13. Ageev D. V.** (2010), Methodology description of the structure of modern telecommunication systems using multi-layer graphs. [*Metodika opisaniya strukturyi sovremennykh telekommunikatsionnykh sistem s ispolzovaniem mnogosloynnykh grafov*], Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy, No. 6/4 (48), pp. 56–59.
- 14. Venttsel E. S.** (1999), Theory of probability. [*Teoriya veroyatnostey*], Vysshaya shkola, Moscow, 576 p.
- 15. Rotshteyn A. P.** (1999), Intelligent identification technology: fuzzy sets, genetic algorithms, neural networks. [*Intellektualnyye tehnologii identifikatsii: nechetkie mnozhestva, geneticheskie algoritmy, neyronnyye seti*], Universam-Vinnycya, Vinnitsa, 320 p.

Отримано: 11.06.2015 року

<sup>1</sup>Юрій Кашафович Зиатдинов (д-р техн. наук, професор)

<sup>1</sup>Альберт Николаевич Воронин (д-р техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Александр Юрьевич Пермяков (д-р техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Игорь Давыдович Варламов (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, Киев, Украина

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

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ МАССОВО-ТРАЕКТОРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМЕРНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В работе рассматривается задача поиска оптимальных вариантов построения трансформерных авиационных систем. При этом определяются такие массово-траекторные параметры системы, которые с достаточной полнотой и достоверностью характеризуют трансформер, а также одновременно позволяют уменьшить размерность решаемой задачи.

Трансформерность предопределяет характерную противоречивость и связность критериев оптимизации, поэтому отдельно решается задача определения координат критериального пространства, в котором осуществляется экстремизация критериев.

Идея решения задачи парето-оптимального выбора массово-траекторных параметров трансформерных авиационных систем заключается в определении уравнения кривой линии Парето в многомерном пространстве исследуемых массово-траекторных параметров. Далее применив методы матричного анализа и линейной алгебры, формируется парето-оптимальная область вариантов построения трансформерной авиационной системы. Данная методология позволяет в дальнейшем получить из парето-оптимальной области по значению любой одной заданной координаты весь набор координат массово-траекторных параметров системы, а также значения критериальных функций в многомерном критериальном пространстве.

**Ключевые слова:** трансформерная авиационная система; многокритериальная оптимизация; критериальная функция; критериальное пространство.

### Введение

По своему функциональному применению, высокому показателю ресурсозатрат как на этапе проектирования, так и на этапе производства трансформерная авиационная система (ТАС) относится к классу сложных систем.

Анализ эффективности ТАС неотделим от анализа затрат ресурсов на достижение определенной ее эффективности. Ни затраты ресурсов, ни эффективность ТАС сами по себе не дают достаточных оснований для ее выбора. Желание иметь самую дешевую ТАС бессмысленно, так как неизвестно, что именно мы хотим получить за наименьшую цену. С другой стороны, недостаточно желать ТАС, способную выполнить поставленную перед нею цель. Существует несколько путей к достижению этой цели, требующих различных затрат ресурсов. Поэтому только с помощью соответствующих критериев, учитывающих и эффективность, и стоимость можно выбрать предпочтительный путь.

Как показывает практика, и это подтверждается анализом многих работ, в идеале право на существование имеет лишь техника, удовлетворяющая в пределах своего жизненного цикла критериям эффективности (Е) –

стоимость (S) – время (T). Их сущность заключается в том, чтобы “вклад” любого образца в исполнение поставленного на него расчетного задания был не только практически, но и экономически оправдан. Но решая задачи оптимизации связанные с этими критериями исследователи обычно уходят от многокритериальных задач к однокритериальным. То есть оптимизируется один из трех критериев, а остальные два принимаются в качестве ограничений. Выбор того или иного из этих критериев в качестве оптимизируемого в значительной степени зависит от того, что именно может быть задано с большей степенью точности.

Основным показателем экономической эффективности ТАС является S. Но беря во внимание то, что этот показатель учитывает полные затраты, характеризующие полный объем задач, который может быть оценен весьма приближенно, рассматривать его как один целостный показатель, и соответственно применять к нему методы однокритериальной оптимизации нельзя.

В связи с этим построение математической модели поиска оптимальных вариантов построения ТАС представляет собой актуальную научную задачу.

**Постановка проблемы.** Каждый из компонентов, входящий в состав ТАС, характеризуется значительным количеством параметров  $x_1, x_2, \dots, x_m$  и сложными связями между ними.

Необходимо найти варианты построения ТАС, экономическая эффективность которых, оптимально удовлетворяла бы конкретному варианту расчетной задачи. Поэтому целесообразно рассмотреть два показателя включающие в себя понятие стоимости:  $S_{\text{разр}}$  – стоимость разработки ТАС и  $S_{\text{рз}}$  – стоимость ТАС для решения конкретной расчетной задачи. Рассмотрение именно этих двух показателей позволит в дальнейшем учесть затраты на разработку, изготовление опытных образцов и летные испытания ТАС, а также позволит производить сравнительную оценку экономической эффективности вариантов ТАС включающих полный объем задач (номинальных вариантов) на фоне конкретного объема задач.

Как правило, оба эти критерия могут быть выражены через определенный набор массово-траекторных параметров (МТП). К таким параметрам относятся, например, масса заправляемого топлива, масса полезной нагрузки, тяга двигателей, дальность полета и т.д. Все эти параметры, а также остальные, через которые могут быть выражены критерии  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  имеются в проектах ТАС, в статистической информации по эксплуатации и применению аналогичных систем или могут быть получены расчетным путем с применением методов экономико-математического моделирования физики процессов создания и применения систем данного класса.

Полный учет всех МТП в критериях  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  привел бы к неоправданному усложнению критериальных функций и к чрезмерным трудностям решения задач оптимизации. Поэтому естественным является поиск наиболее информативных МТП – координат критериального пространства, в котором будет осуществляться экстремизация введенных критериев. При выборе таких МТП необходимо чтобы все они принадлежали к перечню основных тактико-технических характеристик системы, могли быть выражены в стоимостном эквиваленте и удовлетворяли требованиям.

Выбранные МТП с достаточной полнотой и достоверностью должны характеризовать ТАС, что позволит понизить размерность решаемой задачи, так как большинство определяющих стоимостную математическую модель параметров должны быть однозначно определены через предложенный набор МТП. В этом случае остальные определяющие параметры будут являться либо статистическими коэффициентами, либо задаваться экспертно.

Тогда качество системы может быть оценено по совокупности частных критериев  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$ , представляющих собой функции выбранных МТП:

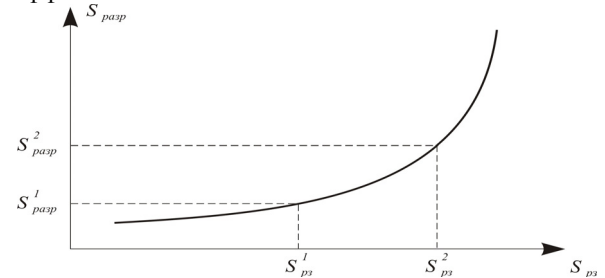
$$S_{\text{разр}} \Rightarrow f_1(x_1, x_2, \dots, x_m),$$

$$S_{\text{рз}} \Rightarrow f_2(x_1, x_2, \dots, x_m),$$

где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – выбранные МТП.

Эти критерии находятся в тесной связи и противоречивости друг с другом.

В случае непротиворечивости этих критериев оптимизироваться будет суммарный критерий  $S_{\text{разр}} + S_{\text{рз}}$ , характеризующий полные затраты на разработку и реализацию ТАС. В таком случае (рис. 1) уменьшение  $S_{\text{рз}}$  приводит к уменьшению  $S_{\text{разр}}$ , и наоборот. Тогда из условия оптимальности следует, что оптимальным будет считаться вариант с минимальными затратами. Но такой вариант построения ТАС будет рассчитан под выполнение конкретной и очень узкой задачи, что в условиях постоянно меняющихся функциональных заданий и требований не будет целесообразным, так как ТАС не будет “гибкой” и многофункциональной. С другой точки зрения разрабатывая более функциональную ТАС будет повышаться соответственно и  $S_{\text{рз}}$ . Такой вариант построения ТАС будет удовлетворять большинству требованиям, но не будет целесообразным с точки зрения экономической эффективности.



**Рис. 1. Зависимость  $S_{\text{разр}}$  от  $S_{\text{рз}}$ , в случае непротиворечивости**

Следует также отметить, что нельзя суммировать критерии  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  в случае если ТАС разрабатывается под выполнение большого спектра задач, а реализуется под конкретную задачу, входящую в этот спектр. В данном случае суммирующий критерий не будет объективным, так как в сумму войдут затраты связанные с расчетными задачами которые абсолютно не относятся к той которая реализуется. Критерии  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  могут суммироваться лишь в том случае, когда ТАС разрабатывается и реализуется только под один спектр расчетных задач, и только в этом случае можно говорить о том, что критерии  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  непротиворечивы. Во всех остальных случаях  $S_{\text{разр}}$  и  $S_{\text{рз}}$  будут противоречивыми.



Противоречивість можна прослідити ще і на прикладі того, що  $S_{\text{разр}}$  буде зменшуватися з часом і удосконаленням системи в межах одного класу. Так як в кожен новий варіант реалізації ТАС вже будуть включатися дані з попередніх варіантів, відповідно цінні ресурси витрачатися на них не будуть. І навпаки,  $S_{\text{рз}}$  буде збільшуватися з удосконаленням системи. Тому оптимізуючи систему в межах цих двох критеріїв одночасно, неможливо буде зменшити один, без збільшення другого, і навпаки.

Також в разі суперечливості (рис. 2) спостерігається ще одна ситуація, в якій з зменшенням витрат на розробку, витрати на реалізацію  $S_{\text{рз}}$  будуть збільшуватися.

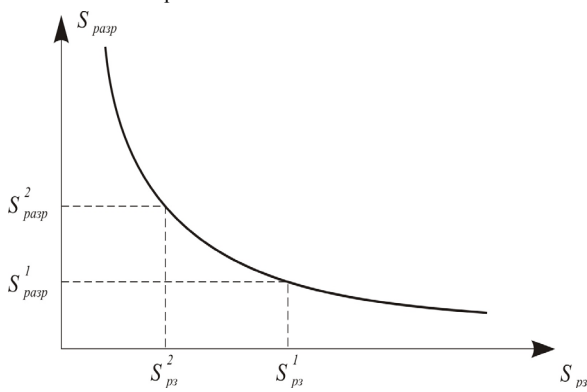


Рис. 2. Залежність  $S_{\text{разр}}$  від  $S_{\text{рз}}$ , в разі суперечливості

Це не говорить про те, що спектр розв'язуваних завдань збільшиться, витрати збільшаться в зв'язі з дефектами і поломками, які будуть виникати при реалізації, і для їх усунення будуть витрачатися додаткові засоби. Відповідно при збільшенні витрат на розробку  $S_{\text{разр}}$  багатьох дефектів в час реалізації можна буде уникнути, за рахунок чого знизяться втрати  $S_{\text{рз}}$ .

В цьому разі можна говорити про більш "гнучкі" і функціональні варіанти побудови ТАС. Так як ТАС може розроблятися і розраховуватися під великий спектр розв'язуваних завдань, а реалізовуватися під певну задачу з цього спектра. В даному разі критерії  $S_{\text{разр}}$  і  $S_{\text{рз}}$  не можна сумувати в силу їх суперечливості, а для знаходження оптимального варіанта побудови ТАС необхідно застосовувати до них методи багатокритеріальної оптимізації.

Необхідно також зазначити, що всі вищезазначені рекомендації і пояснення про несперечливості і суперечливості критеріїв  $S_{\text{разр}}$  і  $S_{\text{рз}}$ , а також і графічні

пояснення до них стосуються і розглядаються в області оптимальних значень цих критеріїв.

Таким чином, можна сказати, що маючи значення вибраних МТП можна визначити загальну ідею створення ТАС, яка може бути виражена через деякі критерії ефективності, визначені на множині цих МТП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи, на які опираються автори і в яких розглядаються багатокритеріальні задачі з суперечливими частковими критеріями, представлені фундаментальними творами [1-5].

При цьому визначення всіх параметрів кожного з компонентів, що входить в склад ТАС, при пошуку оптимальних варіантів її побудови – практично нереальна задача через відоме "прокляття розмірності" [6].

Не розв'язаною загальною проблемою, до якої присвячується ця робота, є питання формування області оптимальних варіантів побудови ТАС, а також визначення значень критеріальних функцій в багатовимірному критеріальному просторі.

Крім того, не розв'язаною задачею визначення всього роду МТП ТАС по одній координаті критеріального простору.

Таким чином, в цілому для ТАС необхідно визначити область оптимальних МТП, при цьому дана область параметрів буде парето-оптимальною.

**Ціль роботи.** Розв'язання багатокритеріальної задачі визначення парето-оптимальної області МТП ТАС.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для побудови математичної моделі пошуку оптимальних варіантів побудови ТАС, необхідно:

- визначити такі МТП системи  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , які б, з однієї сторони, з достаточною повнотою і достовірністю характеризували ТАС, а з іншої, дозволяли знизити розмірність розв'язуваної задачі;
- врахувати можливість використання найбільш простих методів аналізу цих параметрів;
- врахувати можливість нормування вибраних МТП, тобто зведення їх до єдиної розмірності або до безрозмірного виду;
- якість системи повинна оцінюватися по сукупності часткових критеріїв, що представляють собою функції від вибраних МТП  $f = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ ;
- задати область існування МТП, для однозначного визначення їх обмежень;
- забезпечити заданий рівень якості системи і ефективності виконання розв'язуваних завдань.



При выборе критериев  $f(x)$  необходимо учитывать следующие требования:

- критерий должен учитывать оценку эффективности выполнения возложенных на систему основных задач;

- критерий должен быть чувствителен к анализируемым вариантам системы, в частности к выбранным массово-траекторным параметрам  $x_1, x_2, \dots, x_m$ ;

- критерий должен быть достаточно простым и наглядным, иметь явный физический смысл, чтобы не возникало затруднений при физической интерпретации результатов исследования.

При выборе критериев необходимо учесть наличие тесной связи между ними и противоречия друг с другом.

При поиске парето-оптимального множества вариантов построения сложной системы, прежде всего, необходимо четко определиться с основными требованиями к этой системе. Так как поиск множества уже подразумевает под собой решение многокритериальной задачи, необходимо четко сформулировать требования к критериальным функциям, их аргументам, а также необходимо учесть все связи между критериями, их физику и природу. Все эти требования должны быть неотъемлемой частью процесса обоснования выбора оптимального варианта построения сложной системы.

Характеризуя с большей степенью систему, в совокупности, выбранные массово-траекторные параметры, по сути, представляют собой координаты точки в многомерном пространстве. Или другими словами любая ТАС может быть формально описана координатами точки в многомерном пространстве массово-траекторных параметров. Уравнение существования выделяет в этом пространстве область технически реализуемых вариантов ТАС, а применение моделей функционирования ТАС и методик оценки их эффективности обеспечивает возможность каждой точке этой области поставить в соответствие численные значения указанных критериев.

Но зная численные значения критериев и массово-траекторных параметров, прежде чем приступить к задаче оптимизации, необходимо решить проблемы единственности, существования и эффективного сходящегося алгоритма поиска локального минимума.

Известно, что проблемы существования и единственности снимаются в том случае, когда критериальная функция относится к классу выпуклых функций. В то же время, разработаны и широко используются в прикладных исследованиях ряд высокоэффективных алгоритмов решения задачи минимизации, в которых целевая функция и допустимое множество решений также являются выпуклыми.

Эти обстоятельства послужили доводом в пользу выбора квадратичной аппроксимации критериальной функции, как к классу полиномов второй степени.

Учитывая вышесказанное целевую функцию можно задать в виде квадратичного полинома

$$f(x) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m a_{ij} x_i x_j .$$

Адекватность применения этого полинома обоснована в [7], поэтому останавливаться на этом моменте не будем.

Далее для более простой наглядности и возможности графического интерпретирования критериальных функций будем считать  $m=2$ . В этом случае, при  $m=2$ , имеем:

$$f(x_1, x_2) = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + 2a_1x_1 + 2a_2x_2 + a_{00}.$$

Здесь принимается, что  $x_0 \equiv 1$ , а  $a_{ij} = a_{ji}$  так как квадратичный полином всегда можно представить в симметричном виде.

Этот многочлен имеет три типа слагаемых

$$f(x_1, x_2) = f_2(x_1, x_2) + f_1(x_1, x_2) + f_0,$$

где  $f_2(x_1, x_2) = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2$  –

квадратичная часть,  $f_1(x_1, x_2) = 2a_1x_1 + 2a_2x_2$  –

линейная часть,  $f_0 = a_{00}$  – свободный член.

Квадратичная и линейная часть может быть записана с помощью матричных операций

$$f_2(x_1, x_2) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix},$$

$$f_1(x_1, x_2) = 2 \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix},$$

а в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$f_2(x_1, x_2, \dots, x_m) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_m \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1m} & a_{2m} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix},$$

$$f_1(x_1, x_2, \dots, x_m) = 2 \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix},$$

а сам полином в записан в матричном виде

$$f(x) = A_0 + 2A_1x + x^T A_2x . \quad (1)$$

Здесь  $A_0 = a_{00}$  – свободный член аппроксимирующего полинома,

$A_1 = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m]$  – вектор аппроксимирующих коэффициентов при первых степенях массово-траекторных параметров, которые не перемножаются между собой,

$$A_2 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1m} & a_{2m} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad - \quad \text{симметричная}$$

квадратная матрица при вторых степенях массово-траекторных параметров, а также при параметрах,

которые перемножаются друг на друга,  $x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix}$

- вектор-столбец массово-траекторных параметров,  $x^T = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_m]$  - транспонированный вектор-столбец  $x$ .

Для нахождения коэффициентов  $a_{ij}$ , необходимо составить систему из  $m$  уравнений. Каждое уравнение включает в себя значения массово-траекторных параметров и соответствующие им значения критериев, которые формируются в результате вычислительных экспериментов и образуют базу данных для поиска и выбора рациональной технической концепции перспективной ТАС.

После составления системы уравнений

$$f_k(x) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m a_{ij} x_i x_j,$$

где  $k$  - количество опытов.

Зная связь между значениями массово-траекторных параметров и критериальной функцией, коэффициенты  $a_{ij}$  ищутся любыми известными способами решения систем линейных уравнений, при этом система должна быть определенной. Но для определенности системы  $f_k(x)$  открытым остается вопрос о количестве опытов  $k$ . Так как число неизвестных коэффициентов  $a_{ij}$  в  $f_k(x)$  равно

$$N = \frac{m(m+1)}{2} + m + 1 = \frac{(m+1)(m+2)}{2},$$

то очевидно, что для ее определенности необходимо, чтобы  $k > N$ .

В практике широкое распространение получило задание значимых параметров допустимым диапазоном своего изменения  $[x_{\min}; x_{\max}]$ . Поэтому наиболее информативным с точки зрения получения значений критериальных функций является бинарное задание МТП.

В случае  $m$ -мерного критериального пространства число возможных сочетаний бинарного способа задания МТП составляет  $2^m$ , причем необходимое условие определенности системы  $f_k(x)$

$$2^m \geq \frac{(m+1)(m+2)}{2}$$

начинает выполняться для  $m \geq 4$ . В случае  $m < 4$  можно добавить третью точку в области задания массово-траекторных параметров, при этом условие определенности

$$3^m \geq \frac{(m+1)(m+2)}{2}$$

выполняется для всех  $m \geq 1$ .

Для удобства дальнейших рассуждений будем пользоваться матричным видом критериальных функций

$$f_1(x) = A_0^1 + 2A_1^1 x + x^T A_2^1 x,$$

$$f_2(x) = A_0^2 + 2A_1^2 x + x^T A_2^2 x,$$

здесь верхние индексы при матрицах  $A$  соответствуют номеру критерия.

Таким образом, решив систему  $f_k(x)$  для обоих критериев, и найдя коэффициенты  $a_{ij}$ , можно сформировать матрицы  $A_0$ ,  $A_1$  и  $A_2$  для критериальных функций.

Так как оптимизация многокритериальных задач подразумевает под собой минимизацию (максимизацию) главных критериев. То далее необходимо найти значения безусловных минимумов этих критериев.

Используя правила дифференцирования матричных выражений по скалярному аргументу, имеем

$$\frac{f_1(x)}{dx} = 2A_1^1 + 2x^T A_2^1,$$

$$\frac{f_2(x)}{dx} = 2A_1^2 + 2x^T A_2^2.$$

Приравнивая значения  $\frac{f_1(x)}{dx}$  и  $\frac{f_2(x)}{dx}$  к нулю, получим значения координат безусловных минимумов для критериальных функций  $f_1(x)$  - точка  $A(\text{opt } x_1^1, \text{opt } x_2^1)$  и соответственно  $f_2(x)$  - точка  $B(\text{opt } x_1^2, \text{opt } x_2^2)$  (рис. 3):

$$2A_1^1 + 2x^T A_2^1 = 0 \Rightarrow \text{opt } x^T = -A_1^1 (A_2^1)^{-1}$$

$$2A_1^2 + 2x^T A_2^2 = 0 \Rightarrow \text{opt } x^T = -A_1^2 (A_2^2)^{-1}$$

$$A(\text{opt } x_1^1, \text{opt } x_2^1),$$

$$B(\text{opt } x_1^2, \text{opt } x_2^2).$$

Таким образом, можно говорить, что варианты построения ТАС с массово-траекторными параметрами, соответствующим точкам  $A(\text{opt } x_1^1, \text{opt } x_2^1)$  и  $B(\text{opt } x_1^2, \text{opt } x_2^2)$  являются оптимальными по критериям  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  соответственно, но это лишь в том случае, если данные точки принадлежат области допустимых решений. Если же точки не принадлежат этой

области, то необходимо проводить дополнительные исследования, основанные на методе множителей Лагранжа и вводить существенные ограничения.

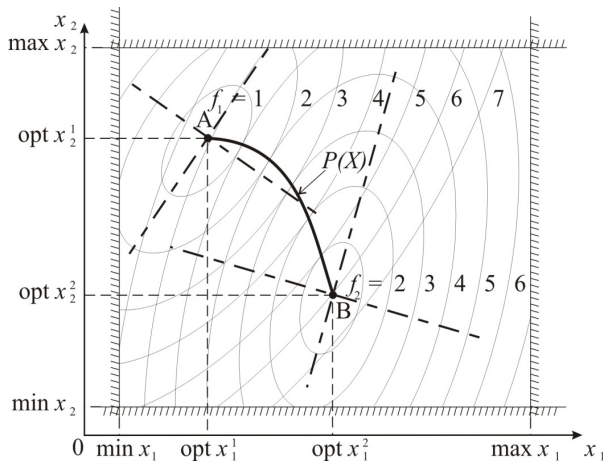


Рис. 3. Семейства исходных эллипсов

Рассмотрим случай, когда критериальные поверхности  $f_1(x)$  и  $f_2(x)=const$  являются многомерными эллипсоидами, а точки А и В принадлежат области допустимых решений (рис. 3).

Можно показать, что при таком подходе множеству парето-оптимальных вариантов ТАС соответствует множество точек пространственной кривой АВ, которая является геометрическим местом точек соприкосновения линий второго порядка (изоквант) семейства  $f_1$  с линиями, принадлежащими семейству  $f_2$ .

Можно также показать, что парето-оптимальная линия АВ полностью расположена внутри области, ограниченной главными осями невырожденных семейств линий второго порядка  $f_1$  и  $f_2$ .

Анализировать и сопоставлять компоненты критериев  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  можно только тогда, когда они имеют одинаковую размерность (нормализованы).

Как видно из рис. 3 для того чтобы привести исходные семейства линий второго порядка  $f_1$  и  $f_2$  к одной размерности, необходимо с критериальными функциями  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  провести такие ортогональные преобразования, которые позволили бы перейти в новую систему координат с помощью замены переменных, то есть перейти к новому базису но в том же критериальном пространстве. Но это необходимо сделать так, чтобы свойства исходных семейств линий второго порядка  $f_1$  и  $f_2$  не менялись при переходе из исходной системы координат в новую систему и наоборот.

Другими словами необходимо повернуть их оси координат, а также сдвинуть начало координат одного из семейства.

**Поворот системы координат.** Что произойдет с критериальной функцией в случае поворота системы координат. Представим квадратичный полином в виде (1) при  $m = 2$  и повернем систему координат против часовой стрелки на угол  $\phi$ . Тогда базисные векторы  $e_1, e_2$  перейдут в новые базисные векторы, соответственно,

$$\tilde{e}_1 = \cos \phi e_1 + \sin \phi e_2, \quad \tilde{e}_2 = -\sin \phi e_1 + \cos \phi e_2.$$

Старые координаты  $x_1, x_2$  будут выражаться через новые координаты  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2$  следующим образом

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \tilde{x}_1 \tilde{e}_1 + \tilde{x}_2 \tilde{e}_2 = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix}.$$

Легко проверяется, что

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \Rightarrow \\ \Rightarrow \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}.$$

В новых координатах квадратичная часть (1)  $f_2(x_1, x_2)$  принимает вид

$$f_2 = [\tilde{x}_1 \quad \tilde{x}_2] \times \\ \times \left( \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix}.$$

Матрица в скобках есть произведение трех матриц вида  $\tilde{A} = Q^T A Q$  причем  $A$  – симметричная матрица:  $A^T = A$ . Отсюда

$$\tilde{A}^T = (Q^T A Q)^T = Q^T A^T (Q^T)^T = Q^T A Q = \tilde{A}.$$

Значит,  $\tilde{A} = [\tilde{a}_{ij}]$ ,  $1 \leq i, j \leq 2$ , остается симметричной матрицей.

Попытаемся выбрать угол  $\phi$  так, чтобы матрица  $\tilde{A}$  приобрела диагональный вид:

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} = \\ = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, требуется занулить элемент

$$\tilde{a}_{12} = \tilde{a}_{21} = \\ = (\cos^2 \phi - \sin^2 \phi) a_{12} - \sin \phi \cos \phi (a_{11} - a_{22}) = \\ = \cos(2\phi) a_{12} - \sin(2\phi) \frac{a_{11} - a_{22}}{2} = 0.$$

Если  $a_{12} = 0$ , то можно взять  $\phi = 0$ . Если  $a_{12} \neq 0$ , то надо решить уравнение

$$\text{ctg}(2\phi) = \frac{a_{11} - a_{22}}{2a_{12}}.$$

Очевидно, решение существует. Поэтому всегда найдется  $\phi$  такое, что имеет место равенство при котором  $\tilde{A}$  приобретает диагональный вид. Кроме того, при любом выборе  $\phi$  получаем

$$\lambda_1 = \cos^2 \phi a_{11} + 2 \cos \phi \sin \phi a_{12} + \sin^2 \phi a_{22},$$

$$\lambda_2 = \sin^2 \phi a_{11} - 2 \cos \phi \sin \phi a_{12} + \cos^2 \phi a_{22}.$$

Отсюда  $\lambda_1 + \lambda_2 = a_{11} + a_{22}$ . В то же время, используя равенство

$$\begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix}$$

и то, что определитель произведения матриц равен произведению определителей, находим  $\lambda_1 \lambda_2 = a_{11} a_{22} - a_{12}^2$ . Следовательно,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  суть корни квадратного уравнения

$$\lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + (a_{11} a_{22} - a_{12}^2) = 0.$$

Заметим, что здесь левая часть есть в точности  $\det \begin{bmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} - \lambda \end{bmatrix}$ . Этот многочлен от  $\lambda$ , есть ничто иное, как характеристический многочлен матрицы  $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{12} & a_{22} \end{bmatrix}$ , следовательно,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  являются собственными значениями этой матрицы.

Таким образом, показано, что с помощью поворота исходной системы координат на некоторый угол  $\phi$  уравнение  $f(x_1, x_2) = 0$  преобразуется в новых координатах к виду

$$\lambda_1 \tilde{x}_1^2 + \lambda_2 \tilde{x}_2^2 + 2b_{13} \tilde{x}_1 + 2b_{23} \tilde{x}_2 + b_{33} = 0,$$

$$\text{где: } \begin{bmatrix} b_{13} & b_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{13} & a_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix};$$

$b_{33} = a_{33}$ ;  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – собственные значения матрицы  $A_2$  квадратичного полинома (1).

**Сдвиг системы координат.** Что касается сдвига системы координат, то естественно предположить, что квадратичная часть  $f_2$  в повернутой системе координат не является тождественным нулем. Значит,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  не равны нулю одновременно.

Тогда, выделим в квадратичной части полные квадраты

$$\lambda_1 \tilde{x}_1^2 + 2b_{13} \tilde{x}_1 = \lambda_1 \left( \tilde{x}_1^2 + 2 \frac{b_{13}}{\lambda_1} \tilde{x}_1 + \frac{b_{13}^2}{\lambda_1^2} \right) - \frac{b_{13}^2}{\lambda_1^2} =$$

$$= \lambda_1 \left( \tilde{x}_1 + \frac{b_{13}}{\lambda_1} \right)^2 - \frac{b_{13}^2}{\lambda_1^2},$$

$$\lambda_2 \tilde{x}_2^2 + 2b_{23} \tilde{x}_2 = \lambda_2 \left( \tilde{x}_2^2 + 2 \frac{b_{23}}{\lambda_2} \tilde{x}_2 + \frac{b_{23}^2}{\lambda_2^2} \right) - \frac{b_{23}^2}{\lambda_2^2} =$$

$$= \lambda_2 \left( \tilde{x}_2 + \frac{b_{23}}{\lambda_2} \right)^2 - \frac{b_{23}^2}{\lambda_2^2}.$$

Осуществим сдвиг декартовой системы координат  $\tilde{x}_1$  и  $\tilde{x}_2$  поместив ее начало в точку

$$O' = \left( -\frac{b_{13}}{\lambda_1}, -\frac{b_{23}}{\lambda_2} \right).$$

Новые координаты  $z_1$  и  $z_2$  выражаются через  $\tilde{x}_1$  и  $\tilde{x}_2$  следующим образом:

$$z_1 = \tilde{x}_1 + \frac{b_{13}}{\lambda_1}, \quad z_2 = \tilde{x}_2 + \frac{b_{23}}{\lambda_2}.$$

В новых координатах уравнение  $f(x_1, x_2) = 0$  теряет линейную часть и принимает вид

$$\lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + k = 0,$$

$$\text{где } k = b_{33} - \frac{b_{13}^2}{\lambda_1^2} - \frac{b_{23}^2}{\lambda_2^2}.$$

Таким образом, с помощью поворота и сдвига исходной системы координат уравнение  $f(x_1, x_2) = 0$  приводится в новых координатах к виду  $\lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + k = 0$ . Причем если уравнение  $f(x_1, x_2) = 0$  в какой-либо декартовой системе координат имеет этот вид, то ни в какой другой декартовой системе оно не может иметь другого вида.

**Нормализация критериев.** Возвращаясь к вопросу нормализации, следует отметить, что новый базис можно построить, приведя квадратичную форму (1) к каноническому виду. Действительно, любая вещественная симметрическая матрица ортогонально подобна вещественной диагональной матрице

$$\Lambda = T^T A T, \\ T^T = T^{-1},$$

где  $A$  – матрица коэффициентов  $a_{ij}$ ;  $\Lambda$  – диагональная матрица собственных значений матрицы  $A$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_m \end{bmatrix};$$

$T$  – матрица перехода (транспонирования) от одного базиса к другому.

В новых переменных квадратичная форма (1) оказывается алгебраической суммой

$$f = \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + \dots + \lambda_m z_m^2.$$

В общем случае от  $T$  можно требовать лишь невырожденности. Поиск соответствующей замены переменных (матрицы  $T$ ) для заданной квадратичной формы называется приведением к каноническому виду. Если  $T$  – ортогональная матрица, то говорят о приведении (1) к главным осям, а переход осуществляется с помощью выражений

$$z = T x,$$

и соответственно

$$x = T^{-1} z.$$

Но в нашем случае мы имеем сразу две квадратичные формы  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$ , которые представляют собой некоторые кривые второго порядка на плоскости. Разумно будет попытаться упростить их уравнения в одной и той же системе координат. В общем случае эта система координат будет аффинной. Следует заметить, что точки в аффинном пространстве являются равноправными, их нельзя складывать друг с другом, также в аффинном пространстве нет понятия нулевой точки или начала отсчёта.

Предположим, что одна из кривых является эллипсом. Тогда перейдем к такой декартовой системе, в которой для нее получается уравнение  $x_1^2/a^2 + x_2^2/b^2 = 1$ . Уравнение второй кривой в этой системе может иметь самый общий вид. Изменив масштабы по осям, перейдем к аффинной системе, в которой уравнением эллипса будет уравнение окружности  $\tilde{x}_1^2 + \tilde{x}_2^2 = 1$ . Уравнение второй кривой в новой (аффинной) системе имеет все еще общий вид. Но с помощью поворота для его квадратичной части можно получить форму  $\lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2$ . При этом поворот системы координат не может изменить формы первого уравнения.

Таким образом, пусть у нас имеется две вещественные симметрические матрицы  $A_2^1$  и  $A_2^2$ , это матрицы коэффициентов  $a_{ij}$  квадратичных частей форм  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  соответственно, и при этом  $A_2^1$  положительно определенная. В общем случае положительность матриц можно проверить с помощью критерия Сильвестра.

Тогда существует вещественная невырожденная матрица  $T$  такая, что матрицы  $T^T A_2^1 T$  и  $T^T A_2^2 T$  обе диагональные. То есть с помощью матрицы транспонирования  $T$  формы  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  могут быть одновременно приведены к каноническому виду.

Действительно, так как в силу положительной определенности все собственные значения матрицы  $A_2^1$ ,  $\lambda_i > 0$ , для всех  $i$ . Тогда  $A_2^1$  ортогонально подобна (конгруэнтна) диагональной матрице  $\Lambda$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & \\ & \lambda_2 \end{bmatrix} = Q^T A_2^1 Q, \quad Q^T = Q^{-1},$$

где  $Q$  – матрица собственных векторов матрицы  $A_2^1$ .

Далее заметим, что  $A_2^1$  также конгруэнтна единичной матрице  $I$  (по определению,  $\Lambda^{-1/2} \equiv (\Lambda^{-1/2})^{-1}$ )

$$I = \Lambda^{-1/2} Q^T A_2^1 Q \Lambda^{-1/2} = (Q \Lambda^{-1/2})^T A_2^1 (Q \Lambda^{-1/2}).$$

Пусть то же преобразование конгруэнтности в применении к  $A_2^2$  дает матрицу

$$C = (Q \Lambda^{-1/2})^T A_2^2 (Q \Lambda^{-1/2}).$$

Легко проверить, что  $C$  остается вещественной симметричной матрицей. Следовательно, с помощью ортогональной матрицы  $V$ , которая является матрицей собственных векторов матрицы  $C$ , получаем диагональную матрицу  $D = V^T C V$ . В данном случае  $D$  будет диагональной матрицей собственных значений матрицы  $C$

$$D = \begin{bmatrix} \lambda_1^c & \\ & \lambda_2^c \end{bmatrix}.$$

В то же время,  $V^T I V = I$ . Окончательно

$$I = T^T A_2^1 T, \quad D = T^T A_2^2 T,$$

где  $T = Q \Lambda^{-1/2} V$ .

Таким образом, для того чтобы нормализовать критерии  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  (привести их к каноническому виду) необходимо:

- выделить хотя бы одну положительно определенную квадратичную часть этих критериев (к примеру, пусть в нашем случае положительно определенной будет квадратичная часть первого критерия, то есть  $A_2^1$ );
  - найти собственные значения и собственные вектора положительно определенной матрицы  $A_2^1$  и составить матрицы  $\Lambda$  и  $Q$ ;
  - с помощью квадратичной части второго критерия  $A_2^2$  (определенность этой матрицы не важна) и матриц  $\Lambda$  и  $Q$  вычислить матрицу  $C$ ;
  - найти собственные значения и собственные вектора матрицы  $C$  и составить матрицы  $D$  и  $V$ . Хотя матрица  $D$  нужна только для проверки, в вычислениях она не используется;
  - с помощью матриц  $\Lambda$ ,  $Q$  и  $V$  вычислить матрицу транспонирования  $T$ , с ее помощью и будет осуществляться переход к новому базису.
- После диагонализации критериальные функции (верхние индексы при коэффициентах  $a_{ij}$  соответствуют номеру критерия)

$$f_1(x_1, x_2) = a_{11}^1 x_1^2 + 2a_{12}^1 x_1 x_2 + a_{22}^1 x_2^2 + 2a_{11}^2 x_1 + 2a_{12}^2 x_2 + a_{00}^1$$

$$f_2(x_1, x_2) = a_{11}^2 x_1^2 + 2a_{12}^2 x_1 x_2 + a_{22}^2 x_2^2 + 2a_{11}^1 x_1 + 2a_{12}^1 x_2 + a_{00}^2$$

будут выглядеть следующим образом

$$f_1(z_1, z_2) = (z_1 - z_{01})^2 + (z_2 - z_{02})^2 + k_1$$

$$f_2(z_1, z_2) = \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + k_2$$

или в общем виде

$$f_1(z_1, z_2, \dots, z_m) = (z_1 - z_{01})^2 + (z_2 - z_{02})^2 + \dots + (z_m - z_{0m})^2 + k_1,$$

$$f_2(z_1, z_2, \dots, z_m) = \lambda_1 z_1^2 + \lambda_2 z_2^2 + \dots + \lambda_m z_m^2 + k_2.$$

Переход от старой системы координат к новой и наоборот осуществляется с помощью выражений  $z = Tx$  и  $x = T^{-1}z$ .

Таким образом, с помощью изменения масштаба по осям, поворота и сдвига системы координат старое семейство эллипсов (рис. 3) может быть трансформировано в семейство окружностей с центром в точке  $(z_{01}, z_{02})$  и семейство деформированных эллипсов (рис. 4).

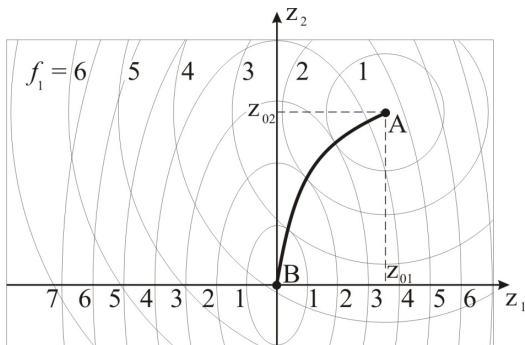


Рис. 4. Семейства деформированных эллипсов

**Поиск парето-оптимальных значений массово-траекторных параметров и критериев.** В содержательных терминах идея решения задачи парето-оптимального выбора МТП ТАС заключается в определении уравнения кривой АВ в многомерном пространстве исследуемых массово-траекторных параметров. Выше отмечалось, что кривая АВ (линия Парето) проходит через точки соприкосновения изоквант. Причем при переходе в новую систему координат это ее свойство не меняется, она по-прежнему остается геометрическим местом точек соприкосновения линий второго порядка нового семейства  $f_1$  с линиями семейства  $f_2$  (рис. 4).

Следовательно, в этих точках касательная и нормаль к изоквантам семейства  $f_1$  совпадают с касательной и нормалью к изоквантам семейства  $f_2$ , что позволяет сформировать систему уравнений вида

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_1 - x_1^O}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{x_2 - x_2^O}{dx_2} \Big|_{M_0} \\ \frac{df_1}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{df_1}{dx_2} \Big|_{M_0} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{x_1 - x_1^O}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{df_1}{dx_1} \Big|_{M_0} \\ \frac{x_2 - x_2^O}{dx_2} \Big|_{M_0} = \frac{df_1}{dx_2} \Big|_{M_0} \end{aligned} \right\},$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{x_1 - x_1^O}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{x_2 - x_2^O}{dx_2} \Big|_{M_0} \\ \frac{df_2}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{df_2}{dx_2} \Big|_{M_0} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \frac{x_1 - x_1^O}{dx_1} \Big|_{M_0} = \frac{df_2}{dx_1} \Big|_{M_0} \\ \frac{x_2 - x_2^O}{dx_2} \Big|_{M_0} = \frac{df_2}{dx_2} \Big|_{M_0} \end{aligned} \right\},$$

где  $M_0$  – точка касания;  $x_1^O, x_2^O$  – координаты точки касания.

Для того чтобы точка касания была парето-оптимальной необходимо, чтобы она принадлежала кривой АВ, то есть  $M_0(x_1^O, x_2^O) \in AB$ .

При переходе в новую систему координат значение  $M_0(x_1^O, x_2^O)$  будет одинаковым, как и для семейства  $f_1$ , так и для  $f_2$ . В связи с чем в новой системе координат исходная система уравнений примет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{df_1}{dz_1} = \frac{2(z_1 - z_{01})}{2(z_1 - z_{02})} \\ \frac{df_2}{dz_2} = \frac{2\lambda_1 z_1}{2\lambda_2 z_2} \end{aligned} \right\}$$

Таким образом, зная одну координату точки, уже из новой системы уравнений, можно вычислить значение другой точки по формуле

$$z_2 = \frac{z_{02}}{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \left(1 - \frac{z_{01}}{z_1}\right)}.$$

Можно показать, что в многомерном случае координаты точек, принадлежащих линии Парето, можно определить по аналогичной формуле

$$z_m = \frac{z_{0m}}{1 - \frac{\lambda_m}{\lambda_1} \left(1 - \frac{z_{01}}{z_1}\right)},$$

где  $z_{0m}$  – m-я координата центра семейства  $f_1$  в новой системе координат;  $\lambda_m$  – собственное значение квадратичной формы  $f_1$ .

Следовательно, зная координаты центра семейства  $f_1 - (z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0m})$ , собственные значения квадратичной формы  $f_1 - (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$  и варьируя значения координаты  $z_1$  в диапазоне  $[0, z_{01}]$ , можно вычислить остальные координаты точек, принадлежащих линии Парето. Применение обратных преобразований системы координат позволяет определять парето-оптимальные МТП ТАС в исходной системе координат.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Таким образом, имея конкретную информацию об МТП ТАС ее критерии качества можно представить в виде квадратичных полиномов. Далее применив к ним различные методы матричного анализа и линейной алгебры, можно

сформировать парето-оптимальную область вариантов построения этой системы.

Данная методология позволяет в дальнейшем получить из парето-оптимальной области по значению любой одной заданной координаты – весь набор координат массово-траекторных параметров системы, а также значения критериальных функций в многомерном критериальном пространстве.

Кроме этого применив к найденной парето-оптимальной области методы формализации

многокритериальных задач можно найти единственный оптимальный вариант построения трансформерной авиационной системы.

Перспективы дальнейших исследований состоят в разработке обобщенных методов оптимизации более широкого круга параметров трансформерных авиационных систем различного функционального назначения.

### Литература

1. **Voronin A.** Multicriteria Decision-Making. Systemic Approach / A. Voronin. – Lambert Academic Publishing, 2014. – 139 p. 2. **Voronin A.** Theory and Practice of Multicriteria Decisions: Models, Methods, Realization / A. Voronin, Y. Ziatdinov. – Lambert Academic Publishing, 2013. – 305 p. 3. **Voronin A.M.** Multicriteria optimization of dynamic control systems // Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence / Voronin A.M., Ziatdinov Y.K., Permiakov Y.O., Varlamov I.D. – 2014. – No. 2 (20). pp. 38–48. 4. **Saaty T.L.** Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process. – N.Y.: McGraw-Hill, 1990. –

380 p. 5. **Voronin A.N.** A nonlinear trade-off scheme in multicriteria evaluation and optimization problems // Kibernetika i Sistemnyi Analiz. – 2009. – No. 4. pp. 106–114. 6. **Лебедев А. А.** Основы синтеза систем летательных аппаратов / [А. А. Лебедев, В. Н. Баранов, В. Т. Бобронников и др.]; под ред. А. А. Лебедева. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с. 7. **Воронин А. Н.** Сложные технические и эргатические системы: методы исследования / [А. Н. Воронин, Ю. К. Зиятдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский]. – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРЕТО-ОПТИМАЛЬНОЇ ОБЛАСТІ МАСОВО-ТРАЄКТОРНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСФОРМЕРНОЇ АВІАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

<sup>1</sup>Юрій Кашафович Зіатдінов (д-р техн. наук, професор)

<sup>1</sup>Альберт Миколайович Воронін (д-р техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Олександр Юрійович Пермяков (д-р техн. наук, професор)

<sup>2</sup>Ігор Давидович Варламов (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

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

У роботі розглядається задача пошуку оптимальних варіантів побудови трансформерних авіаційних систем. При цьому визначаються такі масово-траєкторні параметри системи, які з достатньою повнотою і вірогідністю характеризують трансформер та одночасно дозволяють зменшити розмірність задачі, яка вирішується.

Трансформерність зумовлює характерну протирічність та зв'язність критеріїв оптимізації, тому окремо вирішується задача визначення координат критериального простору, в якому здійснюється екстремізація критеріїв.

Ідея вирішення задачі парето-оптимального вибору масово-траєкторних параметрів трансформерних авіаційних систем полягає в визначенні рівняння кривої лінії Парето в багатомірному просторі масово-траєкторних параметрів, які досліджуються. В подальшому застосовував методи матричного аналізу та лінійної алгебри, формується парето-оптимальна область варіантів побудови трансформерної авіаційної системи. Дана методологія дозволяє в подальшому отримати з парето-оптимальної області по значенню будь якої одної заданої координати весь набір координат масово-траєкторних параметрів системи, а також значення критериальних функцій в багатомірному критериальному просторі.

**Ключові слова:** трансформерна авіаційна система; багатокритеріальна оптимізація; критериальна функція; критериальний простір.

### PARETO-OPTIMAL REGION OF MASS-TRAJECTORY PARAMETERS OF TRANSFORMER AVIATION SYSTEM

<sup>1</sup>Yurii K. Ziatdinov (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<sup>1</sup>Albert M. Voronin (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Oleksandr Y. Permiakov (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Ihor D. Varlamov (Candidate of Technical Sciences)

<sup>1</sup>National Aviation University, Kyiv, Ukraine

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

The paper considers on the search optimal variants problem of transformer aviation systems construction. At the same time massively-trajectory parameters of the system are determined, which characterize the transformer with sufficient completeness and reliability and simultaneously reduce the dimensionality of the problem.

Inconsistency characteristic and connectivity optimization criteria determined by transformism, problem of determining the coordinates of a criterion space solves separately by the way of extremization criteria.

The idea of solving the problem of Pareto-optimal region of mass trajectory parameters of transformer aviation system is to determine the equation of the Pareto curve in the multidimensional space of the investigated mass trajectory parameters. Using the methods of matrix analysis and linear algebra, Pareto-optimal region variants of construction for transformers aviation system was generated. This methodology allows to obtain the Pareto-optimal region for the value of any single specified coordinate the entire set mass-trajectory system parameters coordinates and the value of the objective functions in multi-dimensional criterion space.

**Keywords:** transformer aviation system; multi-criteria optimization; criterion function; criterion space.

### References

- 1. Voronin A.** (2014), Multicriteria Decision-Making. Systemic Approach, Lambert Academic Publishing, 139 p.
- 2. Voronin A.** (2013), Theory and Practice of Multicriteria Decisions: Models, Methods, Realization, Lambert Academic Publishing, 305 p.
- 3. Voronin A.N., Ziatdinov Y.K., Permiakov Y.O., Varlamov I.D.** (2014), Multicriteria optimization of dynamic control systems, Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, Vol. 2 (20). pp. 38–48.
- 4. Saaty T.L.** (1990), Multicriteria Decision Making: The Analytical Hierarchy Process, N.Y., McGraw-Hill, 380 p.
- 5. Voronin A.N.** (2009), A nonlinear trade-off scheme in multicriteria evaluation and optimization problems, Kibernetika i Sistemnyi Analiz, Vol. 4. pp. 106–114.
- 6. Lebedev A.A., Baranov V.N., Bobronikov V.T. and others.** (1987), Fundamentals of synthesis aircrafts systems, [Osnovy sinteza system letatelnykh apparatov], Mashinostroenie. Moscow, 224 p.
- 7. Voronin A.N., Ziatdinov Y.K., Kharchenko A.V., Ostashevskiy V.V.** (1997), Complex technical and ergatic system: research method, [Slozhnye tekhnicheskiye i ergaticheskiye systemy: metody issledovaniya], Fakt. Kharkov, 240 p.

Отримано: 07.06.2015 року



*Володимир Іванович Коцюруба (канд. військ. наук, с.н.с., доцент)*

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

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОШУКУ ТА ВИЯВЛЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИМ МЕТОДОМ

*На підґрунті аналізу існуючих підходів щодо моделювання процесів розмінування, зокрема, використання електромагнітних методів пошуку і виявлення рукотворних предметів в укриваючих середовищах (грунт, сніг, вода тощо), запропоновано удосконалену математичну модель пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів радіолокаційним методом, яка, на відміну від існуючих, враховує: параметри зони гарантованого виявлення вибухонебезпечних предметів (поняття введене вперше) на заданих глибинах їх залягання в укриваючих середовищах, характеристики діаграми спрямованості електромагнітного поля під час обґрунтування вимог до засобів пошуку на рухомій базі та залежність потрібного кута спрямованості антени від максимальної відстані виявлення вибухонебезпечних предметів радіолокаційним методом. Крім того, встановлена залежність між шириною головного променя діаграми спрямованості антени на рівні 0,5 від її максимальної потужності та обґрунтованими параметрами зони гарантованого виявлення вибухонебезпечних предметів. Запропоновані удосконалення математичної моделі та послідовності проведення розрахунків дозволять підвищити точність результатів моделювання процесу пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів в укриваючих середовищах під час обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу.*

**Ключові слова:** математична модель; вибухонебезпечний предмет; радіолокаційний метод виявлення; діаграма спрямованості; зона гарантованого виявлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз результатів збройних протистоянь останніх років показав наявність стійкої тенденції зміщення пріоритетів у бік асиметричних дій. За таких умов, поряд із застосуванням авіаційних, артилерійських боєприпасів досить високу ефективність показали інженерні міни та різномірні саморобні вибухові пристрої. Загальна риса визначених боєприпасів щодо можливості нанесення ураження ними як особовому складу, озброєнню та військовій техніці ворогуючих сторін, так й мирному населенню, дозволяє їх віднести до вибухонебезпечних предметів (ВНП) [1]. Виявлення ВНП на сьогоднішній день й є найбільш складною проблемою процесу розмінування місцевості й об'єктів, що підтверджується досвідом подій на сході нашої країни.

З усіх відомих методів виявлення відносно невеликих рукотворних об'єктів радіолокаційний метод є одним із найбільш перспективних [2, 3]. Безперечно враховуючі те, що завчасно не можливо точно вказати який предмет буде виявлено, у якому саме місці та який склад прошарку укриваючого середовища буде мати місце, можна стверджувати, що процес виявлення ВНП буде носити стохастичний характер. При цьому, досить важливим під час моделювання визначеного процесу буде врахування найбільш вагомих факторів, які відображають специфіку радіолокаційного методу зондування під час пошуку ВНП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій [2-7] показав, що дослідженню

ефективності використання пошукових пристроїв із електромагнітними методами пошуку приділялась достатня увага. Однак, предметна сторона для різних досліджень мала різну спрямованість. Так у [2, 3] увага приділялась різним методам виявлення рукотворних об'єктів в укриваючих середовищах. Радіолокаційний метод розглядався з боку теоретичних залежностей: між величиною сигналів, які приймаються, та глибиною залягання об'єктів пошуку; впливу частоти та поляризації СВЧ поля на ефективну площу розсіювання металевих об'єктів. Результати досліджень, які наведені в [4-6], присвячені висвітленню моделей виявлення ВНП індукційним та радіохвильовим методом. Безперечно останній є різновидом радіолокаційного методу зондування. Але різниця характеристик розповсюдження електромагнітних хвиль та специфіка використання визначених методів вимагає проведення додаткового дослідження. В [7] запропонована авторська математична модель виявлення ВНП пошуковим пристроєм із застосуванням радіолокаційного методу, з можливістю встановлення пристрою на легких броньованих засобах. Поряд із використанням імовірнісного підходу та врахуванням достатньої кількості факторів запропонована модель має низку обмежень. Так запропонована модель [7] не в повному обсязі враховує параметри та характеристики діаграми спрямованості головного пелюстка електромагнітного поля, що утворюється розкритом антени; не дозволяє встановити залежність потрібного кута спрямованості антени

до нормалі від відстані виявлення вибухонебезпечних предметів радіолокаційним методом.

Отже існуючі науково-методичні підходи та математичні моделі [2-7] не дають повної відповіді на низку суттєвих проблемних питань, які характеризують специфіку здійснення пошуку та виявлення ВВП радіолокаційним методом. В свою чергу такий стан питання природно призводить до зниження точності результатів моделювання процесу пошуку та виявлення ВВП в укриваючих середовищах під час обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу.

Ці обмеження викликали потребу удосконалення існуючих підходів щодо моделювання процесу пошуку та виявлення вибухонебезпечних і інших рукотворних предметів радіолокаційним методом.

**Мета статті.** Враховуючи це **метою статті** є висвітлення удосконаленої математичної моделі пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів радіолокаційним методом.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розрахунок імовірності виявлення ВВП радіолокаційним методом здійснюється за формулою [6]

$$P_v = P_{\pi} \cdot P_{v/\pi}, \quad (1)$$

де  $P_{\pi}$ ,  $P_{v/\pi}$  – ймовірності попадання та виявлення при умові попадання ВВП в зону дії пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення відповідно.

Імовірність попадання  $P_{\pi}$  ВВП в зону дії пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення за даними [6] визначається за експоненційним законом розподілу. Для зменшення обсягу інформації, що розглядається у статті, умовно приймемо  $P_{\pi} = 1$ . Тобто ВВП з максимальною ймовірністю попаде в зону дії пошукового пристрою. Більше уваги привернемо другому показнику  $P_{v/\pi}$  ймовірності виявлення при умові попадання ВВП в зону дії пошукового пристрою та параметрам процесу виявлення ВВП радіолокаційним методом.

Вихідними умовами для моделювання є

$$d_{\min} \geq s_{\Gamma} \text{ або } d_{\min} \geq l_{\text{б}}; \quad t_{\text{мрл}} \geq t_{\text{рл}}, \quad (2)$$

де  $d_{\min}$  – мінімальна дальність виявлення ВВП пошуковим пристроєм радіолокаційним методом, м;  $s_{\Gamma}$  – гальмівний шлях, який пройде транспортний засіб після одержання сигналу про наявність ВВП, м;  $l_{\text{б}}$  – безпечна відстань, на якій випадкове спрацювання ВВП не призведе до виходу з ладу транспортного засобу та елементів пошукового обладнання, м;  $t_{\text{мрл}}$  – час знаходження ВВП у зоні дії пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення, с;  $t_{\text{рл}}$  – час спрацювання пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення, с.

Для визначення мінімально допустимого наближення до транспортного засобу межі виявлення ВВП, на відміну від [6], із використанням перших двох умов виразу (2) введемо правило

$$d_{\min} = \max\{s_{\Gamma}; l_{\text{б}}\}, \quad (3)$$

згідно з яким межа мінімального наближення ВВП, який має бути виявленим, не повинне бути менш ніж найбільше з двох параметрів.

Виходячи із останньої умови виразу (2) визначення відстані, яку пройде транспортний засіб за час впливу на ділянку місцевості електромагнітних полем, за протяжністю повинна бути

$$l_{\text{рл}} \geq t_{\text{рл}} \cdot V, \text{ м}, \quad (4)$$

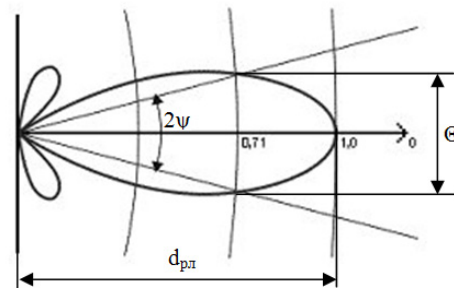
де  $V$  – швидкість руху транспортного засобу з пошуковим пристроєм, м/с.

Потрібна ширина пошуку згідно [6] повинна бути

$$b_{\text{рл}} = 1,3b_{\text{м}}, \text{ м}, \quad (5)$$

де  $b_{\text{м}}$  – ширина базового шасі транспортного засобу, на який встановлений пошуковий пристрій, м.

Основним припущенням в роботі [6], яке приводить до збільшення похибки під час проведення розрахунків, це представлення радіолокаційного поля у вигляді рівнобічного трикутника з кутом  $2\psi$  та основою, на віддаленні якої дальня межа виявлення  $d_{\max} = d_{\text{рл}}$  (рис. 1). Згідно [6] вважається, що саме там буде найширше місце зони пошуку.



**Рис. 1. Діаграма спрямованості радіолокаційного електромагнітного поля, яке формує розкриття антени, та її основні характеристики**

Але якщо звернути увагу (рис. 1) на форму та основні параметри дійсної діаграми спрямованості радіолокаційного електромагнітного поля, яка наведена за відомостями [7], то віддалення найширшого місця співпадає з розміщення ширини  $\Theta$  головного променя діаграми спрямованості на рівні 0,5 від її максимального значення за потужністю.

При цьому, припущення щодо розташування  $d_{\max}$  на відстані  $d_{\text{рл}}$  веде до того, що  $t_{\text{мрл}} \neq \text{const}$  по всій ширині зони пошуку. Отже, якщо задати умови, при яких на віддаленні по осі прямолінійного руху транспортного засобу з

пошуковим пристроєм  $d_{рл} : t_{мрл} = t_{рл}$ , що відповідає умові (2), то на інших (зміщених від центру в будь-який бік) паралелях на ширину  $b_{рл}$  значення  $t_{мрл} < t_{рл}$ . Це говорить про те, що міні з великою ймовірністю можуть бути пропущеними навіть й справно працюючим пошуковим пристроєм. Тому для виправлення встановленої

невідповідності із використанням розрахункової схеми, яка наведена на рис. 2, уточнімо основні формульні залежності.

У війсьній справі для пошуку та виявлення ВНП радіолокаційним методом, як правило, використовуються вузькоспрямовані рупорні антени, для яких  $\Theta_y = \Theta_x$ .

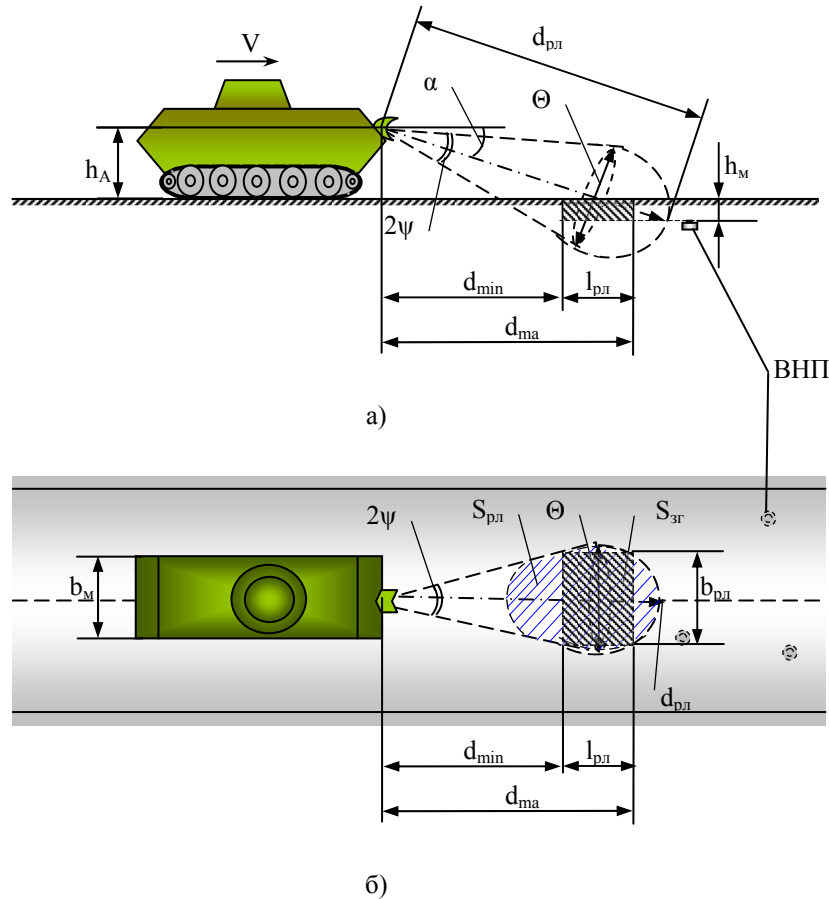


Рис. 2. Розрахункова схема пошуку та виявлення ВНП радіолокаційним методом

Антену розміщують (див. рис. 2а) на висоті  $h_A$  та нахилиють її в бік поверхні укриваючого середовища на величину кута  $\alpha$ , який має назву кут спрямованості антени від нормалі. Проведені дослідження показали, що найбільша ширина сліду електромагнітного поля на поверхні укриваючого середовища буде при такому спрямуванні пошукового пристрою, коли умовна лінія розташування характеристики  $\Theta$  діаграми спрямованості буде співпадати з поверхнею ґрунту.

Під час зондування підповерхневого прошарку радіолокаційним методом частка електромагнітних хвиль уходить у середину укриваючого середовища де, якщо не зустріне об'єкт, затухає. При зустрічі з об'єктом хвилі відбиваються та реєструються приймальною антеною.

Площа  $S_{рл}$  сліду електромагнітного поля на поверхні укриваючого середовища під час її зондування радіолокаційним методом (див. рис. 2б) може бути визначена приблизно, як площа основи

еліпсоїдного сегменту. Але й для уточнених параметрів ширини та довжини еліпсу зони зондування радіолокаційним методом добитися виконання умови (2) не можливо, тому що  $t_{мрл} \neq const$ .

Тому потрібно величину  $l_{рл}$  за умов  $t_{іде} = const$  по всій ширині смуги пошуку  $b_{рл}$  прийняти як мінімально потрібну протяжність зони виявлення ВНП на задану глибину  $h_m$  їх встановлення за один цикл дій пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення. Тоді площа місцевості, яка міститься в межах параметрів  $l_{рл}$  та  $b_{рл}$ , буде мати форму прямокутника з гарантовано однаковими просторово-часовими значеннями показників дії пошукового пристрою з радіолокаційним методом.

За таких умов введемо нове поняття “зона гарантованого виявлення ВНП радіолокаційним методом” (рис. 2б), під якою будемо розуміти прямокутну ділянку місцевості з площею

$$S_{згв} = I_{рл} \cdot b_{рл}, \text{ при } S_{згв} \subset S_{рл}, \quad (6)$$

яка повністю входить до площі  $S_{рл}$  сліду електромагнітного поля на поверхні укриваючого середовища під час її зондування радіолокаційним методом.

Тоді максимальне гарантоване віддалення (тильна межа зони гарантованого виявлення ВВП) згідно вимог будемо визначати як

$$d_{\max} = d_{\min} + I_{рл}. \quad (7)$$

Для визначених параметрів зони гарантованого виявлення  $I_{рл}$ ,  $b_{рл}$  та мінімально допустимого її наближення  $d_{\min}$  введемо формульні залежності для характеристик діаграми спрямованості електромагнітного поля, що формується розкритом антени.

Ширина  $\Theta$  головного променя діаграми спрямованості на рівні 0,5 від її максимальної потужності обґрунтовується за формулою

$$\Theta = b_{рл} \left[ 1 + \frac{I_{рл}}{2d_{\min}} \right], \quad (8)$$

а максимальне віддалення діаграми спрямованості

$$d_{рл} = \frac{d_{\min} + 0,5I_{рл}}{0,707}. \quad (9)$$

Кут розкриття діаграми спрямованості приймаємо рівним

$$2\psi = 2\arctg \frac{b_{рл}}{2d_{\min}}. \quad (10)$$

Із врахуванням віддалення точки прицілювання кут спрямованості антени пропонується визначати за формулою

$$\alpha = \arccos \frac{d_{\min} + 0,5I_{рл}}{h_A}. \quad (11)$$

Враховуючі наведені залежності формулу визначення імовірності виявлення ВВП, який попав в зону дії пошукового пристрою з радіолокаційним методом виявлення, залишаємо таку, як наведено в [6]. А саме

### Література

1. Денисенко А. М. Математическая модель поражения легких бронированных машин взрывоопасными предметами фугасного типа / А. М. Денисенко, В. Н. Зиркевич, А. М. Андриенко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – К., 2007. – № 4. – С. 34–37.
2. Щербаков Г. Н. Обнаружение скрытых объектов. – М.: Арбат-Информ, 2004. – 144 с.
3. Щербаков Г. Н. Новые методы обнаружения скрытых объектов. – М.: ООО Эльф ИПР, 2011. – 503 с.
4. Денисенко А. М. Математическая модель обнаружения взрывоопасных предметов индукционным методом / А. М. Денисенко, В. И. Коцюруба // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – К., 2007. – № 4. – С. 19–23.
5. Денисенко О. М. Математична модель виявлення вибухонебезпечних предметів пошуковим пристроєм з радіохвильовим методом, встановленим на легких броньованих машинах / О. М. Денисенко, С. В. Мацюк //

$$P_{в/п} = \frac{1}{2} \left( \Phi \left( \frac{d_{\max} - \mu_{врл}}{\sigma_{врл} \cdot \sqrt{2}} \right) - \Phi \left( \frac{d_{\min} - \mu_{врл}}{\sigma_{врл} \cdot \sqrt{2}} \right) \right), \quad (12)$$

де  $d_{\max}$ ,  $d_{\min}$  – максимальна та мінімальна дальності виявлення ВВП пошуковим пристроєм з радіолокаційним методом виявлення, м;  $\mu_{врл}$  – математичне очікування дальності виявлення ВВП пошуковим пристроєм з радіолокаційним методом виявлення, м;  $\sigma_{врл}$  – середньоквадратичне відхилення дальності виявлення ВВП, м.

Отже, розглянута в статті удосконалена математична модель пошуку та виявлення ВВП радіолокаційним методом, на відміну від існуючих, враховує: параметри зони гарантованого виявлення ВВП (поняття введене вперше) на заданих глибинах їх залягання в укриваючих середовищах, характеристики діаграми спрямованості антени по головному пелюстку під час обґрунтування вимог до засобів пошуку на рухомій базі та залежність потрібного кута спрямованості антени від максимальної відстані виявлення ВВП радіолокаційним методом. Крім того, встановлена залежність між шириною головного променя діаграми спрямованості на рівні 0,5 від її максимальної потужності та обґрунтованими параметрами зони гарантованого виявлення ВВП.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропоновані в статті удосконалення математичної моделі та послідовності здійснення моделювання дозволять підвищити точність результатів моделювання процесу пошуку та виявлення вибухонебезпечних предметів в укриваючих середовищах під час обґрунтування вимог до засобів розмінування даного типу. Напрямами подальших досліджень є удосконалення методичних підходів для дослідження процесів виявлення ВВП магнітометричним методом.

- Збірник наукових праць НАДПСУ ім. Б.Хмельницького. Серія: військові та технічні науки. – Хмельницький: Вид-во НАДПСУ, 2010. – № 52. – С. 54–57.
6. Коцюруба В. І. Удосконалена математична модель виявлення вибухонебезпечних предметів радіохвильовим методом / В. І. Коцюруба, О. М. Гусяков // Наука і техніка Повітряних Сил. – Харків: ХУПС, 2013. – № 1 (10). – С. 163 – 166.
  7. Денисенко О. М. Математична модель виявлення вибухонебезпечних предметів пошуковим пристроєм з радіолокаційним методом виявлення, встановленим на легких броньованих машинах / О. М. Денисенко // Збірник наукових праць НУОУ: Труді університету. – К.: НУОУ, 2009. – № 3 (93). – С. 152–157.
  8. Блюх П. В. Радиоволны на земле и в космосе. – М.: Бюро Квантум, 2007. – 207 с.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОИСКА И ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

*Владимир Иванович Коцюруба (канд. воен. наук, с.н.с., доцент)*

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

На основании анализа существующих подходов до моделирования процессов разминирования, а именно, использования электромагнитных методов поиска и обнаружения рукотворных предметов в укрывающих средах (грунт, снег, вода и т. д.), предложена усовершенствованная математическая модель поиска и обнаружения взрывоопасных предметов радиолокационным методом, которая, в отличие от существующих, учитывает: параметры зоны гарантированного обнаружения взрывоопасных предметов (понятие введено впервые) на заданных глубинах их установки в укрывающих средах, характеристики диаграммы направленности антенны при обосновании требований к средствам поиска на подвижной базе и зависимость необходимого угла направленности антенны от максимального расстояния обнаружения взрывоопасных предметов радиолокационным методом. Кроме этого, установлена зависимость между шириной главного луча диаграммы направленности антенны на уровне 0,5 от ее максимальной мощности и параметрами зоны гарантированного обнаружения взрывоопасных предметов. Предложенные усовершенствования математической модели и последовательность проведения расчетов позволят повысить точность результатов моделирования процесса поиска и обнаружения взрывоопасных предметов в укрывающих средах при обосновании требований к средствам разминирования данного типа.

**Ключевые слова:** математическая модель; взрывоопасный предмет; радиолокационный метод обнаружения; диаграмма направленности; зона гарантированного обнаружения.

**MODELING EXPLOSIVE ORDNANCE SEARCH AND DETECTION PROCEDURES BY RADAR TECHNIQUES**

*Volodymyr I. Kotsiuruba (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor)*

*National Defense University Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine*

Based on the analysis of existing approaches to the modeling of demining, namely, use of electromagnetic methods of prospecting and detecting man-made objects in harboring environments (soil, snow, water, etc.), was proposed an improved mathematical model of search and detection of explosives by a radar method, which, unlike existing ones, takes into account: the parameters of the zone of the guaranteed exposure to explosive hazards (the concept was introduced for the first time) at specified depths of their installation in covering environments, the characteristics of the directivity of the electromagnetic field in the justification of requirements to the means of searching on the movable base, and the dependence of the necessary angle of the antenna from the maximum distance of detection of explosive objects by the radar method. Besides, it was found the dependence between the width of the main beam of the directivity diagram at the level of 0.5 from its maximum power settings and the parameters of the zone of guaranteed detection of the explosive devices. The suggested improvements of the mathematical model and the sequence of calculations will increase the accuracy of simulation results of the process of search and detection of explosive devices in environments harboring in the justification of requirements for clearance of this type.

**Keywords:** mathematical model; explosive devices; radar detection method; radiation pattern; a detection zone of guaranteed.

**References**

1. Denisenko A. M., Zirkevich V. N., Andrienko A. M. (2007), Mathematical model of destruction of light armored vehicles explosive ordnance explosive type. [Matematicheskaya model porazheniya legkih bronirovannykh mashin vzryivoopasnyimi predmetami fugasnogo tipa], Artilleriyskoe i strelkovoe vooruzhenie, Kyiv, No.4, pp. 34-37.
2. Scherbakov G. N. (2004), Finding hidden objects. [Obnaruzhenie skrytykh ob'ektov], Moscow Arbat-Inform, 144 p.
3. Scherbakov G. N. (2011), New methods of detecting hidden objects. [Novyye metody obnaruzheniya skrytykh ob'ektov], Moscow, OOO Elf IPR, 503 p.
4. Denisenko A. M., Kotsiuruba V. I., (2007), A mathematical model of detection of explosive subjects induction method. [Matematicheskaya model obnaruzheniya vzryivoopasnykh predmetov induktsionnyim metodom], Artilleriyskoe i strelkovoe vooruzhenie, Kyiv, No. 4, pp. 19-23.
5. Denisenko O. M., Matsyuk S. V. (2010) Mathematical model of identifying explosive objects Appliance with radio wave method established in light armored vehicles. [Matematichna model viyavleniya vibuhonebehpechnih predmetiv poshukovim pristroem z radiohvilovim metodom, vstanovlenim na legkih bronovanih mashinah], Zbirnik naukovih prats NADPSU Im. B.Hmel'nitskogo. Seriya: viyskovi ta tehnicni nauki, Hmel'nitskiy: Vid-vo NADPSU, No. 52, pp. 54-57.
6. Kotsiuruba V. I., Guslyakov O. M. (2013), Advanced mathematical model Munitions radio wave detection method. [Udoskonalena matematichna model viyavleniya vibuhonebezpechnih predmetiv radiohvilovim metodom], Nauka i tehnika Povitryanih Sil, Harkiv: HUPS, No. 1 (10), pp. 163 - 166.
7. Denisenko O.M. (2011), Mathematical model of identifying explosive objects Appliance of detection by radar, mounted on light armored vehicles. [Matematichna model viyavleniya vibuhonebehpechnih predmetiv poshukovim pristroem z radiolokatsiynim metodom viyavleniya, vstanovlenim na legkih bronovanih mashinah], Zbirnik naukovih prats NUOU: Trudi universitetu, Kyiv, NUOU, No.52, pp. 54-57.
8. Blioh P. V. (2007), Radio waves on the ground and in space. [Radiovolnyi na zemle i v kosmose], Moscow: Byuro Kvantum, 207 p.

Отримано: 12.06.2015 р.

<sup>1</sup>Дмитрий Павлович Кучеров (д-р техн. наук, с.н.с.)<sup>2</sup>Андрей Николаевич Козуб (канд. техн. наук, с.н.с.)<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, Киев, Украина<sup>2</sup>Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

## ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГРУППЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА

В статье предлагается расчёт пропускной способности информации, поступающей от группы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), выполняющих задачу мониторинга земной поверхности. Предполагается, что группа БПЛА может выполнять задачу мониторинга, используя централизованное управление для выполнения одной задачи в составе группы, так и совершенно разные задачи каждым членом группы. Обе задачи применения группы должны решаться с одного пункта управления. Объём передаваемого потока информации растёт. Принцип обработки информационных потоков предполагает наличие накопительного буфера, где создаётся очередь потока обслуживаемой информации. Для получения основных результатов существенно использованы теоретические подходы анализа информационных систем с очередями. Информация собирается и передается далее для обслуживания сервером. Для анализа показателей качества системы обслуживания выбраны пропускная способность канала передачи и ёмкость накопительного буфера. Основное допущение при анализе подобных систем заключается в том, что пропускная способность информационной системы подчиняется экспоненциальному распределению входных данных по закону Пуассона, что не всегда выполняется. В реальных ситуациях, обработка данных занимает некоторое время, что приводит к последствию. Поэтому, чтобы решить эту проблему был предложен учет последствия в потоке обслуживания. Это оказывается возможным, если отказаться от экспоненциального распределения интервалов между событиями потока обслуживания и заменить его потоком Эрланга второго порядка. Достоверность полученных данных подтверждается расчётом по формулам Полячека-Хинчина. В статье приводится числовой пример расчёта на основании обоих подходов.

**Ключевые слова:** группа БПЛА; источник информации; пропускная способность; сервер; буфер; очередь; обслуживание информационного потока.

### Вступление

#### Постановка проблемы.

Современные исследования в области применения беспилотных летательных аппаратов ориентированы на поиск возможностей коллективного их использования. Такие исследования в настоящее время сейчас направлены на оборонную сферу, предупреждение и ликвидацию последствий техногенных катастроф и аварий, а также могут быть использованы для поисковых или транспортных задач.

Вопросы коллективного дистанционного управления машинами (роботами) всех сфер жизнедеятельности человека (земля, вода, космос, недра земли) находятся в поле зрения ученых экономически развитых государств, а ежегодный рост количества публикаций в периодических отечественных изданиях и изданиях ближнего и дальнего зарубежья в данной области исследований, свидетельствует об актуальности обсуждаемых вопросов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Задача для группы дистанционно управляемых роботизированных средств ставится оператором, которая может быть выполнена

согласованно, децентрализованно или же вовсе ориентирована на одновременное выполнение разных задач. Таким образом, типовая структура группового управления роботизированных средств должна иметь единый пульт управления с возможностью постановки задач отдельным средствам и отображения их деятельности. Система соответственно представляет компьютерную систему, которая имеет собственное программное обеспечение, гармонизируемое с существующими операционными системами. Роботизированное средство в свою очередь обеспечивается средствами связи, ориентирования и навигации, исполнительными устройствами. Предполагается, что программное обеспечение будет в состоянии обеспечить характеристики точности и времени выполнения поставленных группе задач.

В случае децентрализованного управления система управления роботизированным средством должна строиться как система с элементами искусственного интеллекта, позволяющая ставить задачу собственным исполнительным органам и контролировать ее выполнение. Отсюда следует, что каждый элемент группы должен иметь

иерархическую систему управления, состоящую, как минимум, из двух уровней управления. Верхний уровень отвечает за принятие решений на выполнение задач, а нижний уровень, в свою очередь, отвечает за качество выполняемых задач.

Существуют определенные отличия в условиях применения воздушных и наземных аппаратов, которые заключаются в управляемости и способах доставки роботизированных средств в пункт назначения, полезной нагрузки аппарата, а также контроля за их дальнейшими действиями.

Обработка данных принимаемых от группы БПЛА может проводиться на основе теории массового обслуживания, основные положения которой изложены в [1]. В зарубежной литературе [2-6] данная задача известна как задача обслуживания очередей. Характерной постановкой для анализа этой задачи является её представление в виде так называемой нотации Кенделла [2], в которой указывается распределения запросов и обслуживания, а также количество используемых серверов. Типовая задача, когда поток заявок и обслуживания одним сервером распределены по закону Пуассона, представлена в [3].

Рассмотрение реальной ситуации при обслуживании потока данных базируется на формулах Полячека-Хинчина, представленных в [7, 8]. Однако, решение задачи обработки данных, поступающих от  $n$ -источников в исследуемой литературе не обнаружено и представляет научный интерес.

**Цель статьи.** На основании представлений о работе группы БПЛА, передающей информацию на сервер, сформулировать и решить задачу обработки одним сервером информацию, поступающую от  $n$ -источников при наличии буфера, где собирается информация, готовая к обработке, а также оценить основные показатели качества системы обслуживания и предложить подход к оценке ёмкости накопительного буфера.

### Изложение основного материала исследования

**Постановка задачи.** Имеем систему, состоящую из  $l$  источников информации, передающих серверу информацию произвольным образом (рис. 1). Каждый источник представляет прямо-передающее устройство, где передающее устройство передает данные, а приемник получает сигналы готовности и конца приема данных. Полезная информация представляет некоторый блок маркированных данных. Процесс приема данных и отправки подтверждения будем называть обслуживанием. Информация собирается и передается далее для обслуживания сервером. Сервер принимает информацию и направляет источнику подтверждение о получении и обслуживании данных. Данные на сервер от одного источника поступают с интенсивностью  $\lambda$ , а интенсивность потока заявок от всех источников  $\Lambda = n\lambda$ . Каждый источник обслуживается с интенсивностью  $\mu$  такой, что  $\lambda \neq \mu$ .

Сервер обслуживает источники в порядке очереди, поэтому данные выстраиваются в некотором буфере, находящемся на стороне сервера, в последовательность, которую обычно называют очередью, где они ожидают обслуживания, которое в среднем занимает интервал  $T_N$ . Максимальное число данных, которые могут находиться в очереди  $N$ , определяет размер буфера. Данные в очереди обслуживаются в порядке поступления, т.е. первый приходящий блок обслуживается первым (метод FIFO). Эта одноканальная система массового обслуживания (СМО) замкнутого типа с  $n$  числом состояний.

Ставится задача найти такие параметры системы без потерь информации в предположении о пуассоновском распределении поступления и обслуживания блоков информации, что соответствует модели М/М/1 [2], и произвольном потоке обслуживания.

**Решение.** Рассмотрим задачу об  $n$ -источниках. Введём следующие состояния:  $S_0$  – источники готовы к передаче информации,  $S_1$  – происходит передача информации от 1-го источника,  $S_2$  – два источника передают информацию, один из них обслуживается сервером, а информация от второго загружается в буфер;  $S_n$  – все источники передают информацию, один обслуживается, и есть информация, которая находится в буфере.

Поскольку информация поступает от всех источников одновременно, то поток заявок на обслуживание составляет  $\Lambda$ , а обслуживание происходит с интенсивностью  $\mu$ . Тогда система уравнений (1) для принятой схемы функционирования системы имеет вид

$$\begin{aligned} p_1 &= n\rho p_0, \\ p_2 &= n(n-1)\rho^2 p_0, \\ &\dots \\ p_n &= n!\rho^n p_0, \\ p_0 &= \left[1 + n\rho + \dots + n!\rho^n\right]^{-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Вероятности каждого из состояний находятся решением системы уравнений (1). Принятые показатели эффективности рассчитываются на основании этих решений. Принимая во внимание, что все заявки, не учитывая время обслуживания, будут, в конечном счёте, обслужены, то будем считать относительную пропускную способность системы равной 1. Тогда абсолютную пропускную способность можно оценить по вероятности занятости сервера с учётом интенсивности сервера  $\mu$ , то есть

$$A = \mu(1 - p_0). \quad (2)$$

Определим среднее число источников, информация от которых находится в системном буфере, как величину, которая отличается от общего числа не обслуженных источников  $w_{необ}$  на количество тех источников, информация которых обрабатывается  $w_{об}$ .



Число источников, не попадающих в категорию обслуженных  $w_{необ}$ , находится как

поток информации, соответствующий абсолютной пропускной способности, т.е. из равенства

$$(n - w_{необ})\lambda = (1 - p_0)\mu. \quad (3)$$

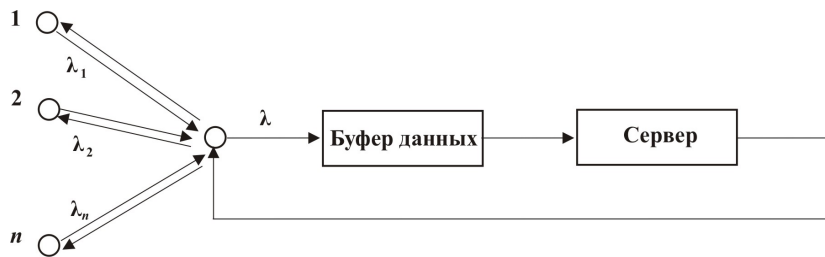


Рис. 1. Структура системы обслуживания с одним сервером

Число не обслуженных источников  $w_{необ}$  из (3) равно

$$w_{необ} = n - \frac{(1 - p_0)}{\rho}. \quad (4)$$

Число источников  $w_{об}$ , информация от которых обслуживается равно

$$w_{об} = 1 - p_0. \quad (5)$$

Тогда число источников, информация которых находится в буфере, определяется формулой

$$w_{буф} = n - \frac{(1 - p_0)}{\rho} - (1 - p_0) = n - (1 - p_0)(1 + 1/\rho). \quad (6)$$

Показатели занятости и пропускной способности (2) – (6) рассчитываются, полагая, что выполняются условия для пуассоновского потока событий, а именно ординарности, стационарности и отсутствия последствия в потоке данных [1, 3].

В реальности требование последствия не выполняется. Возникает необходимость учёта малого интервала времени  $\tau$  между соседними интервалами обслуживания, необходимого для приведения в состояние готовности к очередному обслуживанию свидетельствует о наличии ограниченного последствия в потоке данных (см., например, [4, п. 19.5]). Состояния системы не привязаны к номеру источника, определяются только готовностью передать информацию, поэтому для сервера одинаково равноценны. Учитывая ограниченный характер последствия, имеем поток событий Пальма [1, с. 206], а система представляет систему массового обслуживания с ожиданием.

Предположим, что данный поток получен просеиванием простейшего потока, в котором интервал времени  $T$  между соседними событиями будет состоять из 2-х подинтервалов: отрезка времени поступления  $T_1$  и малого интервала последствия  $\tau$ . Плотность распределения потока обслуживания подчиняется закону Эрланга 2-го порядка и определяется формулой

$$f_2(t) = \mu^2 t e^{-\mu t}, \quad (7)$$

где  $\mu = T_{\text{инт}}^{-1}$  – интенсивность потока обслуживания заявок, а основные параметры распределения, в соответствии с [2], имеют вид

$$m_{(2)} = \frac{2}{\mu}, \quad D_{(2)} = \frac{2}{\mu^2}, \quad \sigma_{(2)} = \frac{\sqrt{2}}{\mu}. \quad (8)$$

Описываемый поток относится к классу немарковских случайных процессов, поэтому составление дифференциальных уравнений для описания функционирования системы не представляется возможным. Традиционно анализ системы массового обслуживания немарковского типа сводится к расширению фазового пространства состояний. Метод применяется для ограниченного числа псевдосостояний, в случае  $n$ -источников число псевдосостояний может оказаться значительным, что увеличивает вычислительную сложность задачи.

Произведем оценку параметров системы с использованием формул Полячека-Хинчина [1]. Введём меру случайности для потока обслуживания в виде коэффициент вариации  $v$

$$v = \frac{\sigma_{(2)}}{m_{(2)}} \quad (9)$$

значения которого 0 и 1 соответствуют регулярному (неслучайному) и простейшему потоку данных. Тогда среднее число данных  $\bar{r}$ , находящихся в очереди, и среднее время ожидания в очереди  $\bar{t}_{ож}$  выражаются формулами

$$w_{буф} = \frac{\rho^2(1 + v^2)}{2(1 - \rho)}, \quad (10)$$

$$\bar{t}_{ож} = \frac{\rho^2(1 + v^2)}{2\lambda(1 - \rho)}. \quad (11)$$

где  $\rho$  – коэффициент загрузки системы, указывающий среднее число обслуженных заявок в потоке за среднее время обслуживания, т. е.  $\rho = \lambda/\mu$ .

**Пример.** Рассмотрим систему БПЛА, состоящую из трёх аппаратов, которая проводит мониторинг воздушного пространства в течение 2 часов. Сеанс связи с сервером каждого источника происходит каждые 20 минут. Интервал обслуживания каждого аппарата занимает приблизительно 10 минут. Оценка показатели пропускной способности системы и оценим требования к буферу, собирающему информацию для обслуживания. Для заданных исходных



данных имеем  $n=3$ ,  $\lambda=3$ ,  $\mu=6$ ,  $\rho=0,5$ . В соответствии с (1)

$$p_0 = \left[ 1 + 3 \cdot 0,5 + 3 \cdot 2 \cdot (0,5)^2 + 3! \cdot (0,5)^3 \right]^{-1} = 0,21.$$

Абсолютная пропускная способность сервера в соответствии с (2)

$$A = 6(1 - 0,21) = 4,74.$$

Среднее число не обслуженных аппаратов по (4)

$$w_{\text{необ}} = 3 - \frac{(1 - 0,21)}{0,5} = 1,42.$$

Размер буфера должен быть согласован с величиной (6)

$$w_{\text{буф}} = 3 - (1 - 0,21)(1 + 2) = 0,63.$$

При переходе времени обслуживания распределением Эрланга 2-го порядка с параметрами  $m=0,33$ ,  $\sigma=0,24$ ,  $v=0,72$  получаем длину буфера с учётом последствия по формуле (10)

$$w_{\text{буф}} = \frac{0,5^2(1 + 0,72^2)}{2(1 - 0,5)} = 0,38.$$

Анализ полученных цифр позволяет сделать вывод, что учёт последствия ослабляет требования к объёму буфера.

## Выводы и перспективы дальнейших исследований

В статье представлен общий подход к расчёту показателей информационного трафика воздушной информационной системы состоящей из  $n$  беспилотных летательных аппаратов, выполняющих задачу мониторинга земной поверхности на длительном интервале времени. Это позволяет при условии времени мониторинга  $T \rightarrow \infty$  применить для расчёта алгебраическую систему уравнений состояний системы, аналогично той, которая используется при анализе непрерывных марковских цепей – “схему гибели и размножения”. Данный подход справедлив в случае, когда информационный поток можно представить пуассоновским, что не всегда является адекватной заменой. В статье также рассмотрен подход, основанный на учёте последствия в обработке информации на сервере. При этом изначальная схема расчёта не выполняется, а возникает необходимость применения других подходов, в частности, замены экспоненциального распределения интервалов между событиями на Эрланга второго порядка. В этом случае временные показатели к системе рассчитываются на основании формул Полячека-Хинчина.

## Литература

1. **Вентцель Е. С.** Исследование операций / Вентцель Е.С. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.  
 2. **Столлингс В.** Современные компьютерные сети / В. Столлингс. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.  
 3. **Abate J.** Simple spectral representations for the M/M/1 queue / Abate J. // Queueing systems. – № 3. – 1988. – P. 321-346.  
 4. **Stewart W. J.** Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation / W. J. Stewart. – NJ: Princeton University Press, 2009. – 776 p.  
 5. **Касконе А.** Система Geom/G/1/n с дисциплиной LIFO без прерывания обслуживания и ограничением на суммарный объем заявок /

А. Касконе, Р. Манзоа. Печинкин, С. Я. Шоргин // Автомат. и телемех. – 2011. – № 1. – С. 107–120.  
 6. **Гришунин Ю.Б.** Оптимальное управление очередью в системе  $M|G|1|_{\infty}$  с возможностью ограничения приема заявок / Ю.Б. Гришунин // Автомат. и телемех. – 2015. – Вып. 3. – 79-93 с.  
 7. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей / Е. С. Вентцель — М.: Высш. шк., 1999.— 576 с.  
 8. **Вишневский В.М.** Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / Вишневский В.М. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.

## ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ГРУПИ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАВДАННЯ МОНІТОРИНГУ

<sup>1</sup>Дмитро Павлович Кучеров (д-р техн. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Андрій Миколайович Козуб (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

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

В статті пропонується розрахунок пропускної спроможності інформації, що надходить від групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що виконують завдання моніторингу земної поверхні. Передбачається, що група БПЛА може виконувати завдання моніторингу, використовуючи централізоване управління для виконання одного завдання в складі групи, так і абсолютно різні завдання кожним членом групи. Обидва завдання застосування групи повинні вирішуватися з одного пункту управління. Обсяг переданого потоку інформації зростає. Принцип обробки інформаційних потоків передбачає наявність накопичувального буфера, де створюється черга потоку інформації, що обслуговується. Для отримання основних результатів суттєво використані теоретичні підходи, що застосовуються для аналізування інформаційних систем з чергами. Інформація збирається і передається далі для обслуговування сервером. Для аналізу показників якості системи обслуговування обрані пропускна здатність каналу передачі і смість накопичувального буфера. Основне допущення при аналізі подібних систем полягає в тому, що пропускна здатність інформаційної системи підпорядковується експоненціальним розподілом вхідних даних за законом Пуассона, що не завжди виконується. У реальних ситуаціях, обробка даних займає деякий час, що призводить до післядії. Тому, щоб вирішити цю проблему було запропоновано врахування післядії в потоці обслуговування. Це

виявляється можливим, якщо відмовитися від експоненціального розподілу інтервалів між подіями потоку обслуговування і замінити його потоком Ерланга другого порядку. Достовірність отриманих даних підтверджується розрахунком за формулами Полячека-Хинчина. В статті наводиться числовий приклад розрахунку на основі обох підходів.

**Ключові слова:** група БПЛА; джерело інформації; пропускна здатність; сервер; буфер; черга; обслуговування інформаційного потоку.

## AIR DRONES GROUP CAPACITY ESTIMATION DURING MONITORING MISSION

*Dmytro P. Kucherov (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Andrii M. Kozub (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*National Aviation University, Kyiv, Ukraine*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*In this paper is considered the calculation of capacity information which comes from an unmanned aircraft vehicles group (UAVs) performing the task of monitoring the ground environment. It is assumed that a group of UAVs can perform the task of monitoring in concert with centralized control or completely different tasks each member of the group. Both versions with UAVs must used from one control point. The capacity of received packets of information is increases. Principle of processing information packets in one presupposes a buffer store, where the information is built in the queue. For the main results are used essentially theoretical approaches used for analysis of information systems with queues. To analyze the capacity of selected indicators of absolute and relative bandwidth server data processing and bit volume of buffer storage. The main assumption, which proposed for typical calculating bandwidth assumes an exponential distribution input data by Poisson law. In real situations, data processing takes some time, which leads to aftereffect. Therefore, to solve this problem and proposed to carry out accounting aftereffect in the flow of services. A special feature is the calculation of accounting aftereffect in the information that it was possible, if we abandon the exponential distribution of intervals between events, and to replace it with a second-order flow Erlang. Adequacy of calculations confirmed estimates that given by the formulas Poliaček-Khinchin. The article provides a numerical example of the calculation based on both approaches.*

**Keywords:** UAV group; information source; data capacity; server; buffer; queue; maintenance of information flow

### References

- 1. Ventcel' E.S.** (1972), Operations research. [*Issledovanie operacij*], Moscow, Sovetskoe radio, 552 p.
- 2. Stollings V.** (2003), Modern computer networks. [*Sovremennye komp'juternye seti*], SPb., Piter, 783 p.
- 3. Abate J.** Simple spectral representations for the M/M/1 queue / Abate J. // *Queueing systems*. No. 3., 1988, pp. 321–346.
- 4. Stewart W. J.** Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation, NJ: Princeton University Press, 2009, 776 p.
- 5. Cascone A., Manzo R., Pechinkin A.V., Shorgin C. J.** (2011), System Geom/G/1/n of a LIFO discipline without interruption of service, and a restriction on the total volume of orders. [*Sistema Geom/G/1/n c disciplinoy LIFO bez prerivania obsluzhivania i ogranicheniem na summarnij ob'em zajavok*], Avtomat i telemeh, No. 1, pp. 107–120.
- 6. Grishunina U.B.** (2015), Optimal queue management system M|G|1|∞ to restrict receipt of applications [*Optimalnoe upravlenie c ocheredju v sisteme M|G|1|∞ c vozmozhnostju ogranichenia prijoma zajavok*], Avtomat. i telemeh, Vip. 3, pp. 79–93.
- 7. Ventcel' E.S.** (1999), Theory of Probability. [*Teoriya veroyatnostej*], Moscow, Vyssh. shk., 576 p.
- 8. Vishnevskij V.M.** (2003), Theoretical bases of designing of computer networks. [*Teoreticheskie osnovy proektirovaniya komp'juternyh setej*], Moscow, Tehnosfera, 512 p.

Отримано: 15.06.2015 р.

*Борис Николаевич Ланецкий* (д-р техн. наук, профессор)  
*Владислав Владимирович Кобзев* (канд. техн. наук, с.н.с.)  
*Артем Анатольевич Артеменко*

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина*

## МЕТОД ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ, ПО ПОКАЗАТЕЛЮ БЕЗОТКАЗНОСТИ “ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ”

*В статье разработан метод обработки результатов испытаний радиоэлектронных средств зенитных ракетных комплексов, эксплуатируемых по техническому состоянию по показателю безотказности “вероятность безотказного включения”. Разработанный метод включает в себя: математическую модель процесса испытаний в виде процесса блуждания точки по целочисленной решетке “количество циклических включений – количество отказов”; математические соотношения для определения рисков потребителя, средней продолжительности испытаний и др. с учетом априорной информации (эксплуатационных наблюдений) и результатов эксплуатационных испытаний на безотказность по показателю “вероятность безотказного включения”. Полученные соотношения обобщают известные модели контрольных испытаний на безотказность по показателю типа “вероятность” и, в отличие от известных моделей усеченных последовательных испытаний, основаны на использовании байесовских методов учета априорной информации.*

**Ключевые слова:** *показатель безотказности; вероятность безотказного включения; байесовский метод.*

### Введение

Необходимым условием реализации эксплуатации по техническому состоянию (ЭТС) радиоэлектронных средств зенитных ракетных комплексов (РЭС ЗРК) является проведение контролей предельного состояния (КПС), по результатам которых принимаются решения о предельном либо непредельном состоянии радиоэлектронных средств. Неотъемлемой частью КПС является контроль безотказности по показателям “средняя наработка на отказ” и “вероятность безотказного включения”. При ЭТС необходимо по данным эксплуатационных наблюдений и испытаний контролировать эти показатели с заданной точностью и достоверностью, и в случае положительного результата контроля – оценивать их величины.

В данной статье рассматривается метод обработки результатов испытаний РЭС ЗРК эксплуатируемых по техническому состоянию, по показателю “вероятность безотказного включения”, в предположении известного плана испытаний.

**Постановка проблемы.** При планировании испытаний и обработке их результатов, и результатов эксплуатационных наблюдений РЭС ЗРК на безотказность следует учитывать, что к их началу (к началу проведения КПС) уже имеется определенный объем статистической информации о неизвестном значении контролируемого (оцениваемого) показателя безотказности (ПБ), накопленной по результатам эксплуатации РЭС

ЗРК на предыдущих интервалах. Для обеспечения приемлемой точности и достоверности оценивания ПБ необходимо объединять имеющуюся априорную информацию и полученные экспериментальные данные. Проблема объединения такого рода информации при эксплуатации исследована недостаточно полно и требует рассмотрения при решении задач эксплуатации РЭС ЗРК по техническому состоянию. Также следует отметить, что после контроля безотказности по показателю “вероятность безотказного включения”, при положительном результате должна производиться его последующая оценка.

В связи с этим, задача разработки метода обработки результатов испытаний РЭС ЗРК, эксплуатируемых по техническому состоянию по показателю “вероятность безотказного включения” является актуальной.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В научно-технической литературе [1, 2] рассмотрены различные способы объединения априорной информации и экспериментальных данных, например: метод линейного объединения несмещенных оценок показателей надежности подобных изделий, использование априорных оценок, полученных из предварительных испытаний изделий-аналогов, регрессионный метод линейного объединения оценок, оценивание параметров на основе объединения двух выборок, байесовский подход и др. [3, 4, 5, 6, 7]. Применение вышеназванных

способов (кроме последнего) требует, чтобы к моменту планирования испытаний была известна так называемая “модель переноса информации”, определяющая взаимосвязь между параметрами подобных изделий. Кроме того, большинство этих способов ориентировано на оценку надежности, а применительно к контролю (т.к. оценивание включает в себя контроль и оценку) надежности исследованы недостаточно полно. Если принять допущение о том, что изменение величины показателей безотказности с момента окончания интервала эксплуатации, предшествующего эксплуатационным испытаниям на безотказность, до момента завершения этих испытаний пренебрежимо мало, а режимы эксплуатации и испытаний соответствуют предусмотренным ЭД для данных объектов, то результаты эксплуатации за соответствующий интервал и результаты испытаний на безотказность можно считать однородными. Для объединения однородной информации наиболее универсальным считается байесовский способ учета априорной информации [2, 6]. Поэтому применение этого способа является наиболее целесообразным с точки зрения решения задач контроля и оценки ПБ РЭС ЗРК эксплуатируемых по техническому состоянию.

**Цель статьи.** Разработка метода обработки результатов испытаний РЭС ЗРК, эксплуатируемых по техническому состоянию, учитывающего данные эксплуатационных наблюдений и испытаний.

**Изложение основного материала исследования**



**Рис.1. Графическое представление процесса проведения усеченных последовательных испытаний РЭС ЗРК по показателю “вероятность безотказного включения”**

Максимальное значение браковочного числа неудачных циклов “включено-выключено” при ц.и. определяется как минимальное по критерию достаточности суммарного объема (в случае их прекращения с положительным результатом) для последующей оценки вероятности безотказного включения РЭС ЗРК с заданной точностью. Линия

Испытания на безотказность по показателю “вероятность безотказного включения” осуществляют путем проведения циклических испытаний (ц.и.) с циклом “включено-выключено”.

Геометрически процесс проведения циклических контрольных испытаний РЭС ЗРК может быть представлен как блуждание по точкам целочисленной решетки с координатами  $(N; d_p)$  (рис. 1), где  $N$  – суммарное количество проведенных в процессе ц.и. РЭС ЗРК циклов “включено-выключено”,  $d_p$  – суммарное количество неудачных циклов “включено-выключено” из их общего числа. Линия приемки включается в область принятия решения о соответствии ПБ установленным требованиям (область I) и представляет собой ступенчатую линию со “скачками” в точках с координатами  $(N(i); i)$ ,  $i = \overline{0, d_{p,пр}}$ ,  $d_{p,пр}$  – максимальное значение приемочного числа неудачных циклов “включено-выключено” из их общего числа при ц.и. Величина  $N(i)$ ,  $i = \overline{0, d_{p,пр}}$  выбирается по критерию минимума среднего объема ц.и. до принятия решения об их прекращении таким образом, чтобы при пересечении траекторией последовательных испытаний линии приемки ц.и., их суммарный объем обеспечивал принятие решения о соответствии РЭС ЗРК установленным требованиям по вероятности безотказного включения с достоверностью не ниже заданной.

браковки включается в область принятия решения о несоответствии ПБ установленным требованиям (область II) (рис. 1) и представляет собой ступенчатую линию со скачками в точках с координатами  $(N^*(i); i)$ ,  $i = \overline{1, d_{p,бр}}$ ,  $d_{p,бр}$  – максимальное значение браковочного числа

неудачных циклов “включено-выключено” из их общего числа при проведении циклических испытаний.

Величина  $N^*(i)$ ,  $i = \overline{1, d_{p, \text{бр}}}$  определяется с учетом допущения о минимальных восстановлениях РЭС ЗРК после каждого отказа (т.е. в предположении того, что безотказность РЭС ЗРК в процессе ц.и. не улучшается и односторонняя верхняя  $(\beta-1)$ -доверительная граница вероятности безотказного включения является невозрастающей функцией от текущих результатов испытаний). Поэтому в процессе проведения ц.и. РЭС ЗРК для позитивного ПБ “вероятность безотказного включения” должно выполняться неравенство [5]

$$\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)} > P_{\text{вкл}}^{\text{тр}}, \quad (1)$$

где  $\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}$  – верхняя граница одностороннего доверительного интервала вероятности безотказного включения уровня  $1-\beta$ .  $P_{\text{вкл}}^{\text{тр}}$  – требуемое значение величины показателя “вероятность безотказного включения”.

Выражение (1) является критерием принятия решения о продолжении испытаний. В противном случае, т.е. при невыполнении этого неравенства, ц.и. РЭС ЗРК следует прекратить с принятием решения о несоответствии показателя “вероятность безотказного включения” требуемому уровню, т.к. при любом увеличении их объемов выполнение условия (1) не будет достигнуто. Критерием приемки изделия является

$$\frac{\int_0^1 C_N^{d_p} x^{N-d_p} (1-x)^{d_p} f_a(x) dx}{\int_0^1 C_N^{d_p} x^{N-d_p} (1-x)^{d_p} f_a(x) dx} = G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, N, d_p, f_a(x)), \quad (2)$$

где  $f_a(x)$  – априорная плотность распределения величины вероятности безотказного включения,  $G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, N, d_p, f_a(x))$  – доверительная вероятность того, что при результатах ц.и.  $(N, d_p)$  неизвестное значение вероятности безотказного включения принадлежит интервалу  $[0, \bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}]$ .

$$P_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, n, i) = G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, n, i, f_a(x)) - G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, n, i-1, f_a(x)). \quad (3)$$

При  $i = 0$  в соотношении (3) вычитаемое равно 0, т.е.

$$P_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, n, 0) = G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, n, 0, f_a(x)).$$

Тогда расчетное соотношение для определения вероятности попадания траектории из начала

$$P_{\text{Р.вкл}}(O; N, d_p) = \left[ \prod_{j=1}^m \sum_{i_j=Y(j)}^{H(j)-I(j)} P_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, \mu_j, i_j) \right] P_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, N - N_{\text{уп}}(m), d_p - I(j) - i_m), \quad (4)$$

выражение  $\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)} \geq P_{\text{вкл}}^{\text{тр}}$  [4].

Значения  $N^*(i)$  (при  $i < d_{p, \text{бр}}$ ) определяются по критерию минимума среднего объема ц.и. до принятия решения об их прекращении (решения о браковке или приемке) таким образом, чтобы по достижении  $i$  неудачных циклов “включено — выключено” суммарный объем проведенных испытаний обеспечивал принятие решения о нахождении одностороннего верхнего доверительного интервала вероятности безотказного включения вне области допуска (ниже требуемого или предельно допустимого значения вероятности безотказного включения РЭС ЗРК) с заданной вероятностью.

В соответствии с [2, 3] соотношение для определения доверительной вероятности при фиксированном объеме ц.и., а также заданных априорной плотности распределения ПБ и его односторонней нижней доверительной границы, которая представляет собой риск потребителя  $\beta$  можно записать в виде

$$\beta = \frac{\int_0^1 C_N^{d_p} x^{N-d_p} (1-x)^{d_p} f_a(x) dx}{\int_0^1 C_N^{d_p} x^{N-d_p} (1-x)^{d_p} f_a(x) dx}$$

Правую часть выражения обозначим как  $G_{\text{ц.и.}}(\bar{P}_{\text{вкл.}(1-\beta)}, N, d_p, f_a(x))$  и получим выражение

Вероятность попадания из точки, принадлежащей области блуждания в точку, координаты которой отличаются на  $n$  по оси абсцисс и на  $i$  ( $i \geq 1$ ) по оси ординат, в соответствии с вышеизложенным подходом к интерпретации результатов ц.и. и принятыми допущениями, без учета ограничений области блужданий, налагаемых линиями приемки и браковки, определяется следующим образом

координат (т.О) в достижимую точку с координатами  $(N; d_p)$  с учетом ограничений области блужданий, налагаемых линиями приемки и браковки, можно записать в виде.

где  $m = \max \left\{ j \mid N \geq N_{yp}(j) \right\}$  – суммарное количество прямоугольных участков, полностью размещающихся до точки с координатами  $(N; d_p)$ ,

$$\text{т.е. } \sum_{j=1}^m \mu_j < N \leq \sum_{j=1}^{m+1} \mu_j;$$

$$I(j) = \sum_{a=1}^{j-1} i_a, \quad j = 2, 3, 4, \dots \text{ – арифметическая}$$

сумма числа реализаций количества неудачных циклов “включено-выключено” по завершении  $(j-1)$ -го прямоугольного участка ц.и.  $I(1) = 0$ ;

$H(j) = \min \left\{ d_p; d_{p,бр,j} - 1 \right\}$  – предельно допустимое количество неудачных циклов “включено-выключено” на  $j$ -ом прямоугольном участке ц.и.;

$$Y(j) = \begin{cases} 0, & \text{если } I(j) > d_{p,пр.(j+1)}; \\ 1, & \text{если } I(j) = d_{p,пр.(j+1)}. \end{cases}$$

В соотношении (4) значение каждого слагаемого, стоящего под знаком суммы,

$$M \left[ N \mid N(i), N^*(i) \right] = 1 + \sum_{j=1}^{d_{p,пр} + d_{p,бр}} \sum_{i=N_{yp}(j-1)+1}^{N_{yp}(j)} \left[ \sum_{r=d_{p,пр,j}+1}^{d_{p,бр,j}-1} P_{P_{вкл}}(O; i-1, r) \right]. \quad (5)$$

Расчетное соотношение для вычисления вероятности  $P_{P_{вкл}}(O, i-1, r)$  попадания из начала координат в точку с координатами  $(i-1, r)$  соответствует соотношению (4) при условии замены величин  $N$  на  $(i-1)$  и  $d_p$  на  $r$ . Выражение в квадратных скобках представляет собой вероятность события “траектория последовательных испытаний останется в области блуждания с точками, абсциссы которых равны  $(i-1)$ ”.

При вычислении точечной оценки  $\hat{P}_{вкл}$  необходимо учитывать тот факт, что форма области блуждания отличается от прямоугольной, вследствие чего часть траекторий (например, траектория, проходящая через начало координат, точки с координатами  $(N(2); 0)$  и  $(N(i); i-1)$ ) являются невозможными. Воспользуемся соотношениями для точечной оценки ПБ типа “вероятности” в “схеме биномиальных блужданий”, приведенными в [6, 7]

$$\hat{P}_{вкл}(i) = \frac{P_{P_{вкл}}(O; 1, 0) P_{P_{вкл}}(1, 0; N(i), i)}{P_{P_{вкл}}(O; N(i), i)}, \quad i > 0, \quad (6)$$

где  $P_{P_{вкл}}(1, 0; N(i), i)$  – вероятность попадания из точки с координатами  $(1, 0)$  в точку с координатами  $(N(i), i)$ , рассчитываемая по соотношению (4), с учетом области блужданий, ограниченной линиями приемки и браковки.

При  $i=0$  (т.е. при безотказных испытаниях) для

рассчитывается с использованием соотношения (3), а выражение в квадратных скобках представляет собой вероятность попадания из начала координат в точку, координаты которой соответствуют координатам правой верхней вершины последнего прямоугольного участка, полностью размещающегося до точки с координатами  $(N; d_p)$ .

Математическое ожидание количества реализуемых циклов “включено-выключено” до принятия решения о прекращении ц.и. определяется исходя из следующего условия: необходимость в проведении очередного цикла “включено-выключено” возникает, если в процессе проведения всех предыдущих циклов “включено-выключено” траектория последовательных испытаний не пересекла границы областей приемки или браковки, т.е. осталась в области блуждания. Расчетное соотношение для вычисления величины искомого математического ожидания имеет вид

вычисления  $\hat{P}_{вкл}(0)$  можно использовать расчетное соотношение, рекомендованное в [8] и полученное с использованием метода фидуциальных вероятностей, т.е.

$$\hat{P}_{вкл}(0) = \frac{P_{P_{вкл}}(O; N(0), 0)}{P_{P_{вкл}}(O; N(0) + 1, 0)}. \quad (7)$$

В соответствии с [6, 7] дисперсию точечной оценки вероятности безотказного включения в “схеме биномиальных блужданий” можно определить как

$$D \left[ \hat{P}_{вкл} \right] = M \left[ \left( \hat{P}_{вкл} \right)^2 \right] - \hat{P}_{вкл}^2, \quad (8)$$

где величина  $\hat{P}_{вкл}^2$  рассчитывается с использованием соотношения

$$M \left[ \hat{P}_{вкл}^2(i) \right] = \frac{P_{P_{вкл}}(O; 2, 0) P_{P_{вкл}}(2, 0; N(i), i)}{P_{P_{вкл}}(O; N(i), i)}, \quad i > 0. \quad (9)$$

При  $i = 0$  (т.е. при безотказных испытаниях) соотношение для вычисления  $\hat{P}_{вкл}^2(0)$  может быть получено аналогично вышеприведенному для  $\hat{P}_{вкл}(0)$ , т.е.

$$\hat{P}_{вкл}^2(0) = \frac{P_{P_{вкл}}(O; N(0), 0)}{P_{P_{вкл}}(O; N(0) + 2, 0)}. \quad (10)$$

Полученные соотношения (1)-(10) представляют собой математические модели испытаний РЭС ЗРК эксплуатируемых по техническому состоянию на безотказность по показателю “вероятность безотказного включения”. Эти математические модели испытаний обобщают известные модели испытаний технических объектов по ПН типа

“вероятность” и в частных случаях сводятся к ним. В отличие от известных моделей последовательных испытаний без учета априорной информации и моделей одноступенчатых испытаний с использованием байесовского подхода к учету априорной информации, разработанные математические модели описывают процесс замкнутых испытаний по ПН типа “вероятность” с использованием байесовского подхода к учету априорной информации о величине данного показателя, накопленной по данным эксплуатации РЭС ЗРК. Данные модели используются в дальнейшем при обосновании параметров планов испытаний РЭС эксплуатируемых ЗРК с целью принятия решений о соответствии (несоответствии) ПБ “вероятности безотказного включения” установленным требованиям с заданной достоверностью, а в случае принятия решения о соответствии — количественной оценки его величины с заданной точностью. Точечные оценки вероятности безотказного включения РЭС ЗРК и их дисперсии, рассчитанные по результатам ц.и., используются в дальнейшем для построения регрессионной модели изменения этого ПБ и вычисления оценок

показателей остаточной долговечности РЭС ЗРК.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

В работе разработан метод обработки результатов контрольных испытаний РЭС ЗРК, эксплуатируемых по техническому состоянию по показателю «вероятность безотказного включения». Разработанный метод включает в себя: математическую модель процесса испытаний в виде процесса блуждания точки по целочисленной решетке “количество циклических включений – количество отказов”; математические соотношения для определения рисков потребителя, средней продолжительности испытаний и др. с учетом априорной информации (эксплуатационных наблюдений) и результатов эксплуатационных испытаний на безотказность по показателю “вероятность безотказного включения”. В отличие от известных работ, в данной статье используется байесовский метод учета априорной информации. Разработанный метод используется при оценивании показателей остаточной долговечности.

### Литература

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 472 с. 2. Савчук В. П. Байесовские методы статистического оценивания: Надежность технических объектов / В. П. Савчук. – М. : Наука, 1989. – 328 с. 3. Беляев Ю. К. Вероятностные методы выборочного контроля / Ю. К. Беляев. – М. : Наука, 1975. – 408 с. 4. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 109 с. 5. Ярлыков Н. Е. О продолжительности

последовательных испытаний / Н. Е. Ярлыков // Надежность и контроль качества. – 1972. – №9. – С. 51–59. 6. Лумельский Я. П. Оптимальные планы статистического контроля / Я. П. Лумельский. – М. : Знание, 1982. – 96 с. 7. Лумельский Я. П. Статистические оценки результатов контроля качества / Я. П. Лумельский. – М. : Издательство стандартов, 1979.– 200 с. 8. Ишутин А. Ф. Точечное оценивание надежности высоконадежных систем / А. Ф. Ишутин // Надежность и контроль качества. - 1988. – № 7. – С.47-51. 9. ГОСТ 17331-71. Надежность в технике. Метод последовательных испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1971. – 57 с.

## МЕТОД ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ, ЗА ПОКАЗНИКОМ БЕЗВІДМОВНОСТІ “ІМОВІРНІСТЬ БЕЗВІДМОВНОГО УВІМКНЕННЯ”

*Борис Миколайович Ланецький (д-р техн. наук, професор)*

*Владислав Володимирович Кобзєв (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Артем Анатолійович Артеменко*

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба*

*У статті розроблений метод обробки результатів випробувань радіоелектронних засобів зенітних ракетних комплексів, що експлуатуються за технічним станом за показником безвідмовності “імовірність безвідмовного увімкнення”. Розроблений метод включає: математичну модель процесу випробувань у вигляді процесу блукання точки по цілочисельних ґратах “кількість циклічних включень – кількість відмов”; математичні співвідношення для визначення ризиків споживача, середньої тривалості випробувань та ін. з урахуванням априорної інформації (експлуатаційних спостережень) і результатів експлуатаційних випробувань на безвідмовність за показником “імовірність безвідмовного увімкнення”. Отримані співвідношення узагальнюють відомі моделі контрольних випробувань на безвідмовність за показником типу “імовірність” і, на відміну від відомих моделей усічених послідовних випробувань, ґрунтовані на використанні байесовських методів обліку априорної інформації.*

*Ключові слова: показник безвідмовності; імовірність безвідмовного увімкнення; байесовський метод.*

THE TEST DATA PROCESSING TECHNIQUE OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE SYSTEMS  
RADIO ELECTRONIC MEANS THAT ARE EXPLOITED BY THE TECHNICAL CONDITIONS,  
WITH THE “FAILSAFE SWITCHING PROBABILITY” SAFETY INDICATOR

*Borys N. Lanetskyi (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Vladyslav V. Kobziyev (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Artem A. Artemenko*

*Kharkiv University of Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

The method of treatment of results of tests of radio electronic facilities of anti-aircraft weapon that are exploiting by the technical state on index of faultlessness “failsafe switching probability” is worked out in the article. The worked out method plugs in itself: mathematical model of process of tests as a process of wandering of point on a integral grate “amount of the cyclic including – amount of refuses”; mathematical correlations for determination of risks of consumer, mean time of tests of and other with taking into account a priori information (operating supervisions) and results of operating tests on faultlessness on an index “probability of faultless switching on”. The got correlations summarize the known models of proof-testing on faultlessness on the index of type “probability” and, unlike the known models of the truncated successive tests, based on the use of the Bayes methods of account of priory information.

**Keywords:** index of faultlessness; probability of faultless switching on; Bayes method.

### References

1. **Ayvazyan S.A.**, Enyukov Y.S., Meshalkyn L.D. (1983), Applied statistics. Design bases and roughing-out of data. [Priladnaja statistika. Osnovy modelirovaniya i pervichnaja obrabotka dannyh], Moscow, Finansy i statistika, 472 p.
2. **Savchuk V.P.** (1989), Bayes methods of statistical evaluation : Reliability of technical objects. [Bajesovskie metody statisticheskogo ocenivaniya: Nadezhnost' tehniceskikh ob'ektov], Moscow, Nauka, 328 p.
3. **Belyaev Y.K.** (1975), Probabilistic methods of sampling test. [Veroyatnostnye metody vyborochnogo kontrolja], Moscow, Nauka, 408 p.
4. **GOST 27.410-87.** (1988), Reliability is in a technique. Methods of control of reliability indexes and plans of proof-testing on reliability. [Nadezhnost' v tehnikе. Metody kontrolja pokazatelej nadezhnosti i plany kontrol'nyh ispytaniy na nadezhnost'], Moscow, Yzdatel'stvo standartov, 109 p.
5. **Jarlykov N.E.** (1972), About duration of successive tests. [O prodolzhitel'nosti posledovatel'nyh ispytaniy], Nadezhnost' y kontrol' kachestva, No9, pp. 51–59.
6. **Lumel'skiy Y.P.** (1982), Optimal plans of statistical control. [Optimal'nye plany statisticheskogo kontrolja], Moscow, Znanye, 96 p.
7. **Lumel'skiy Y.P.** (1979), Statistical estimations of results of control of quality. [Statysticheskiye otsenky rezul'tatov kontrolya kachestva], Moscow, Yzdatel'stvo standartov, 200 p.
8. **Yshutyn A.F.** (1988), Point evaluation of reliability of the hi-rel systems. [Tochechnoe ocenivanie nadezhnosti vysokonadezhnyh sistem], Nadezhnost' i kontrol' kachestva, No 7, pp.47-51.
9. **GOST 17331-71.** (1971), Reliability is in a technique. Method of successive tests. [Nadezhnost' v tehnikе. Metod posledovatel'nyh ispytaniy], Moscow, Yzdatel'stvo standartov, 57 p.

Отримано: 16.06.2015 p.



<sup>1</sup>Євген Віцентрович Лебідь<sup>2</sup>Сергій Миколайович Кононенко<sup>2</sup>Євген Олександрович Судніков<sup>2</sup>Руслана Григорівна Єфімова<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## МЕТОД ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМИ ФАЗОВОЇ АВТОПІДСТРОЙКИ ЧАСТОТИ

У роботі визначено динамічні, середньоквадратичні помилки, показники якості перехідних процесів, що викликаються змінами задаючого і збурюючих впливів, системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ), диференціальний зв'язок якої синтезовано відповідно до умов підвищення динамічної точності і швидкодії при комплексних коренях характеристичного рівняння. Дана порівняльна оцінка динамічних характеристик цифрової системи ФАПЧ.

**Ключові слова:** система ФАПЧ; середньоквадратична помилка; показники якості; динамічна характеристика.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для побудови загальнонаціональної мережі синхронізації з метою забезпечення синхронного режиму великого числа технічних пристроїв зв'язку, широко використовуються системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ). Від показників якості цих систем залежить ефективність роботи мережі синхронізації, достовірність передачі інформації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізу динамічних характеристик систем ФАПЧ і методам підвищення їх показників якості присвячено досить велике число наукових робіт таких вітчизняних і зарубіжних вчених, як Ліндсей В. Л. [1], Карякін В. Л. [2, 3], Клеппер Дж. і Френк Дж. [4] та інші.

Проте вимоги до показників якості мережі синхронізації апаратури зв'язку безперервно зростають. Тому необхідно покращувати динамічні характеристики систем ФАПЧ, підвищувати основні показники якості цих систем - їх динамічну точність та швидкодію.

**Метою** є оцінка показників якості (динамічної точності та швидкодії) систем ФАПЧ, дослідження стійкості системи, визначення динамічної, середньоквадратичної помилки (СКП), та показників якості перехідних процесів з метою якісного проектування та реалізації цифрових систем ФАПЧ.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Відомо [6, 8] що процес дискретизації, передачі і прийому даних у вигляді бінарного сигналу або кодованого бінарного сигналу, вимагає узгодженості частот передачі і прийому, інакше інформація яка передається буде некоректно прийнята. Проблеми синхронізації не

обмежуються тільки цифровою первинною мережею, але мають важливе значення при розгляді мереж ISDN, передачі даних, цифрової телефонії, мереж спеціального призначення і інших вторинних мереж. У технології сучасного зв'язку існує три основні поняття синхронізації: частотна, фазова і часова. Найбільш важливим типом синхронізації для первинної мережі є частотна синхронізація, яка означає узгодженість генераторів різних цифрових пристроїв в мережі по частоті. В цьому випадку в ідеалі усі генератори мережі працюють з однаковою частотою, швидкість передачі цифрової інформації з високою мірою точності дорівнює швидкості прийому, в результаті в системі зв'язку немає втрат інформації, тобто немає помилок, пов'язаних з порушеннями синхронізації. Це і є основною метою експлуатації - реалізувати менший рівень помилок в мережі.

Можливість мінімізації СКП залежить від властивостей передаточної функції системи, яка в свою чергу залежить від принципу керування, у відповідності з яким побудована ця система.

В системах з принципом керування по збурюючому впливу, як відомо [8, 9], існує протиріччя між умовами підвищення динамічної точності і стійкості, а в деякому діапазоні зміна коефіцієнта підсилення  $k_p$  системи в розімкнутому стані і показниками якості перехідних процесів. В цьому діапазоні зміна  $k_p$  при зменшенні динамічних помилок погіршуються показники якості перехідних процесів, і тому в цих системах доводиться приймати компромісне рішення.

Середньоквадратичну помилку СКП, тобто помилку взятую середньою за великий проміжок часу, можна віднести до розряду динамічних

помилки. Якщо СКП можна віднести до розряду динамічних, то виникає задача оцінки підвищення динамічної точності та швидкодії систем автоматичного керування враховуючи протиріччя між умовами мінімізації СКП і стійкістю.

Показники якості перехідних процесів системи ФАПЧ, що викликаються зміною задаючого впливу (попередній стан значення фази) ФАПЧ  $\alpha_{\Delta\omega}(t)$ .

Передавальна функція системи в розімкненому стані

$$K_p(p) = K_1(p)K_2(p) = \frac{k_p}{(T_1p+1)(T_2p+1)p} = \frac{D(p)}{F(p)}, (1)$$

де  $k_p = k_1k_2$  – коефіцієнт підсилення,

$T_1, T_2$ , - час проходження сигналів на відповідній ділянці.

Виходячи з вимоги стійкості системи визначаємо первинне значення  $k_p$ . Нехай, потрібно забезпечити запас стійкості системи по фазі  $\gamma = 80^\circ$ . Користуючись логарифмічним частотним критерієм стійкості, визначимо значення  $k_p$ , при якому  $\gamma = 80^\circ$ .

Згідно (1) комплексна передавальна функція системи в розімкненому стані

$$K_p(j\omega) = \frac{k_p}{(T_1j\omega+1)(T_2j\omega+1)j\omega} = N(\omega)e^{j\Psi(\omega)} (2)$$

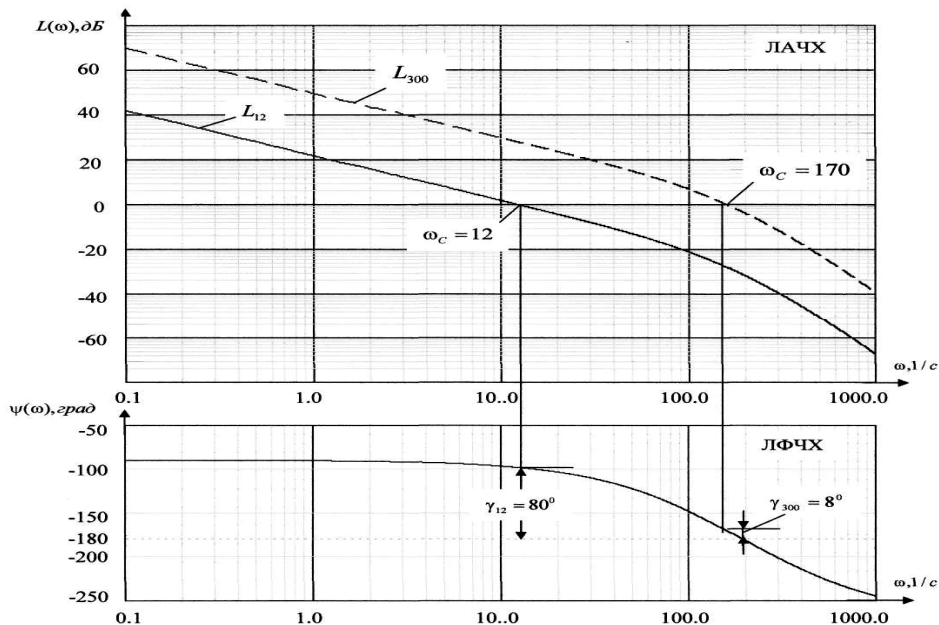


Рис. 1. Логарифмічні амплітудно-частотна (ЛАЧХ) (а), і фазо-частотна (ЛФЧХ) характеристики розімкненої системи (б)

На рис. 1. кривою  $L_{300}$  зображена логарифмічна амплітудно-частотна характеристика системи при  $k_p = 300$ . Як видно з малюнка, частота зрізу  $\omega_n$  збільшується в порівнянні з випадком, коли,  $k_p$  набуває значень від 12 до 190. Отже, збільшилася і смуга пропускання системи.

Відповідно до (2) вираз для фазо-частотної характеристики системи

$$\begin{aligned} \psi(\omega) &= -90^\circ - \arctg(\omega T_1) - \arctg(\omega T_2) \\ &= -90^\circ - \arctg(\omega \cdot 0.003) - \arctg(\omega \cdot 0.009) \end{aligned}$$

Логарифмічна фазо-частотна характеристика (ЛФЧХ) зображена на рис.1.

Як відомо, найбільш простим методом зменшення сталих динамічних помилок САУ є підвищення коефіцієнта підсилення системи в розімкненому стані  $k_p$ . Оскільки СКП є помилкою, усередненою за нескінченно великий проміжок часу і її можна віднести до класу сталих помилок, то природно припустити, що підвищення  $k_p$  дозволить зменшити і СКП.

Справедливість цього висновку підтверджується також порівнянням частотного спектру випадкової задаючої дії і частотної характеристики системи. Випадковий вхідний сигнал, як правило, має широкий частотний спектр тому, чим ширше смугу пропускання матиме система, тим краще відтворюватиметься системою випадкова задаюча дія. Підвищення  $k_p$  веде до збільшення частоти зрізу  $\omega_n$  системи, тобто сприяє зменшенню СКП.

Переконаємося в тому, що із збільшенням  $k_p$  зменшується СКП  $\epsilon$  системи шляхом аналітичних розрахунків. Для цього визначимо  $I_4, \bar{\theta}^2, \epsilon$  при різних значеннях  $k_p$ . При розрахунках, результати зведено до в табл. 1. слід зважати, що згідно із зміною  $k_p$  змінюються лише два коефіцієнти:  $c_3 = b_3 + b_2\beta = k_p + 1 \cdot 0,1$ ;  $c_4 = b_3\beta = k_p \cdot 0,1$

Таблиця 1

$k_p$	$I_4$	$\theta^2$	$\varepsilon$	$I_{II}$
2	1.192	4.291	2.71	0.256
3	0.538	1.938	1.392	0.173
6	0.137	0.492	0.701	0.089
9	0.061	0.22	0.469	0.062
12	0.034	0.124	0.352	0.048
60	$1.389 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0.071	0.015
100	$5.009 \cdot 10^{-4}$	$1.823 \cdot 10^{-3}$	0.043	0.013
134	$2.793 \cdot 10^{-4}$	$1.005 \cdot 10^{-3}$	0.032	0.012
200	$1.257 \cdot 10^{-4}$	$4.524 \cdot 10^{-4}$	0.021	0.013
300	$5.63 \cdot 10^{-5}$	$2.027 \cdot 10^{-4}$	0.014	0.02
420	$3.146 \cdot 10^{-5}$	$1.132 \cdot 10^{-4}$	0.011	0.11
438	$3.739 \cdot 10^{-5}$	$1.346 \cdot 10^{-4}$	0.012	0.415
440	$4.218 \cdot 10^{-5}$	$1.519 \cdot 10^{-4}$	0.012	0.601
444	$1.875 \cdot 10^{-4}$	$6.751 \cdot 10^{-4}$	0.026	6.001

Графік залежності  $\varepsilon = f(k_p)$ , побудований на підставі розрахунків за допомогою пакету MathCAD в логарифмічних масштабах по осі ординат і осі абсцис, зображений на рис. 2,а. Для

наочнішого уявлення про характер залежності в області великих  $k_p$  графік  $\varepsilon = f(k_p)$  на рис. 2,б зображений в логарифмічному масштабі по осі ординат і в лінійному по осі абсцис.

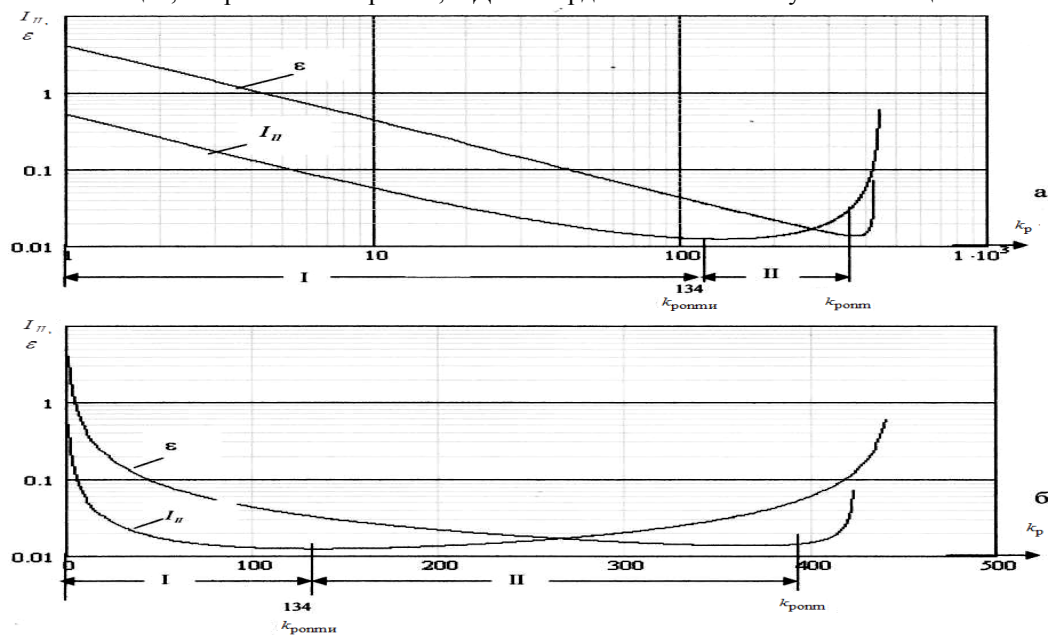


Рис. 2. Графіки залежності  $\varepsilon = f(k_p)$  і  $I_{II} = f(k_p)$  системи з принципом управління по відхиленню  
 а – в логарифмічному масштабі по осі абсцис і ординат;  
 б – в логарифмічному масштабі по осі ординат і лінійному по осі абсцис

Згідно графіку  $\varepsilon = f(k_p)$ , як і передбачалося, СКП зменшується із збільшенням  $k_p$ . Згідно графіку  $I_{II} = f(k_p)$  рис. 2, на інтервалі I зі збільшенням  $k_p$  від  $k_p = 1$  до  $k_p = k_{\text{ропн}} = 134$  квадратична

інтегральна оцінка  $I_{II}$  зменшується, а потім при подальшому збільшенні  $k_p$  (інтервал II)  $I_{II}$  зростає. Такий характер зміни  $I_{II}$  узгоджується з приведеними на рис. 2.б кривими перехідних процесів при різних значеннях  $k_p$ .

Ми бачимо, що на інтервалі I, зміни  $k_p$  рис.2 приводить до зменшення не тільки  $I_{II}$ , але також і СКП  $\epsilon$ , тобто, для зменшення як  $\epsilon$ , так і  $I_{II}$  необхідно виконати одну умову – необхідно збільшувати  $k_p$ . На інтервалі підвищення  $k_p$  до оптимального значення  $k_{ponm\epsilon}$ , тобто де немає протиріччя між умовами підвищення  $\epsilon$  и  $I_{II}$ . Проте при подальшому збільшенні  $k_p$  от  $k_{ponm\epsilon}$  до  $k_{ponm}$  (гілка II)  $\epsilon$  продовжує зменшуватися, а  $I_{II}$  починає зростати – показники якості перехідного процесу погіршуються рис.3, де при  $k_p > k_{ponm\epsilon}$  виникає суперечність між умовами мінімізації СКП і квадратичної інтегральної оцінки перехідних процесів.

Мінімум СКП досягається при  $k_{ponm} = 421.28$  близькому до границі стійкості, коли в системі виникають поволи затухаючі коливання. Оскільки такі коливання небажані, то при виборі  $k_p$  необхідно приймати компромісне рішення, при якому окрім вимог до мінімізації СКП необхідно враховувати вимогу до показників якості перехідних процесів (квадратичній інтегральній оцінці). Очевидно, таке значення  $k_p$  знаходиться між значеннями  $k_{ponm}$  і  $k_{ponm\epsilon}$ , відповідними мінімуму СКП і мінімуму квадратичної інтегральної оцінки, тобто на інтервалі II.

Враховуючи, що мінімальне значення середньоквадратичних помилок в цих системах досягається практично на границі стійкості, коли виникають поволи затухаючі коливання. Тому при виборі  $k_p$  слід приймати компромісне рішення.

При компромісному виборі  $k_p$ , можна рекомендувати його значення, що знаходиться між

$$I_{IIK2} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| K_{\theta K2}(jw) \cdot \frac{1}{jw} \right|^2 dw = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{a_0(jw)^4 + a_1(jw)^3 + a_2(jw)^2}{b_0(jw)^5 + b_1(jw)^4 + b_2(jw)^3 + b_3(jw)^2 + b_4(jw) + b_5} \right|^2 dw.$$

Приводимо інтеграл до табличного

$$I_{IIK2} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{d_0(jw)^4 + d_1(jw)^3 + d_2(jw)^2}{\left| b_0(jw)^5 + b_1(jw)^4 + b_2(jw)^3 + b_3(jw)^2 + b_4(jw) + b_5 \right|^2} dw$$

Значення табличного інтегралу

$$I_{IIK2} = \frac{(b_2b_3b_4 - b_2^2b_5 - b_1b_4^2 - b_0b_4b_5)d_0}{2b_0[-b_5^2b_0^2 + (-b_1b_5^2 + 2b_0b_1b_4 - b_0b_2b_3)b_5 + (b_1b_2b_3b_4 - b_1^2b_4^2 - b_0b_3^2b_4)]} +$$

$$+ \frac{(-b_0b_3b_4 + b_0b_2b_5)d_1 + (b_0b_1b_4 - b_0^2b_5)d_2}{2b_0[-b_5^2b_0^2 + (-b_1b_5^2 + 2b_0b_1b_4 - b_0b_2b_3)b_5 + (b_1b_2b_3b_4 - b_1^2b_4^2 - b_0b_3^2b_4)]} +$$

$$+ \frac{(-b_0b_1b_2 + b_0^2b_3)d_3 + (b_0^2b_1 - b_0b_1^2 \frac{b_4}{b_5} + b_0b_1b_2 \frac{b_3}{b_5} - b_0^2 \frac{b_3^2}{b_5})d_4}{2b_0[-b_5^2b_0^2 + (-b_1b_5^2 + 2b_0b_1b_4 - b_0b_2b_3)b_5 + (b_1b_2b_3b_4 - b_1^2b_4^2 - b_0b_3^2b_4)]}$$

$k_{ponm}$  і  $k_{ponm\epsilon}$ , відповідними мінімальним значенням СКП і квадратичної інтегральної оцінки. Причому, якщо пред'являються жорсткіші вимоги до показників якості перехідного процесу, то слід вибирати значення ближче до  $k_{ponm\epsilon}$ , якщо ж більш важливо забезпечити вимоги, що пред'являються до СКП, то вони можуть бути задоволені при виборі  $k_p$ , ближчому до  $k_{ponm}$ . Вказана суперечність обмежує можливості мінімізації СКП в класі систем з принципом управління по відхиленню.

Включення в систему різних традиційних коректуючих пристроїв, хоча і дозволяють додатково зменшити СКП (як динамічні сталі помилки) не знімають вказаної вище суперечності, що є перешкодою на шляху рішення задачі мінімізації СКП [3], що призведе до усунення помилки що встановилась і скоротити час перехідного процесу (збільшити швидкість системи), який викликаний зміною збурюючого впливу.

**Суть методу** оцінки показників якості цифрової системи фазової автопідстройки частоти, полягає у введенні похідних від задаючого та збурюючого впливу. Припустимо, що задаючим впливом є попередній стан значення фази ФАПЧ  $\alpha_{\Delta\omega}(t)$ , що змінюється у відповідності до графіку задаючого нестационарного впливу.

Виконаємо перетворення з метою зменшення СКП за допомогою введення в систему першої і другої похідної задаючого впливу.

За формулою Рейлі і передаточної функції комбінованої системи квадратична інтегральна оцінка

або при  $d_4 = 0, d_3 = 0$

$$I_{IIK2} = \frac{(b_2 b_3 b_4 - b_2^2 b_5 - b_1 b_4^2 - b_0 b_4 b_5) d_0}{2b_0[-b_5^2 b_0^2 + (-b_1 b_2^2 + 2b_0 b_1 b_4 - b_0 b_2 b_3) b_5 + (b_1 b_2 b_3 b_4 - b_1^2 b_4^2 - b_0 b_3^2 b_4)]} + \frac{(-b_0 b_3 b_4 + b_0 b_2 b_5) d_1 + (b_0 b_1 b_4 - b_0^2 b_5) d_2}{2b_0[-b_5^2 b_0^2 + (-b_1 b_2^2 + 2b_0 b_1 b_4 - b_0 b_2 b_3) b_5 + (b_1 b_2 b_3 b_4 - b_1^2 b_4^2 - b_0 b_3^2 b_4)]}$$

Обчислені значення  $I_{IIK2}$ , при заданих  $k_p$ ,  $I_{II}/I_{IIK2}$ ,  $I_{IIK1}/I_{IIK2}$  зведені до таблиці 2.

Таблиця 2

$k_p$	$\bar{\theta}_{k2}^2$	$\varepsilon/\varepsilon_{K2}$	$\varepsilon/\varepsilon_{K2}$	$\varepsilon_{K1}/\varepsilon_{K2}$	$I_{IIK2}$	$I_{II}/I_{IIK2}$	$I_{IIK1}/I_{IIK2}$
1	$1,831 \cdot 10^{-6}$	$1,353 \cdot 10^{-3}$	$2,989 \cdot 10^3$	12,857	$4,857 \cdot 10^{-3}$	104,177	1,721
3	$1,829 \cdot 10^{-6}$	$1,352 \cdot 10^{-3}$	$1,029 \cdot 10^3$	7,703	$4,92 \cdot 10^{-3}$	35,102	1,706
6	$1,825 \cdot 10^{-6}$	$1,351 \cdot 10^{-3}$	519,171	5,514	$5,015 \cdot 10^{-3}$	17,831	1,684
12	$1,819 \cdot 10^{-6}$	$1,349 \cdot 10^{-3}$	261,296	3,948	$45,204 \cdot 10^{-3}$	9,192	1,643
60	$1,797 \cdot 10^{-6}$	$1,345 \cdot 10^{-3}$	52,945	1,885	$6,774 \cdot 10^{-3}$	2,254	1,405
100	$1,822 \cdot 10^{-6}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$	31,681	1,531	$8,233 \cdot 10^{-3}$	1,548	1,28
200	$2,097 \cdot 10^{-6}$	$1,488 \cdot 10^{-3}$	15,003	1,196	0,013	1,006	1,094
330	$3,69 \cdot 10^{-6}$	$1,92 \cdot 10^{-3}$	7,322	1,028	0,032	0,778	0,957
430	$3,63 \cdot 10^{-5}$	$6,025 \cdot 10^{-3}$	2,407	0,811	0,36	0,516	0,622

Із рис.3 випливає, що дійсно, введення першої і другої похідної задаючого впливу дозволяє значно зменшити квадратичну інтегральну оцінку у порівнянні із системою керування по збурюючому впливу і в декілька разів по відношенню до комбінованої САК. При введенні в систему першої похідної задаючого впливу, квадратична інтегральна оцінка при значному інтервалі зміни  $k_p$  (до  $k_p = 100$ ) практично не залежить від  $k_p$ , залишаючись на малому рівні.

При подальшому збільшенні  $k_p$  квадратична інтегральна оцінка  $I_{IIK2}$  починає зростати, що пояснюється наближенням системи керування до границі стійкості, а починаючи з певного значення  $k_p$  (приблизно з  $k_p = 200$ )  $I_{IIK2}$  (як і  $I_{IIK1}$ ) дещо перевищує величину  $I_{II}$  системи керування по збурюючому впливу.

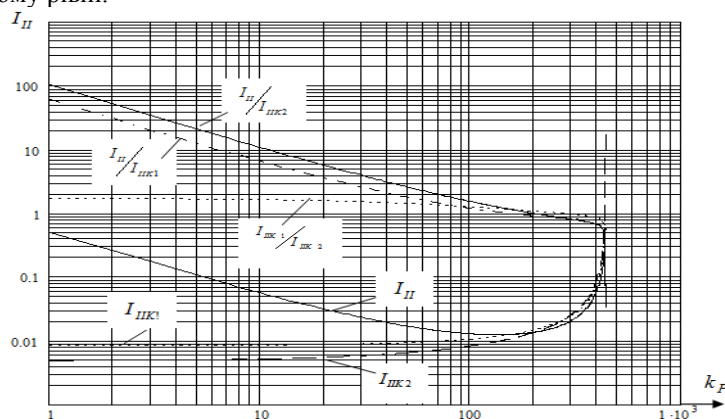


Рис.3. Графіки залежності  $I_{II} = f(k_p)$ ,  $I_{IIK1} = f(k_p)$ ,  $I_{IIK2} = f(k_p)$ .

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Використання традиційних систем автоматичного керування дозволяють додатково зменшити як динамічні сталі помилки але не

враховують необхідності компромісного вибору коефіцієнта підсилення, що призведе до збільшення часу перехідного процесу, який викликаний зміною збурюючого впливу та встановлення сталі помилки.

Завдяки використанню запропонованого методу вдалося:

введення 1-ї і 2-ї похідних задаючого впливів в систему дозволяє значно зменшити СКП у порівнянні із системою з принципом керування по збурюючому впливу, з астатизмом 1-го порядку, так і відносно комбінованої системи, через розімкнутий зв'язок якої в систему подається 1-а похідна задаючого впливу;

за допомогою 1-ї і 2-ї похідних задаючого впливу вдалося не тільки зменшити СКП, але також і квадратичну інтегральну оцінку у порівнянні із системою з керуванням по збурюючому впливу і комбінованою системою;

завдяки введенню в систему 1-ї і 2-ї похідних

задаючого впливу одночасно вдається зменшити СКП і квадратичну інтегральну оцінку на одній і тій же (значній) ділянці зміни  $k_p$ , - тобто на цій ділянці відсутнє протиріччя між умовами мінімізації СКП і квадратичної інтегральної оцінки.

Таким чином запропонований метод оцінки показників якості (динамічної точності та швидкодії) систем автоматичного керування (САК) доцільно використовувати для дослідження стійкості, визначення динамічної, середньоквадратичної помилки (СКП) цифрової системи ФАПЧ.

### Література

1. Шахгильдян А. А. Системы фазовой автоподстройки частоты / А. А. Шахгильдян, В. Л. Ляховкин. – М.: Связь, 1972. – 220 с. 2. Минимизация среднеквадратических ошибок и квадратичных интегральных оценок следящих систем с помощью разомкнутых и дифференциальных связей / Г. Ф. Зайцев, В. Г. Кривуца, В. Л. Булгач, В. Л. Радзивилов. – К.: ГУИКТ, 2006. – 185 с. 3. Зайцев Г. Ф. Противоречие между условиями минимизации СКО и квадратичной интегральной оценки в следящих системах с принципом управления по отклонению / Г. Ф. Зайцев, Г. Д. Радзивилов. // Проблемы управления и информатики. – 2004. – №1. – С. 48–59. 4. Повышение показателей качества корреляционных систем / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Н. В. Градобоева, Н. В. Сайко. // “Сучасні тенденції розвитку технологій в комунікаціях та освіті” (Київ, 24-25 листопада 2011р.). – 2011. – С. 226–231.

5. Комбинированная система фазовой автоподстройки частоты / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, А. П. Полоневич, Н. В. Градобоева // Часть 3. Показатели качества системы / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, А. П. Полоневич, Н. В. Градобоева., 2012. – (Зв'язок). – С. 64–68. 6. Milijevic S. An introduction to Synchronized Ethernet [Електронний ресурс] / Slobodan Milijevic – Режим доступу до ресурсу: [www.videsignline.com/showArticle.jhtml?articleID=215801063&cid=NL\\_vidl](http://www.videsignline.com/showArticle.jhtml?articleID=215801063&cid=NL_vidl). 7. Зайцев Г. Ф. Теорія автоматичного управління / Г. Ф. Зайцев, В. К. Стеклов. – К.: Техніка, 2002. – 688 с. 8. Generic functional architecture of transport networks – Geneva: ITU-T Rec. G.805, 2000. 9. Беляков Р. О. Аналіз якісних показників систем автоматичного керування діаграмою направленості активних фазованих антенних решіток / Р. О. Беляков. // Л.: “Збірник наукових праць” АСВ ім. П.Сагайдачного. – 2015. – С. 226–231.

## МЕТОД ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

<sup>1</sup>Евгений Вицентрович Лебедь

<sup>2</sup>Сергей Николаевич Кононенко

<sup>2</sup>Евгений Александрович Судников

<sup>2</sup>Руслана Григорьевна Ефимова

<sup>1</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

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

В работе определены динамические, среднеквадратические ошибки, показатели качества переходных процессов, вызываемых изменениями задающего и возмущающих воздействий, системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), дифференциальная связь которой синтезирована в соответствии с условиями повышения динамической точности и быстродействия при комплексных корнях характеристического уравнения. Дана сравнительная оценка динамических характеристик системы ФАПЧ.

**Ключевые слова:** система ФАПЧ; среднеквадратическая ошибка; показатели качества; динамическая характеристика.

## THE QUALITY INDEXES ESTIMATION METHOD OF THE PHASE-LOCKED LOOP SYSTEM

<sup>1</sup>Yevhen V. Lebid

<sup>2</sup>Serhii M. Kononenko

<sup>2</sup>Yevhen O. Sudnikov

<sup>2</sup>Ruslana H. Yefimova

<sup>1</sup>Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

The of article includes the definition of the dynamic, meansquared errors and quality of transients of the phase - locked loop (PLL) caused by the changes of the master and disturbing impacts, its differential coupling was synthesized under conditions of increasing the dynamic accuracy and fast response in the complex roots of the characteristic equation. The paper provides a comparative evaluation of the PLL dynamic characteristics.

**Keywords:** PLL system; meansquared error; quality indicators; dynamic characteristics

### References

1. **Shahgil'djan A.A.**, Ljahovkin V.L. (1972), A phase-locked loop [*Sistemy fazovoj avtopodstrojki chastoty*], Svjaz', Moscow, 220 p.
2. **Zajcev G.F.**, Krivuca V.G., Bulgach V.L., Radzivilov V.L. (2006), Minimizing standard errors and quadratic integral estimates tracking systems using open-loop and differential constraints. [*Minimizacija srednekvadraticeskikh oshibok i kvadraticnyh integral'nyh ocnok sledjashhih sistem s pomoshh'ju razomknutyh i differencial'nyh svyazej*], GUIKT, Kyiv, 185 p.
3. **Zajcev G.F.**, Radzivilov G.D. (2004), The contradiction between the terms of the MSE minimization of a quadratic integral and evaluation tracking systems with the principle of management by exception. [*Protivorechie mezhdru uslovijami minimizacii SKO i kvadraticnoj integral'noj ocnki v sledjashhih sistemah s principom upravljenja po otkloneniju*], Problemy upravljenja i informatiki, Vol. 1, pp. 48–59.
4. **Zajcev G.F.**, Bulgach V.L., Gradoboeva N.V., Sajko N. V. (2011), Improving quality indicators correlation systems. [*Povyshenie pokazatelej kachestva korreljacionnyh sistem*], Suchasni tendentsii rozvytku tekhnolohii v komunikatsiakh ta osvity, Kyiv, pp. 226–231.
5. **Zaitsev H.F.**, Bulhach V.L., Polonevych A.P., Hradoboeva N. V. (2012), Combined phase-locked loop. [*Kombinirovannaja sistema fazovoj avtopodstrojki chastoty*], Chast' 3. Pokazateli kachestva sistemy, Zviazok, pp. 64–68.
6. **Milijevic S.** An introduction to Synchronized Ethernet [Electronic resource] / Slobodan Milijevic – Access to the resource: [www.videsignline.com/showArticle.jhtml?articleID=215801063&cid=NL\\_vidl](http://www.videsignline.com/showArticle.jhtml?articleID=215801063&cid=NL_vidl).
7. **Zaitsev H.F.**, Steklov V.K. (2002), Automatic Control Theory. [*Teoriia avtomatichnoho upravlinnia*], Tekhnika, Kyiv, 688 p.
8. **Generic functional architecture of transport networks** – Geneva: ITU-T Rec. G.805, 2000.
9. **Bieliakov R.O.** (2015), Analysis of quality indicators of automatic control diagram orientation active phased antenna arrays. [*Analiz yakisnykh pokaznykiv system avtomatichnoho keruvannia diahramoiu napravlenosti aktyvnykh fazovanykh antennykh reshitok*], Zbirnyk naukovykh prats ASV im. P.Sahaidachnoho, Lviv, pp. 226–231.

Отримано: 11.07.2015 року

<sup>1</sup>Володимир Іванович Мірненко (д-р техн. наук, професор)<sup>2</sup>Сергій Олексійович Пустовий (канд. техн. наук, с.н.с)<sup>1</sup>Петро Михайлович Яблонський (канд. техн. наук, доцент)<sup>1</sup>Олександр Васильович Авраменко<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна<sup>2</sup>ТОВ "Котрис", Київ, Україна

## ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВИРОБІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ, ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ДИФУЗІЙНО-МОНОТОННОГО І ДИФУЗІЙНО-НЕМОНОТОННОГО РОЗПОДІЛІВ ВІДМОВ

Для моделі технічного обслуговування виробів авіаційної техніки, що експлуатуються за технічним станом, встановлені аналітичні залежності коефіцієнту технічного використання ( $K_{mv}$ ) від параметрів експлуатації для дифузійно-монотонного (ДМ) і дифузійно-немонотонного (ДН) розподілів відмов. Показані порівняльні характеристики  $K_{mv}$  від періодичності і тривалості проведення регламентних робіт, вірогідності контролю обладнання, ймовірності надходження сигналів про відмову, коефіцієнтів масштабу і форми ДМ і ДН розподілів, тривалості повного відновлення виробу. Показано існування оптимальної періодичності проведення регламентних робіт, при якій забезпечується максимальне значення  $K_{mv}$ . Для опису математичної моделі використовується напівмарковський випадковий процес у його класичному розумінні. Основні результати отримані при використанні чисельного методу розрахунків.

**Ключові слова:** коефіцієнт технічного використання; коефіцієнт масштабу і форми ДН і ДМ розподілів; періодичність проведення регламентних робіт; вірогідність контролю; тривалість відновлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Організаторів експлуатації авіаційної техніки за технічним станом цікавить рівень її технічної ефективності. При цьому необхідно визначити, яким чином можна впливати на неї з метою досягнення її максимального значення. Суттєве значення на визначення технічної ефективності має вибір моделі відмов. Методичні похибки, що обумовлені вибором теоретичної моделі, можуть бути досить великими. За останні роки все більше застосовуються ймовірно-фізичні моделі відмов. Ймовірно-фізичний підхід заснований на використанні законів розподілу відмов, пов'язаних з процесом деградації виробів. Фізичні процеси деградації розглядаються як випадкові процеси. В двовірних ймовірно-фізичних моделях відмов параметр масштабу співпадає з середньою швидкістю зміни визначного параметру, а параметр форми – з коефіцієнтом варіації цієї швидкості.

До чисто ймовірнісних моделей відмов належать експоненціальний, Вейбула, логарифмічно-нормальний, що рекомендуються державним стандартом України для практичного використання у залежності від типу виробу і характеру вирішуваної задачі. Дифузійні

розподіли надійності мають певну перевагу перед чисто ймовірнісними моделями, тому що їх параметри можуть бути визначені як на основі статистичних характеристик відмов, так і на основі аналізу фізичного процесу відмов. До дифузійних розподілів належать дифузійно-монотонний і дифузійно-немонотонний.

Загально визнаними критеріями ефективності технічного обслуговування авіаційної техніки є коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання, які згідно стандарту ДСТ [1] зв'язані простою залежністю. В даній статті розглядається порівняльна ефективність технічного обслуговування авіаційної техніки, що експлуатується за технічним станом, за коефіцієнтом технічного використання для моделей дифузійно-монотонного і дифузійно-немонотонного розподілів відмов.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для моделі технічного обслуговування авіаційної техніки за технічним станом відомі аналітичні залежності коефіцієнту технічного використання для дифузійно-немонотонного [2] і дифузійно-монотонного [3] законів розподілу. Властивості дифузійно-немонотонного розподілу викладені у роботі [4].

Коефіцієнт варіації, що використовується у



обох моделях, з достатньою для інженерної практики точністю може бути визначений апріорі з використанням досліджень як процесу руйнування (міцності, втоми, зношення), так і на основі статистичних даних про відмови під час випробувань та експлуатації виробів-аналогів.

Державним стандартом України [5, 6] дифузійно-монотонний розподіл рекомендується застосовувати для механічних виробів, а дифузійно-немонотонний розподіл - для виробів електронного типу.

Враховуючи це метою статті є порівняння ефективності технічного обслуговування авіаційної техніки за критерієм коефіцієнту технічного використання для дифузійно – монотонного і дифузійно-немонотонного розподілів відмов і встановлення закономірностей зміни технічної ефективності від основних параметрів математичної моделі.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

Процес технічного обслуговування механічних і електронних виробів авіаційної техніки, що розглядається у даній статті, будемо описувати з використанням напівмарковського випадкового процесу. Такий процес передбачає існування дискретних станів, які змінюються з часом детерміновано або випадково. Таким чином, зміна станів відбувається з певними ймовірностями переходів, а час перебування у станах моделі є детермінованим або випадковим.

Фізична сутність математичної моделі технічного обслуговування виробів за технічним станом докладно описана у роботі [1]. Напівмарковський випадковий процес однозначно визначається матрицею перехідних ймовірностей та матрицею функцій розподілу тривалості переходу зі станів  $i = \overline{1,7}$  до станів  $j = \overline{1,7}$ , якщо відомий початковий стан випадкового процесу [7].

Матриця перехідних ймовірностей для запропонованої моделі технічного обслуговування і довільного закону розподілу  $F(t)$  відмов має вигляд.

$$P_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & 0 & P_{15} & P_{16} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{nr} & 0 & 0 & 1-d_{nr} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{nr}^* & 0 & 0 & 1-d_{nr}^* \\ d_r & 0 & 0 & 1-d_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\lambda_{np}T} & 0 & 1-e^{-\lambda_{np}T} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

де  $P_{12} = (1 - F(T)) \cdot e^{-\lambda T}$ ;  $P_{13} = (1 - \rho) \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$ ;

$P_{15} = \rho \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$ ;  $P_{16} = \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} \cdot [1 - F(t)] dt$ .

В наведених формулах позначені:

$F(t)$  – функція розподілу часу безвідмовної роботи виробу АТ;  $\rho$  – ймовірність надходження сигналу від вбудованої системи контролю про відмову виробу АТ;  $\lambda$  – інтенсивність надходження помилкового сигналу про відмову виробу АТ;

$\lambda_{np}$  – інтенсивність проявлення скритої відмови виробу АТ;  $T$  – періодичність проведення регламентних робіт;  $d_{nr}$  – вірогідність виявлення відмови виробу АТ при проведенні регламентних робіт;  $d_{nr}^*$  – вірогідність виявлення відмови бортовими засобами контролю виробів АТ;  $d_r$  – вірогідність правильного визначення справного стану ОК наземною системою контролю.

Матрицю функцій розподілу часу перебування випадкового процесу у станах моделі можна представити у вигляді

$$F_{ij}(t) = \begin{pmatrix} 0 & l(T) & l(T) & 0 & F_{15}(t) & F_{16}(t) & 0 \\ l(t_{np} + t_p) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l(t_{np}) & 0 & 0 & l(t_{np} + t_p) \\ l(t_b) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l(t_{np}^*) & 0 & 0 & l(t_{np}^*) \\ l(t_{np}^*) & 0 & 0 & l(t_{np}^*) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & l(T) & 0 & F_{75}(t) & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$l(y) = \begin{cases} 0, & t < y; \\ 1, & t \geq y. \end{cases}$$

У матриці (2) використані такі позначення

$$F_{15}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} dF(x)}{\int_0^T e^{-\lambda x} dF(x)}; \quad F_{75}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda_{np} x} dx}{\int_0^T e^{-\lambda_{np} x} dx};$$

$$F_{16}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} \cdot (1 - F(x)) dF(x)}{\int_0^T e^{-\lambda x} \cdot (1 - F(x)) dF(x)};$$

$t_{np}$  – тривалість перевірки виробу АТ під час регламентних робіт;

$t_p$  – тривалість проведення профілактичних заходів на виробі АТ під час регламентних робіт;

$t_b$  – тривалість відновлення виробу АТ, що відмовив;

$t_{np}^*$  – тривалість перевірки виробу АТ бортовими засобами контролю.

$$\eta_i(T) = \sum_{i=1}^7 P_{ij}(T) \cdot \int_0^T tdF(t) \quad (3)$$

Нижче наведено розрахунок середніх тривалостей перебування виробу АТ у відповідних станах моделі.

$$\eta_1(t) = (1 - F(T))e^{-\lambda T} + (1 - \rho)T \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t) +$$

$$+ \rho \int_0^T e^{-\lambda T} dF(t) \int_0^T tdF_{15}(t) +$$

$$+ \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} (1 - F(t)) dt \int_0^T tdF_{16}(t)$$

Для параметрів, що вказані в моделі,

$$\eta_2 = t_{np} + t_p = 3,5 \text{ год};$$

$$\eta_3 = t_p - d_{nr} t_p + t_{np} = 0,8 \text{ год};$$

$$\begin{aligned} \eta_4 &= t_B = 1,5 \text{ год}; \\ \eta_5 &= t_{\Pi}^* = 0,5 \text{ год}; \\ \eta_6 &= \eta_5 = 0,5 \text{ год}; \\ \eta_7 &= \frac{1 - e^{-\lambda_{\text{пр}} T}}{\lambda_{\text{пр}}} \text{ год}; \end{aligned}$$

Коефіцієнт технічного використання ОК визначається формулою [8]

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{\sum_{i=1}^7 \omega_i(T) \cdot \pi_i(T)}{\sum_{i=1}^7 \eta_i(T) \cdot \pi_i(T)}$$

де  $\pi_i(T)$  – частота потрапляння випадкового процесу до стану  $i = \overline{1,7}$ ;

$\omega_i(T)$  – середній час перебування виробу у справному стані;

$\eta_i(T)$  – середній час перебування виробу у будь-якому стані  $i = \overline{1,7}$ .

Для запропонованої моделі час справного стану ОК буде дорівнювати

$$\omega_1(t) = M\{t^3 n(\tau, \tau_i, T)\}, \quad (5)$$

де  $\tau$  – випадковий час надходження сигналу від вбудованої системи контролю про відмову, що з'явилася в ОК після стану  $e_1$ ;

$\tau_i$  – випадковий час подання хибного сигналу вбудованою системою контролю про відмову, що з'явилася в ОК після стану  $e_1$ .

Решта  $\omega_i(T)$ , де  $i=2, 3, 4, 5, 6, 7$  дорівнюють нулю, тому що ОК для цих станів знаходиться у непрацездатному стані. Тобто  $\omega_1(t)$  дорівнює математичному очікуванню трьох величин  $\tau, \tau_i, T$ .

Мінімум випадкових величин  $\tau$  і  $\tau_i$  визначався за формулою

$$\omega_1(T) = \int_0^T (1 - F_{\text{dn, dm}}(x, \mu, \nu)) \cdot e^{-\lambda x} \cdot dx \quad (6)$$

Значення компонент  $\pi_i(T)$  вектору  $\pi(T)$  визначаються з рівняння Феллера

$$\left. \begin{aligned} \bar{\pi}(T) &= \bar{\pi}(T) \cdot P_{ij}(T); \\ \sum_{i=1}^7 \pi_i(T) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Якщо всі стани ланцюга Маркова мають сполучення, то рішення рівняння (4) завжди існує, воно єдине і  $\pi_i(T) > 0$ .

Після підстановки матриці (1) в рівняння (4) отримаємо систему рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1(T) &= \pi_2(T) + \pi_4(T) + d_r \cdot \pi_6(T); \\ \pi_2(T) &= a_1 \pi_1(T); \\ \pi_3(T) &= a_1 \pi_1(T) + a_2 \pi_7(T); \\ \pi_4(T) &= d_{\text{нр}} \pi_1(T) + d_{\text{нр}} \pi_5(T) + (1 - d_r) \cdot \pi_6(T); \\ \pi_5(T) &= a_4 \pi_1(T) + a_5 \pi_7(T); \\ \pi_6(T) &= a_6 \pi_1(T); \\ \pi_7(T) &= (1 - d_{\text{нр}}) \pi_3(T) + (1 - d_r) \pi_5(T); \\ \sum_{i=1}^7 \pi_i(T) &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

де

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T}; \\ a_2 &= (1 - \rho) \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} \cdot dF(t); \\ a_3 &= e^{-\lambda_{\text{пр}} T}; \\ a_4 &= \rho \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} \cdot dF(t); \\ a_5 &= 1 - e^{-\lambda_{\text{пр}} T}; \\ a_6 &= \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} \cdot [1 - F(t)] \cdot dt \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Рішення системи (7) має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1(t) &= \frac{Z(t)}{C(t)}; \\ \pi_2(t) &= a_1(t) \cdot \frac{Z(t)}{C(t)}; \\ \pi_3(t) &= a_2(t) \cdot \frac{Z(t)}{C(t)} + a_3(t) \cdot \frac{a_2(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}) + a_4(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*)}{C(t)}; \\ \pi_4(t) &= \frac{Z(t)}{C(t)} \cdot \left[ d_{\text{нр}} \cdot a_2(t) + d_{\text{нр}}^* \cdot a_4(t) + (1 - d_r) \cdot a_6(t) \right] + \\ &+ \frac{(d_{\text{нр}} \cdot a(t) + d_{\text{нр}}^* \cdot a_5(t)) \cdot \left[ a_2(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}) + a_4(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*) \right]}{C(t)}; \\ \pi_5(t) &= a_4(t) \cdot \frac{Z(t)}{C(t)} + \\ &+ a_5(t) \cdot \frac{a_2(t) - d_{\text{нр}} \cdot a_2(t) + a_4(t) - d_{\text{нр}}^* \cdot a_4(t)}{C(t)}; \\ \pi_6(t) &= a_6(t) \cdot \frac{Z(t)}{C(t)}; \\ \pi_7(t) &= \frac{a_2(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}) + a_4(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*)}{C(t)} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} Z(t) &= 1 - (1 - d_{\text{нр}}) \cdot a_3(t) - (1 - d_{\text{нр}}^*) \cdot a_5(t); \\ C(t) &= \left( 1 + a_1(t) + a_2(t) + a_4(t) + 2 \cdot a_6(t) + \right. \\ &+ \left. d_{\text{нр}} \cdot a_2(t) + d_{\text{нр}}^* \cdot a_4(t) - d_{\text{нр}} \cdot a_6(t) \right) \times \\ &\times \left[ 1 - a_3(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}) - a_5(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*) \right] + \\ &+ \left[ a_3(t) \cdot (1 + d_{\text{нр}}) + a_5(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*) + 1 \right] \times \\ &\times \left[ a_2(t) \cdot (1 - d_{\text{нр}}) + a_4 \cdot (1 - d_{\text{нр}}^*) \right] \end{aligned}$$

Всі вище наведені розрахунки зроблені для довільної функції розподілу часу безвідмовної роботи. Для порівняння ефективності технічної експлуатації виробів авіаційної техніки при різних моделях відмов необхідно визначити функцію розподілу часу безвідмовної роботи. Будемо вважати, що для ДМ розподілу функція розподілу має вигляд

$$F_{\text{ДМ}}(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu \sqrt{t\mu}}\right) \quad (11),$$

а для ДН розподілу

$$F_{\text{ДН}}(t, \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu \sqrt{t\mu}}\right) + e^{2 \cdot \nu^{-2}} \Phi\left(\frac{t + \mu}{\nu \sqrt{t\mu}}\right) \quad (12)$$

У формулах (10) і (11) через  $\Phi(u)$  позначена функція Лапласа, тобто

$$\hat{O}(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} \cdot du.$$

Крім того, у формулах (11) і (12) через  $\mu$  позначений коефіцієнт масштабу, а через  $\nu$

коефіцієнт форми. Математичне сподівання  $M(t)$  напрацювання між відмовами для ДМ розподілу дорівнює

$$M(t) = \mu \left( 1 + \frac{v^2}{2} \right),$$

де  $v$  - коефіцієнт форми.

Для ДМ розподілу згідно з ДСТУ  $v = 0,5$  для механічних виробів. Для електронних виробів для ДН розподілу згідно з ДСТУ  $v$  може змінюватися від 0,25 до 1. Для електронних виробів  $M(t) = \mu$ .

При  $v=0,5$  для механічних виробів математичне сподівання напрацювання на відмову практично співпадає з коефіцієнтом масштабу.

Для подальших розрахунків необхідно визначити початкові умови, при яких буде здійснюватися порівняння  $K_{ТВ}$  для різних моделей відмов. За початкові умови будемо вважати такі:

$$\begin{aligned} \mu &= 250 \text{ год.}; \\ v &= 0,5; \\ \lambda &= 10^{-3} \text{ 1/год.}; \\ \lambda_{ПР} &= 10^{-3} \text{ 1/год.}; \\ t_{ПР} &= 1 \text{ год.}; \\ T &= 100 \text{ год.}; \\ t_{П}^* &= 0,5 \text{ год.}; \\ t_{Р} &= 3 \text{ год.}; \\ t_{В} &= 1,5 \text{ год.}; \\ d_{НГ} &= 0,9; \\ d_{НГ}^* &= 0,7; \\ d_{Г} &= 0,9; \\ \Delta &= 0,7. \end{aligned}$$

У подальших розрахунках залежність  $K_{ТВ}$  від параметрів моделі деякі початкові умови будуть змінюватися. Це буде зрозуміло з суті розрахованої залежності. Далі для певних значень коефіцієнту масштабу  $\mu$  і форми  $v$  можуть бути розраховані за формулами (11) і (12) значення функцій розподілу

$$F_{ДМ}(t, \mu, v) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right)$$

$$i F_{ДН}(t, \mu, v) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + e^{-2v^{-2}} \Phi\left(\frac{t + \mu}{v\sqrt{\mu t}}\right).$$

Після підстановки значень цих функцій у рівняння (9) і (10), а також у рівняння (3) і (6) можна визначити коефіцієнт технічного використання за формулою (4).

На рис.1-5 показані розраховані за формулою (4) залежності коефіцієнту технічного використання від періодичності проведення регламентних робіт (при різних значеннях достовірності наземного контролю рис.1, при різних значеннях коефіцієнту форми і фіксованому значенню коефіцієнту масштабу  $\mu=100$  год. рис.2, при різних значеннях коефіцієнту форми і фіксованому значенню коефіцієнту масштабу  $\mu=500$  год рис.3), ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи

контролю (при різних значеннях коефіцієнтів форми при  $T=100$ г і  $\mu=250$ г рис. 4, при різних значеннях вірогідності наземного контролю рис.5).

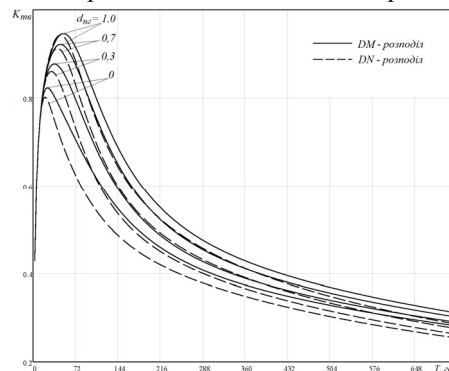


Рис.1. Залежність  $K_{ТВ}$  від періодичності проведення регламентних робіт при різних вірогідності  $d_{НГ}$  наземної системи контролю

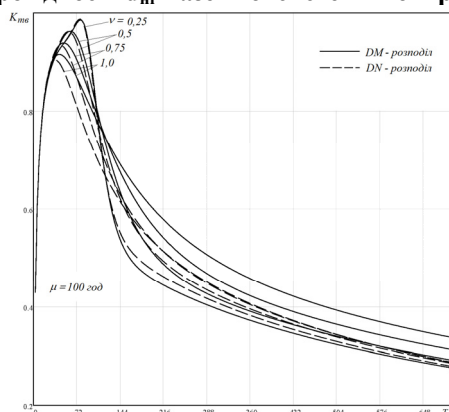


Рис.2. Залежність  $K_{ТВ}$  від періодичності проведення регламентних робіт при різних значеннях коефіцієнту варіації  $v$  та параметрів масштабу  $\mu = 100$  год

З рис.1 видно існування оптимальної періодичності проведення регламентних робіт для ДМ і ДН розподілів, при якій забезпечується максимальне значення  $K_{ТВ}$  для обох розподілів. При цьому при збільшенні вірогідності наземного контролю збільшується і  $K_{ТВ}$ . Для всіх кривих на рис.1 ДМ розподіл забезпечує більше значення  $K_{ТВ}$ , ніж ДН розподіл

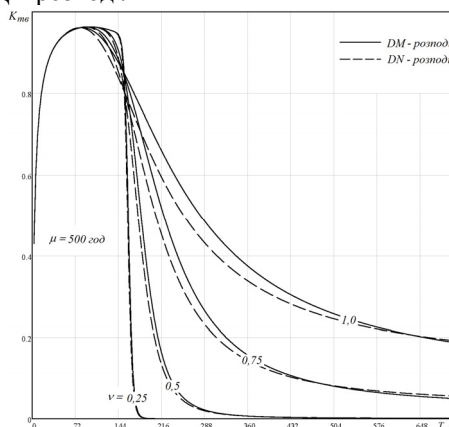
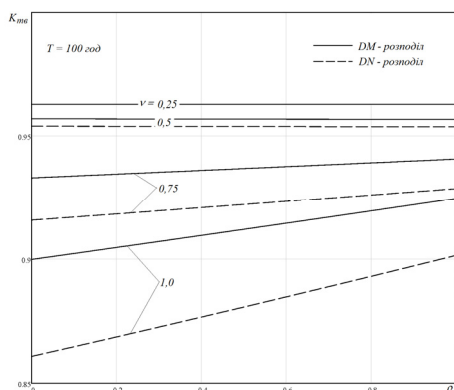
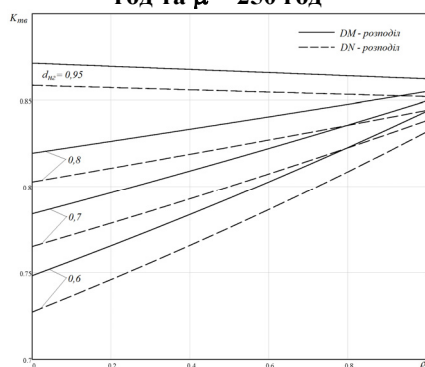


Рис.3. Залежність  $K_{ТВ}$  від періодичності проведення регламентних робіт при різних значеннях коефіцієнту варіації  $v$  та параметрів масштабу  $\mu = 500$  год



**Рис.4. Залежність  $K_{тв}$  від ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю при різних значеннях коефіцієнту варіації  $\nu$  при  $T = 100$  год та  $\mu = 250$  год**



**Рис.5. Залежність  $K_{тв}$  від ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю при різних значеннях вірогідності контролю  $d_{кн}$**

Порівнюючи рис. 2 і 3, можна зробити висновок про існування оптимальної періодичності проведення регламентних робіт. При досить низькому значенні наробітку між відмовами ( $\mu=100$  год) оптимальне значення періодичності проведення регламентних робіт забезпечує максимальне значення  $K_{тв}$ , яке різко зменшується при зміні  $T_{оп}$ . При суттєвому підвищенні наробітку на відмову ( $\mu=500$  год, рис.3) у досить широкому діапазоні зміни часу  $T$

забезпечується досить високі значення  $K_{тв}$ . Для всіх кривих рис.3 ДМ розподіл забезпечує більше значення  $K_{тв}$ , ніж ДН розподіл. Мірою збільшення періодичності проведення регламентних робіт для всіх  $\nu=0, 25 - 1$  обидва розподіли забезпечують майже однаковий рівень технічної готовності. При низькому наробітку на відмову ( $\mu=100$ год) для  $\nu=0,5, 0,75, 1$  ДМ розподіл забезпечує більш високий рівень  $K_{тв}$ , ніж ДН розподіл і лише при  $\nu=0,25$  ДН розподіл має невелику перевагу перед ДМ розподілом при  $T \geq 144$  год для умов рис.2.

На рис 4,5 показана залежність  $K_{тв}$  від ймовірності надходження сигналу про відмову ( $\Delta$ ) від вбудованої системи контролю. З рис.4 видно, що для всіх  $\nu=0,5-1$  ДМ розподіл має перевагу перед ДН розподілом тим більшу, що більше  $\nu$ . При  $\nu=0,25$ , що досить рідко рекомендується для практичного використання, обидва розподіли забезпечують однаковий рівень технічної готовності при збільшенні  $\Delta$ . Мірою збільшення  $\Delta$  збільшується і  $K_{тв}$ , що є зрозумілим.

З рис.5 видно, що зі збільшенням ймовірності надходження сигналу від вбудованої системи контролю збільшується і  $K_{тв}$  і при тому тим більше, що більшою є вірогідність наземного контролю для обох законів розподілу. При цьому ДМ розподіл має певну перевагу перед ДН розподілом.

### Висновки й перспективи подальших досліджень.

З наведених розрахунків, що показані на рис.1-5, видно, що розбіжність у значеннях  $K_{тв}$  при використанні ДМ і ДН розподілів залежить від параметрів моделі і може змінюватись у певних межах: від несуттєвих (рис.1-3) до відносно суттєвих (рис.4-5). Організатори технічного обслуговування виробів авіаційної техніки повинні вирішити, яку модель відмов необхідно використовувати для практичних цілей. При цьому слід враховувати, що ДМ розподіл є дещо простішим, ніж ДН розподіл, але ДН розподіл є більш універсальним і може використовуватися для вирішення широкого спектру задач теорії надійності і технічного обслуговування.

### Література

1. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунків показників надійності. Загальні вимоги. – 1996. – 39 с. 2. Яблонский П. М. Экономико-математическая модель технического обслуживания образцов вооружения и военной техники по состоянию для диффузионно-монотонного распределения отказов / П.М. Яблонский, С.А. Пустовой, П.В. Опенько // Экономика и предпринимательство. – 2013. – № 8 – С. 436-443. 3. Мирненко В. И. Математическая модель технического обслуживания изделий авиационной техники с использованием диффузионно-монотонного распределения отказов / В.И. Мирненко, П.М. Яблонский, С.А. Пустовой, А.В. Авраменко // Оралдын Ғылым Жаршысы. – 2014. – №21 (100). – С.12-22. 4. Мирненко В. И. Розрахунок показників надійності

послідовно з'єднаних і резервованих елементів без відновлення для дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов / В.І. Мирненко, П.М. Яблонський, С.О. Пустовий // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2015. – №1(22) – С.83-89. 5. ДСТУ 3942-2000 (ГОСТ 27.506-2000). Надійність в техніці. Плани испытаний для контролю средней наработки до отказа (на отказ). Часть 2. Диффузионные распределения. – 2001. – 36 с. 6. ДСТУ 3433-96 (ГОСТ 27.005 – 97) Надійність техніки. Моделі відмов Основні положення. – 1997. – 42 с. 7. Королюк В. С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин // К.: Наукова думка, 1976. – 184 с. 8. Герцбах И. Б. Модели профилактики / И.Б. Герцбах // М.: Советское радио, 1969. – 216 с.

### СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ, ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ДИФFUЗИОННО-МОНОТОННОГО И ДИФFUЗИОННО-НЕМОНОТОННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИХ ОТКАЗОВ

<sup>1</sup>Владимир Иванович Мирненко (д-р техн. наук, профессор)

<sup>2</sup>Сергей Алексеевич Пустовой (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Петр Михайлович Яблонский (канд. техн. наук, доцент)

<sup>1</sup>Александр Васильевич Авраменко

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

<sup>2</sup>ООО "Котрис", Киев, Украина

Для модели технического обслуживания изделий авиационной техники, которые эксплуатируются по техническому состоянию, установлены аналитические зависимости коэффициента технического использования ( $K_{ми}$ ) от параметров эксплуатации для диффузионно-монотонного (ДМ) и диффузионно-немонотонного (ДН) распределений отказов. Показаны сравнительные характеристики  $K_{мс}$  от периодичности и длительности проведения регламентных работ, достоверности контроля оборудования, вероятности поступления сигналов об отказе, коэффициентов масштаба и формы ДМ и ДН распределений, длительности полного возобновления изделия. Показано существование оптимальной периодичности проведения регламентных работ, при которой обеспечивается максимальное значение  $K_{ми}$ . Для описания математической модели используется полумарковский случайный процесс в его классическом понимании. Основные результаты получены при использовании численного метода расчетов.

**Ключевые слова:** коэффициент технического использования; коэффициент масштаба и формы ДН и ДМ распределений; периодичность проведения регламентных работ; достоверность контроля; длительность восстановления.

## COMPARISON OF AEROTECHNICS DEVISE MAINTENANCE EFFICIENCY WHICH ARE EXPLOITED WITH THE TECHNICAL CONDITION FOR DIFFUSION-MONOTONIC AND DIFFUSION-NONMONOTONIC FAILURE DISTRIBUTION MODELS

<sup>1</sup>Volodymyr I. Mirnenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Serhii O. Pustovyi (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

<sup>1</sup>Petro M. Yablonskyi (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<sup>1</sup>Oleksandr V. Avramenko

<sup>1</sup>National Defense University Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kotris Ltd., Kyiv, Ukraine

For the model of aerotechnics wares maintenance, which are exploited on the technical state, analytical dependences of the technical use ( $K_{tu}$ ) coefficient from the exploitation parameters for diffusion-monotonic (DM) and diffusion-nonmonotonic (DN) failures distributions are set. Comparative descriptions of  $K_{tu}$  from periodicity and duration of realization of maintenance, authenticity of equipment control, probability of signals receipt about a failure, coefficients of scale and shape of DM and DN distributions, duration of complete renewal of ware are shown. Existence of an optimal frequency of maintenance work, which provides a maximum value is shown. For the description of mathematical model a semi-Markov stochastic process is used in his classic understanding. Basic results obtained by using the numerical method of calculation.

**Keywords:** coefficient of the technical use; coefficient of scale and shape; periodicity of maintenance realization; authenticity control; duration of renewal.

## References

1. DSTU 2862-94. (1996), Machinery reliability. Methods of calculating reliability indices. General requirements. [Nadiynist tehniki. Metodi rozrahunkiv pokaznikiv nadiynosti. Zagalni vimogi], 39 p. 2. Yablonskiy P.M., Pustovoy S.A., Openko P.V. (2013) Econometric model maintenance of standards of armament and military technique on the state for diffusion-nonmonotonic distribution of their refuses. [Ekonomiko-matematicheskaya model tehnikeskogo osblughivania obrazcov voorughenia i voennoy tehniki po sostoyaniyu dlya difuzionnonemonotonnogo raspredeleniya otkazov], Journal of Economy and entrepreneurship, Vol.7, Nom.8, pp. 436–443.
3. Mirnenko V.I., Yablonskiy P.M., Pustovoy S.A., Avramenko O.V. (2014) Mathematical model of technical maintenance of aerotechnics wares with the use of diffusion-monotonic distribution of refuses. [Matematicheskaya model tehnikeskogo osblughivania izdeliy aviacionnoy tehniki s ispolzovaniem difuzionno-monotonnogo raspredeleniya otkazov], Oraldin Gilim Gharshisi, Nom. 219(100), pp. 12–22.
4. Mirnenko V.I., Yablonskiy P.M., Pustoviy S.O. (2015) The reliability measures computation of the series connected and reserved elements without recovery for diffusion-nonmonotonic distribution of their failures. [Rozrahunok pokaznikiv nadiynosti poslidovno z'ednanih i rezervovanih elementiv bez vidnovlennya dlya difuziynonemonotonnogo rozpodilu yih vidmov], Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, Nom.1 (22), pp. 83–89.
5. DSTU 3942-2000 (GOST 27.506-2000) (2001), Machinery reliability. Testing plans for monitor the average operating time to failure (failures). Part 2. Diffusion distribution. [Nadiynist tehniki. Plany viprobuvan dlia kontroliu serednoho narobitku do vidmovy (na vidmovu). Chastyna 2. Difuziyni rozpodil], 36 p.
6. DSTU 3433-96 (GOST 27.005-97) (1997), Machinery reliability. Pattern of failures. Substantive provisions. [Nadiynist tehniki. Modely. Vidmov. Osnovny pologhennya], 42 p.
7. Korolyuk V.S., Turbin A.F. (1976) Semi-Markov processes and their applications, Kyiv, Naukova dumka, 184 p.
8. Gercbah I.B. (1969), Preventive model. [Modeli profilaktiki], Sovetskoe radio, 216 p.

Отримано: 15.06.2015 p.

УДК 621.391

<sup>1</sup>Артем Олексійович Москаленко (канд. техн. наук)<sup>1</sup>Сергій Володимирович Волошко (канд. техн. наук, с.н.с.)<sup>1</sup>Ігор Іванович Слюсарь (канд. техн. наук, доцент)<sup>2</sup>Ігор Юрійович Рубцов<sup>1</sup>Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна<sup>2</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

## ПЕРЕШКОДОСТІЙКІСТЬ СИГНАЛІВ УДОСКОНАЛЕНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ЦИКЛІЧНИМ ЗСУВОМ КОДУ З АДАПТАЦІЄЮ ПО ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В УМОВАХ БАГАТОПРОМЕНЕВОГО РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

В роботі представлено результати порівняльного аналізу перспективних методів ширококугової модуляції. Розглянуто основні принципи побудови перспективних радіоінтерфейсів. В результаті чого встановлено, що бажаною властивістю методів модуляції сигналів, які є кандидатами на використання в перспективних радіоінтерфейсах, є можливість адаптації до умов розповсюдження радіохвиль. Розглянуто метод адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з можливістю зміни швидкості передавання інформації. Представлено модель дискретного каналу зв'язку для дослідження перешкодостійкості сигналів удосконаленої CCSK-модуляції в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль. Досліджено перешкодостійкість сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль. Отримано залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біту від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа при використанні сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду.

**Ключові слова:** перешкодостійкість сигналів; модуляція циклічним зсувом коду; адаптивна модуляція; багатопроменеве розповсюдження радіохвиль.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогодні, одним із пріоритетних завдань усіх силових структур України є боротьба з тероризмом, загроза прояву якого використовується як засіб залякування держави у політичних цілях. Складність проведення заходів із протидії терористичним загрозам полягає у необхідності здійснення всього комплексу заходів, зокрема усунення чинників, що впливають на виникнення та розвиток тероризму (економічні, культурні і соціальні).

Ефективність проведення контртерористичних операцій напряму залежить від технічної оснащеності відповідних підрозділів, зокрема і комплексами радіозв'язку. Тому, виникає завдання у постійному вдосконаленні існуючих та розробці перспективних комплексів радіозв'язку.

При використанні вузькосмугових сигналів в системах бездротового зв'язку існує ряд недоліків: низька перешкодостійкість, низька структурна та енергетична скритність, неефективне використання частотного ресурсу та ін. Суттєво покращити ці характеристики можливо шляхом використання сигналів з розширенням спектру.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перспективними методами ширококугової модуляції є МВОК (M-ary Biorthogonal Keying – M-ічна двоортогональна модуляція), CCSK (Cyclic

Code Shift Keying – модуляція циклічним зсувом коду), OCDM (Orthogonal Code Division Multiplex – мультиплексування сигналів з ортогональним кодовим ущільненням), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex – мультиплексування сигналів з ортогональним частотним ущільненням). За результатами аналізу даних методів модуляції встановлено, що найкращим методом є МВОК завдяки високій стійкості до радіоперешкод та багатопроменевого розповсюдження радіохвиль [1, 2]. Іншим перспективним методом є CCSK [3], він поступається M-ічній двоортогональній модуляції внаслідок використання неортогонального алфавіту сигналів та вразливості до багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

Змінюючи методи формування алфавіту сигналів CCSK-модуляції можливо усунути вказані недоліки [4, 5]. В результаті чого, модуляція циклічним зсувом коду, у порівнянні з МВОК, отримує перевагу за рахунок забезпечення більш високої швидкості передачі інформації та простоти кореляційної обробки сигналів.

Але, для задоволення вимог до високошвидкісної передачі даних перспективні радіоінтерфейси повинні використовувати частотний діапазон ефективніше, ніж відомі радіотехнології. А це передбачає можливість використання багаторівневих форматів модуляції з



високою стійкістю до частотно-селективних замирань, які спостерігаються в широкосмуговому радіоканалі. Тому, бажаною властивістю методів модуляції сигналів, які є кандидатами на використання в перспективних радіоінтерфейсах, є можливість адаптації до умов розповсюдження радіохвиль.

В [6] запропонований метод синтезу сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією за швидкістю передачі інформації, а також спосіб обробки сигналів, синтезованих з використанням запропонованого методу. Їх використання дозволяє гнучко адаптувати параметри перспективних радіоінтерфейсів до умов розповсюдження радіохвиль, зберігаючи максимальні швидкості передачі даних і мінімальну складність цифрової кореляційної обробки на прийомі. Проте, залишаються не дослідженими перешкодостійкість запропонованих сигналів в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

**Мета статті.** Враховуючи це, метою статті є дослідження перешкодостійкості сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

**Метод адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з можливістю зміни швидкості передавання інформації.**

При формуванні сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з можливістю зміни швидкості передачі інформації враховуються параметри середовища поширення радіохвиль внаслідок чого змінюється швидкість передачі інформаційних біт. Це відбувається шляхом оцінювання основних параметрів середовища поширення і видачі сигналів, що управляють, на зміни швидкості передачі інформації передавачу і приймачу [6].

При використанні запропонованого методу модуляції швидкість передачі інформації може знаходитися в межах:

$$\frac{1}{\tau \cdot N} \leq V \leq \frac{\log_2 N}{\tau \cdot N},$$

де  $\tau$  – протяжність чіпа;  $N$  – довжина послідовності розширення спектра сигналів;  $V$  – швидкість передачі інформації.

Приклад правил формування сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з можливістю зміни швидкості передачі інформації для кодової послідовності довжиною 8 біт приведений в табл. 1.

Таблиця 1

**Правила формування сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з можливістю зміни швидкості передавання інформації**

№ зсуву	Кодова послідовність	Для швидкості $\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$	Для швидкості $\frac{\log_2 N - 1}{\tau \cdot N}$	Для швидкості $\frac{\log_2 N - 2}{\tau \cdot N}$
0-зсув	c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub>	000	00	0
1-зсув	c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub>	001		
2-зсув	c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub>	010		
3-зсув	c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub>	011	10	1
4-зсув	c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub>	100		
5-зсув	c <sub>5</sub> c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub>	101		
6-зсув	c <sub>6</sub> c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub>	110		
7-зсув	c <sub>7</sub> c <sub>0</sub> c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> c <sub>3</sub> c <sub>4</sub> c <sub>5</sub> c <sub>6</sub>	111	11	

При формуванні сигналів на максимальній швидкості передавання інформації ( $\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$ ) кожна трійка інформаційних біт замінюється одним з восьми зсувів кодової послідовності розширення спектру сигналів, як і при класичній схемі CSSK-модуляції.

Розглянемо приклад, коли надійшла команда на зміну швидкості передавання інформації до  $\frac{(\log_2 N - 1)}{\tau \cdot N}$ . В цьому випадку, сигнал формується таким чином. Кожна двійка інформаційних біт замінюється тільки 1, 3, 5 і 7 зрушеннями відповідно до рис. 1. Сигнали при інших швидкостях передачі інформації формуються аналогічно.

**Модель дискретного каналу зв'язку з удосконаленою модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.**

Для отримання перешкодостійкості сигналів необхідно проведення математичного моделювання каналу зв'язку з удосконаленою CSSK-модуляцією в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

В роботі [6] запропонована математична модель дискретного каналу зв'язку, що дозволяє досліджувати перешкодостійкість сигналів, з модуляцією циклічним зсувом коду, в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль (рис. 1). В моделі забезпечується вибір типу алфавіту сигналу модуляції циклічним зсувом коду, параметрів прямого та віддзеркаленого променів (підсилення та час затримки сигналу).

Моделювання дискретного каналу зв'язку з удосконаленою модуляцією циклічним зсувом коду в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль, при використанні різних алфавітів сигналів та характеристик каналу, дозволить дослідити перешкодостійкість різних сигналів, з метою вибору необхідного.

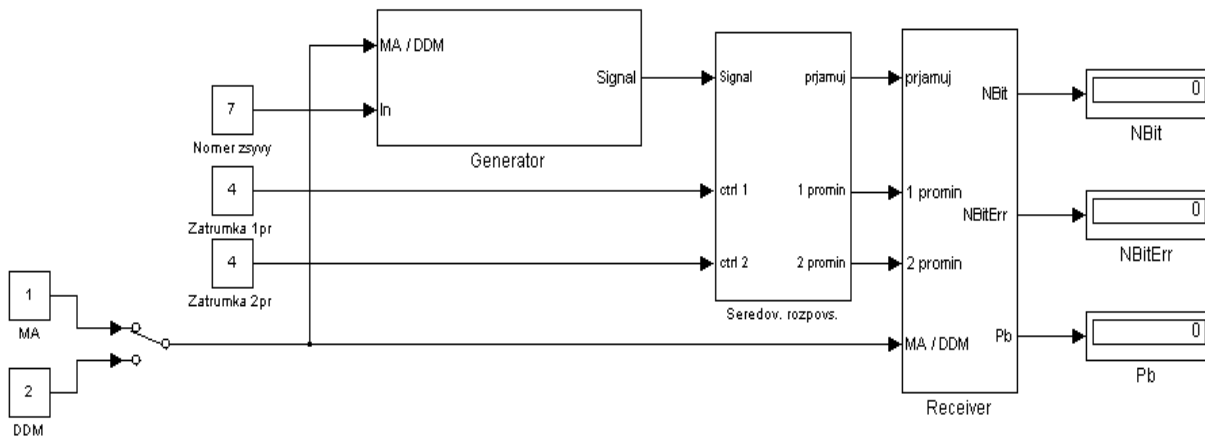


Рис.1. Модель дискретного каналу зв'язку для дослідження перешкодостійкості сигналів удосконаленої CCSK-модуляції в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль

**Перешкодостійкість сигналів удосконаленої CCSK-модуляції в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.**

За результатами моделювання, яке було проведено в середовищі Matlab, отримані залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біта ( $P_{\text{пом}}$ ) від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа на

вході приймача ( $\tau_3/\tau_4$ ) при багатопроменевому розповсюдженні радіохвиль.

Залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біта від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа при використанні сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду приведені на рис. 2 (а-в). Співвідношення амплітуд сигналів прямого і віддзеркаленого променю 1:1.

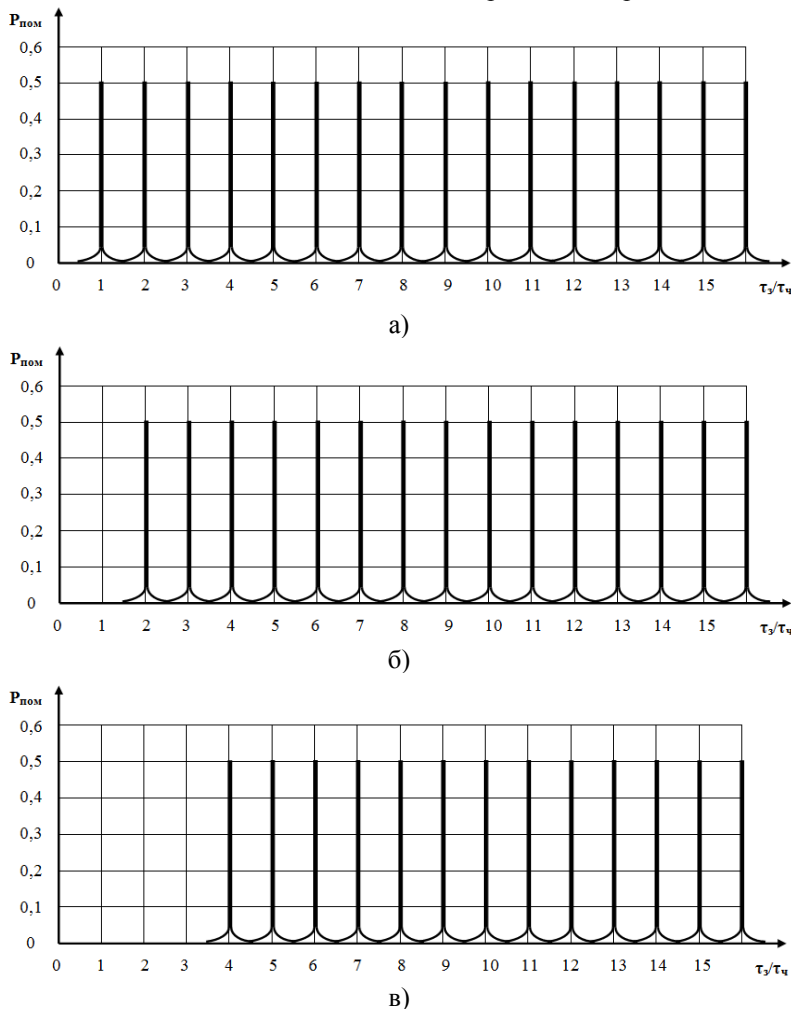


Рис. 2. Залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біта від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа при використанні сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду



На рис. 2а приведено залежність ймовірності помилкового прийому інформаційного біту від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа для швидкості передавання даних  $\frac{\log_2 N}{\tau \cdot N}$ .

На рис. 2б та 2в – для швидкостей передавання даних  $\frac{(\log_2 N - 1)}{\tau \cdot N}$  і  $\frac{(\log_2 N - 2)}{\tau \cdot N}$  відповідно.

За результатами моделювання з використанням сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду, встановлено, що ймовірність помилкового прийому інформаційного біта наближається до 0,5 для максимальної швидкості передавання інформації у випадках, коли час затримки кратний тривалості чіпа, за умови що амплітуди віддзеркалених променів не більші за амплітуду прямого (рис. 2а).

Для швидкості передавання інформації  $\frac{(\log_2 N - 1)}{\tau \cdot N}$  (рис. 2б) ймовірність помилкового прийому інформаційного біта вперше наближається до 0,5 при затримці сигналу, кратній тривалості двох чіпів. Далі характеристика аналогічна попередньому випадку.

Для швидкості передавання інформації  $\frac{(\log_2 N - 2)}{\tau \cdot N}$  (рис. 2в) ймовірність помилкового прийому інформаційного біта вперше наближається до 0,5 при затримці сигналу, кратній тривалості чотирьох чіпів. Далі характеристика аналогічна випадку, що ілюструє рис. 2а.

Моделювання виконувалось для співвідношення амплітуд прямого і віддзеркаленого променів 1:1.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, за результатами моделювання вперше отримані залежності ймовірності помилкового прийому інформаційного біту від співвідношення часу затримки до часу проходження одного чіпа при використанні сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду.

Перспективами подальших досліджень є отримання характеристик перешкодостійкості, структурної та енергетичної стійкості сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду.

### Література

1. M. Webster et al. (Jan. 1998), Proposal for a high speed PHY for the 2.4 GHz band, IEEE P802.11-98/47.  
2. Fisher et al. (July 2004), DS-UWB physical layer submission to 802.15 task group 3a, IEEE P802.15-04/01373r3.  
3. G. M. Dillard et al. (July 2003), Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique, IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems., vol. AES-39, pp. 786–798.  
4. Гепко И. А. Новый класс ортогональных кодов для телекоммуникационных систем CDMA и метод их корреляционного приема, минимизирующий вычислительную сложность цифрового сигнального процессора / И. А. Гепко, А. А. Москаленко // Зв'язок. –

2007. – № 6. – С. 33–39.  
5. Гепко И. А. Свойства ортогональных сигналов с прямым расширением спектра на основе совершенных двоичных матриц и алгоритма их корреляционной обработки / И. А. Гепко, А. А. Москаленко // Радиоэлектроника (Иzv. вузов). – 2008. – № 1-2. – С. 49–60.  
6. Москаленко А. А. Метод синтеза сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации / А. А. Москаленко, Г. В. Сокол // Научно-технический журнал Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, – 2013. – №3 (100). – С. 71–75.

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ СИГНАЛОВ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ МОДУЛЯЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИМ СДВИГОМ КОДА С АДАПТАЦИЕЙ ПО СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

<sup>1</sup>Артем Алексеевич Москаленко (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>Сергей Владимирович Волошко (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Игорь Иванович Слюсарь (канд. техн. наук, доцент)

<sup>2</sup>Игорь Юрьевич Рубцов

<sup>1</sup>Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, Полтава, Украина

<sup>2</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

В работе представлены результаты сравнительного анализа перспективных методов широкополосной модуляции. Рассмотрены основные принципы построения перспективных радиоинтерфейсов. В результате чего установлено, что желательным свойством методов модуляции сигналов, которые являются кандидатами на использование в перспективных радиоинтерфейсах, есть возможность адаптации к условиям распространения радиоволн. Рассмотрен метод адаптивной модуляции циклическим сдвигом кода с возможностью изменения скорости передачи информации. Представлена модель дискретного канала связи для исследования помехоустойчивости сигналов усовершенствованной CСSK-модуляции в условиях многолучевого распространения радиоволн. Исследована помехоустойчивость сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода с адаптацией по скорости передачи информации в условиях многолучевого распространения радиоволн.

Получены зависимости вероятности ошибочного приема информационного бита от соотношения времени задержки ко времени прохождения одного чипа при использовании сигналов усовершенствованной модуляции циклическим сдвигом кода.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость сигналов; модуляция циклическим сдвигом кода; адаптивная модуляция; многолучевое распространение радиоволн.

## THE SIGNALS IMMUNITY OF THE IMPROVED MODULATION BY CYCLIC SHIFT WITH ADAPTATION TO INFORMATION TRANSFER RATE IN MULTIMODE PROPAGATION ENVIRONMENT

<sup>1</sup>*Artem O. Moskalenko (Candidate of Technical Sciences)*

<sup>1</sup>*Serhii V. Voloshko (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

<sup>1</sup>*Thor I. Sliusar (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*

<sup>2</sup>*Igor Y. Rubcov*

<sup>1</sup>*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine*

<sup>2</sup>*Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine*

The results of comparative analysis of broadband modulation perspective methods are presented. Basic principles of perspective radiointerfaces construction are considered. It is set as a result, that desirable property of signals modulation methods that are candidates on the use in perspective radiointerfaces, is possibility of adaptation to the terms of radio waves distribution. The method of adaptive modulation is considered by the cyclic code shift keying with possibility of information transfer speed change. The model of discrete communication channel is presented for research of the noise immunity of improved CCSK- modulation signals in the conditions of multipath waves propagation. The noise immunity of improved CCSK- modulation signals in the conditions of multipath waves propagation is investigational.

**Keywords:** the signals immunity; cyclic code shift keying; adaptive modulation; multimode propagation environment.

### References

1. M. Webster et al. (1998), "Proposal for a high speed PHY for the 2.4 GHz band," IEEE P802.11-98/47.
2. Fisher et al. (2004), "DS-UWB physical layer submission to 802.15 task group 3a," IEEE P802.15-04/01373r3.
3. G.M. Dillard et al. (2003), Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Systems., vol. AES-39, pp. 786 -798.
4. Gepko I.A., Moskalenko A.A. (2007), New class of orthogonal kodas for the CDMA telecommunication systems and method of their cross-correlation reception, minimizing calculable complication of digital alarm processor. [Novyyi klass ortogonalnykh kodov dlya telekommunikatsionnykh sistem CDMA i metod ih korrelyatsionnogo priema, minimiziruyushiy vyichislitelnyuyu slozhnost tsifrovogo signalnogo protsessora], Connection, Kyiv, No. 6, pp. 33-
39. 5. Gepko I.A., Moskalenko A.A. (2008), Properties of orthogonal signals with direct expansion of spectrum on the basis of perfect binary matrices and algorithm of their cross-correlation treatment. [Svoystva ortogonalnykh signalov s pryamyim rasshireniem spektra na osnove sovershennykh dvoichnykh matrits i algoritma ih korrelyatsionnoy obrabotki] Radioelectronics, Kyiv, No. 1-2, pp. 49-60.
6. Moskalenko A.A., Sokol G.V. (2013), Method of signals synthesis of the improved cyclic code shift keying with adaptation on speed of information transfer. [Metod sinteza signalov usovershenstvovannoy modulyatsii tsiklicheskim sdivgom koda s adaptatsiey po skorosti peredachi informatsii], Scientific and technical magazine "the Informatively sensor-based systems on a railway transport", Kharkiv, No. №3 (100), pp. 71-75.

Отримано: 17.06.2015 р.

<sup>1</sup>Павло Вікторович Опенько (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>Павло Анатолійович Дранник (канд. військ. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Владислав Володимирович Кобзєв (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Григорій Миколайович Зубрицький (канд. техн. наук, доцент)

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

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

## ОЦІНКА АВТОНОМНОСТІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ УГРУПОВАННЯМ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК

Викладено підхід до вирішення актуального завдання з оцінки автономності ведення бойових дій угрупованням зенітних ракетних військ з метою визначення максимально можливих термінів виконання ним поставлених завдань (ведення бойових дій), бойових можливостей та необхідного наряду сил та засобів для придушення створеної системи зенітного ракетного прикриття з визначеною ефективністю. Враховуючи досвід бойового застосування військових частин зенітних ракетних військ у локальних війнах та збройних конфліктах сучасності, вирішення наведеної задачі базується на врахуванні значного впливу зазначених факторів, а саме фактичних змін кількісно-якісного стану озброєння та військової техніки, зенітних керованих ракет та паливно-мастильних матеріалів після кожного удару засобами повітряного нападу. Це дає можливість оцінити автономність ведення бойових дій угрупованням зенітних ракетних військ за визначеними показниками при відсутності можливостей поповнення наявного озброєння та військової техніки та запасів матеріально-технічних засобів.

**Ключові слова:** зенітні ракетні війська; автономність; бойові дії.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Досвід вирішення завдань антитерористичної операції військовими частинами зенітних ракетних військ (ЗРВ) Повітряних Сил Збройних Сил України свідчить про необхідність проведення в стислі терміни оцінки автономності ведення бойових дій в певних умовах обстановки.

Враховуючи особливості бойового застосування військових частин ЗРВ за досвідом локальних війн та збройних конфліктів сучасності, значний вплив на здатність угруповання ЗРВ автономно вести бойові дії мають кількісно-якісний стан озброєння та військової техніки (ОВТ), запаси зенітних керованих ракет (ЗКР) та військово-технічного майна, в тому числі паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

Через це необхідність оцінки автономності угруповання ЗРВ з урахуванням зазначених факторів з метою виконання оперативних розрахунків щодо визначення максимально можливих термінів виконання завдань (ведення бойових дій) військовими частинами ЗРВ при встановлених обмеженнях є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У науково-технічній літературі [1-4] оцінка автономності здійснюється, як правило, за спрощеною методикою. Тривалість ведення автономних бойових дій передбачається визначати як мінімальний результат при розрахунку відношень наявних до початку бойових дій кількості ОВТ та запасів військово-технічного майна до відповідних витрат та (або) втрат.

При цьому не враховується те, що після кожного удару засобами повітряного нападу (ЗПН) змінюються:

фактичний кількісно-якісний стан ОВТ, який обумовлює зменшення здатності до протистояння впливу повітряного противника;

фактична наявність ЗКР з урахуванням витрат ЗКР, які були випущені лише працездатними впродовж наявності зенітними ракетними комплексами (ЗРК), та втрат ЗКР з ураженими ЗРК;

фактична кількість запасів ПММ з урахуванням витрат ПММ на забезпечення бойової роботи та зміну позицій працездатними впродовж наявності ЗРК та втрат ПММ з ураженими ЗРК.

Урахування цих особливостей дозволить отримувати первинні (наближені) результати щодо оцінки бойових можливостей угруповання ЗРВ та необхідного наряду сил та засобів з придушення створеної системи зенітного ракетного прикриття з визначеною ефективністю.

**Мета статті.** Розробка методичного підходу до оцінки можливостей ведення бойових дій угрупованням ЗРВ в умовах автономності при відсутності можливостей поповнення наявного ОВТ та запасів матеріально-технічних засобів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

В якості заданого (граничного) рівня автономності угруповання ЗРВ запропоновано виконання сукупності умов:

хоча б один ЗРК угруповання ЗРВ залишається боєготовим;

наявні запаси ЗКР дозволяють вести бойову стрільбу впродовж тривалості наявності;

наявні запаси ПММ дозволяють забезпечити функціонування ЗРК впродовж тривалості наявності.

Оцінка часу автономного ведення бойових дій угрупованням ЗРВ в умовах його вогневого придушення здійснюється шляхом розрахунку математичного сподівання кількості уражених ЗРК, витрат і втрат ЗКР та оцінки запасів ПММ. При проведенні такої оцінки доцільним є урахування наступних припущень:

підрозділи угруповання здатні змінити бойові позиції зенітних ракетних дивізіонів (зрдн) за відповідний інтервал часу між повітряними нальотами;

підрозділи угруповання здатні здійснити відновлення пошкодженого ОВТ до встановленого відсотку за відповідний інтервал часу між повітряними ударами;

витрати часу на перерозподіл залишків ЗКР та ПММ не враховуються.

Оцінка рівня автономності угруповання ЗРВ здійснюється за допомогою визначення на кожному ударі ЗПН низки проміжних величин:

математичного сподівання кількості ЗПН, здатних подолати систему зенітного ракетного вогню;

математичного сподівання кількості знищених ЗРК;

витрат і втрат ЗКР угрупованням ЗРВ в умовах його вогневого придушення;

витрат та втрат ПММ угруповання ЗРВ в умовах автономного ведення бойових дій.

Визначення математичного сподівання кількості ЗПН, здатних подолати систему зенітного ракетного вогню пропонується виконувати наступним чином.

Ймовірність ураження угрупованням ЗРВ однієї цілі  $j$ -го типу ( $j = 1 \dots J$ ) зі складу нальоту [5]:

$$W_j = P_{обс_j} \cdot \mathcal{E}_{m_j} \cdot K_{вияв_j} = (1 - P_{но_j}) \cdot \mathcal{E}_{m_j} \cdot K_{вияв_j}, \quad (1)$$

де:  $P_{обс_j}$  – ймовірність обстрілу ЗПН  $j$ -го типу зі складу нальоту ЗРК;

$\mathcal{E}_{m_j}$  – ймовірність ураження ЗПН  $j$ -го типу  $m$  ракетами за умови його обстрілу одним ЗРК угруповання ЗРВ;

$K_{вияв_j}$  – ймовірність виявлення ЗПН  $j$ -го типу до ближньої границі зони обстрілу ЗРК (знаходиться в межах 0,8÷0,9).

Ймовірність обстрілу ЗПН  $j$ -го типу зі складу нальоту  $P_{обс_j}$  [6]:

$$P_{обс_j} = 1 - P_{но_j} = 1 - \frac{\alpha_j^n}{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_j^i}{i!}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_j = \lambda_j \cdot \bar{t}_{обс_j}$ ,

$\lambda_j$  – щільність ЗПН  $j$ -го типу у нальоті;

$\bar{t}_{обс_j}$  – середнє значення часу, необхідного для обстрілу одного ЗПН  $j$ -го типу.

Ймовірність ураження ЗПН  $j$ -го типу  $m$  ракетами за умови її обстрілу одним ЗРК угруповання ЗРВ:

$$\mathcal{E}_{m_j} = 1 - (1 - \mathcal{E}_{1_j})^m, \quad (3)$$

де  $\mathcal{E}_{1_j}$  – ймовірність ураження ЗПН  $j$ -го типу однією ракетою з урахуванням усіх процесів функціонування бойових засобів ЗРК.

Математичне сподівання кількості втрат ЗПН  $j$ -го типу зі складу нальоту:

$$\bar{N}_{втр_j}^{зпн} = N_j \cdot W_j, \quad (4)$$

де  $N_j$  – кількість ЗПН  $j$ -го типу у нальоті.

Математичне сподівання кількості втрат ЗПН всіх

типів зі складу нальоту:

$$\bar{N}_{втр}^{зпн} = \sum_{j=1}^J \bar{N}_{втр_j}^{зпн}, \quad (5)$$

Математичне сподівання кількості ЗПН  $j$ -го типу, що здатні подолати систему зенітного ракетного вогню:

$$\bar{N}_{\Pi}^{зпн_j} = N_j - \bar{N}_{втр_j}^{зпн}, \quad (6)$$

Математичне сподівання кількості ЗПН всіх типів, що здатні подолати систему зенітного ракетного вогню:

$$\bar{N}_{\Pi}^{зпн} = \sum_{j=1}^J \bar{N}_{\Pi}^{зпн_j}. \quad (7)$$

Розрахована кількість ЗПН всіх типів  $\bar{N}_{\Pi}^{зпн}$  здатна наносити удар по угрупованню ЗРВ противника.

Визначення математичного сподівання кількості знищених зенітних ракетних комплексів пропонується виконувати наступним чином.

Ймовірність ураження  $i$ -го зенітного ракетного комплексу одним ЗПН  $j$ -го типу [7]:

$$P_{ij} = 1 - \prod_a (1 - P_{a_{ij}})^{b_{a_{ij}}}, \quad (8)$$

де  $P_{a_{ij}}$  – ймовірність ураження  $i$ -го ЗРК  $a$ -тим типом засобу ураження ЗПН  $j$ -го типу;

$b_{a_{ij}}$  – кількість засобів ураження  $a$ -го типу на ЗПН  $j$ -го типу по  $i$ -му ЗРК.

Ймовірність ураження  $i$ -го зенітного ракетного комплексу всіма ЗПН  $j$ -го типу, що наносять удар:

$$P_{зпн_{ij}} = 1 - (1 - P_{ij})^{\eta_{ij}}, \quad (9)$$

де  $\eta_{ij}$  – кількість ЗПН  $j$ -го типу, що наносять удар по  $i$ -му ЗРК.

Ймовірність ураження  $i$ -го зенітного ракетного комплексу ЗПН усіх типів, що наносять удар:

$$P_{зпн_i} = 1 - \prod_{j=1}^J (1 - P_{зпн_{ij}}). \quad (10)$$

Математичне сподівання кількості пошкоджених ЗРК засобами повітряного нападу:

$$M^{зрк} = \sum_{i=1}^n C_n^i \cdot P_{зпн_i} \cdot (1 - P_{зпн_i})^{n-i}. \quad (11)$$

У разі, якщо інтервал між нальотами дозволяє проведення відновлення пошкоджених ЗРК їх кількість повинна корегуватись.

Оцінку витрат і втрат ЗКР угрупованням ЗРВ в умовах його вогневого придушення пропонується виконувати наступним чином.

Витрати та втрати ЗКР угрупованням ЗРВ в умовах нанесення ударів по ЗРК можуть бути оцінені за співвідношенням:

$$G^{зрк} = \bar{N}_{\Pi}^{зпн} \cdot m + M^{зрк} \cdot 0,35 \gamma_{бк}. \quad (12)$$

де  $m$  – середній розхід ЗКР для обстрілу одного ЗПН;

$\gamma_{бк}$  – кількість ЗКР у одному боекомплекті.

Значення коефіцієнту втрат ЗКР (0,35) при пошкодженні ЗРК визначається виходячи з досвіду бойового застосування ЗПН та характеристик засобів ураження.

Оцінку витрат та втрат ПММ угруповання ЗРВ в

умовах автономного ведення бойових дій пропонується виконувати наступним чином.

Витрати ПММ у групуванням ЗРВ в умовах автономного ведення бойових дій можуть бути оцінені його потребами для забезпечення бойової роботи зенітних ракетних комплексів у групування під час відбиття повітряного нальоту та здійснення маневру (зміни бойових позицій) зрдн.

Потреби у групування ЗРВ в ПММ для забезпечення бойової роботи  $V_{бр}$  усіх наявних зенітних ракетних комплексів:

$$V_{бр} = n \cdot V_{брсп} \cdot T_{нал}, \quad (13)$$

де  $n$  – кількість ЗРК в у групуванні ЗРВ;

$V_{брсп}$  – середні витрати ПММ одного ЗРК за годину бойової роботи;

$T_{нал}$  – тривалість нальоту.

Оцінка витрат ПММ у групуванням ЗРВ для зміни бойових позицій (згортання, здійснення маршруту та розгортання)  $V_M$  здійснюється за умови, що у групуванням здатне провести зміну бойових позицій зрдн за встановлений інтервал часу між повітряними нальотами:

$$V_M = n_M \cdot V_{мсп} \cdot S_M, \quad (14)$$

де  $n_M$  – кількість ЗРК в у групуванні ЗРВ, що здійснюють зміну бойових позицій;

$V_{мсп}$  – середні витрати ПММ одного ЗРК при здійсненні маршруту на відстань в 1 км;

$S_M$  – середня відстань між основними та запасними позиціями зрдн.

Оцінка втрат ПММ внаслідок ударів по у групуванням ЗРВ здійснюється за співвідношенням:

$$V_{втр} = M^{ЗРК} \cdot 0,15 \frac{V_{наяв}}{\pi}, \quad (15)$$

Значення коефіцієнту втрат ПММ (0,15) при нанесенні удару по позиціях ЗРК визначається, виходячи з досвіду бойового застосування ЗПН, характеристик засобів ураження та можливостей у групуванням з розосередження наявних запасів ПММ.

Сумарні витрати та втрати ПММ у групуванням ЗРВ складають:

$$V_{\Sigma} = V_{бр} + V_M + V_{втр}. \quad (16)$$

Оцінювання автономності ведення бойових дій у групуванням ЗРВ здійснюється як виконання багатоітераційної процедури проведення розрахунків (рис. 1). Умовою проведення розрахунків на кожній ітерації є виконання критерію

$$\begin{cases} n_{наяв} \geq n_{гр}, \\ g_{наяв} \geq g_{гр}, \\ V_{наяв} \geq V_{гр}, \end{cases} \quad (17)$$

де  $n_{наяв}$ ,  $g_{наяв}$ ,  $V_{наяв}$  – наявні кількість ЗРК, запаси ЗРК та ПММ відповідно перед початком чергового нальоту;

$n_{гр}$ ,  $g_{гр}$ ,  $V_{гр}$  – граничний (мінімально допустимий) рівень кількості ЗРК, запасів ЗРК та ПММ відповідно перед початком чергового нальоту;

Величини  $n_{гр}$ ,  $g_{гр}$ ,  $V_{гр}$  пропонується визначати таким чином:

в у групуванні ЗРВ перед початком нальоту

повинен бути боєготовим хоча б один ЗРК, тобто

$$n_{гр} = 1; \quad (18)$$

наявні запаси ЗРК та ПММ повинні бути такими, щоб випродовж чергового нальоту жоден ЗРК не був в стані простою через нестачу ЗРК або ПММ, тобто

$$g_{гр} = \frac{T_{нал} \cdot n_k \cdot n}{T_{зрк}} \cdot m, \quad (19)$$

$$V_{гр} = V_{брсп} \cdot T_{нал} \cdot n, \quad (20)$$

де  $n_k$  – кількість стрільбових каналів ЗРК;

$m$  – середня витрата ЗРК для обстрілу одного ЗПН.

Час, протягом якого у групуванням ЗРВ противника було здатне автономно вести бойові дії, розраховується як алгебраїчна сума тривалостей нальоту та інтервалів між ними, протягом яких виконувався критерій автономності.

Початковим елементом процедури є визначення вихідних даних щодо у групуванням ЗРВ до початку автономних бойових дій (блок 1).

Наступний елемент (блок 2) є першим елементом тіла циклу розрахункової процедури. В ньому проводиться визначення вихідних даних нальоту ЗПН (першого або чергового).

Далі проводиться розрахунок заданих (граничних) величин запасів ЗРК та ПММ для ведення бойових дій у групуванням ЗРВ впродовж нальоту з урахуванням його характеристик (блок 3). Розрахунковими співвідношеннями є (18)–(20).

Після перевірки відповідності наявної кількості ЗРК та запасів ЗРК і ПММ критерію автономності (17) (блок 4) приймається рішення про здатність у групуванням ЗРВ здійснювати автономне ведення бойових дій по відбиттю нальоту.

У разі не відповідності хоча б однієї умови з критерію автономності (17) визначається час, протягом якого у групуванням ЗРВ було здатне автономно вести бойові дії (блок 13).

У разі відповідності усіх умов з критерію автономності (17) виконуються наступні елементи процедури (блоки 5–12).

Розрахунки кількості ЗПН, що здатні подолати систему зенітного ракетного вогню противника (блок 5), та втрат ЗРК під час нальоту (блок 6) проводяться за співвідношеннями (7) та (11) відповідно.

У блоці 7 здійснюється оцінка можливостей противника щодо відновлення пошкоджених ЗРК в встановлений інтервал між нальотами.

У разі, якщо інтервал між нальотами дозволяє проведення відновлення пошкоджених ЗРК, їх кількість повинна корегуватись (блок 8).

В блоках 9 та 10 проводиться оцінка витрат та втрат ЗРК і ПММ під час нальоту відповідно до співвідношень (12) та (13, 15) відповідно.

У блоці 11 здійснюється оцінка можливостей противника щодо зміни бойових позицій зрдн у встановлений інтервал між нальотами.

У разі, якщо інтервал між нальотами дозволяє проведення зміни бойових позицій зрдн здійснюється розрахунок витрат ПММ на зміну бойових позицій (блок 12) за співвідношенням (16).

Отримані розрахункові значення кількості боєготових ЗРК, наявних запасів ЗРК та ПММ є вихідними даними блоку 2 процедури для проведення наступної ітерації.

Надалі проведення розрахунків циклічно

повторюються починаючи з блоку 2, поки не буде здійснено перехід до блоку 13, де визначається час, протягом якого угруповання ЗРВ противника було здатне автономно вести бойові дії.

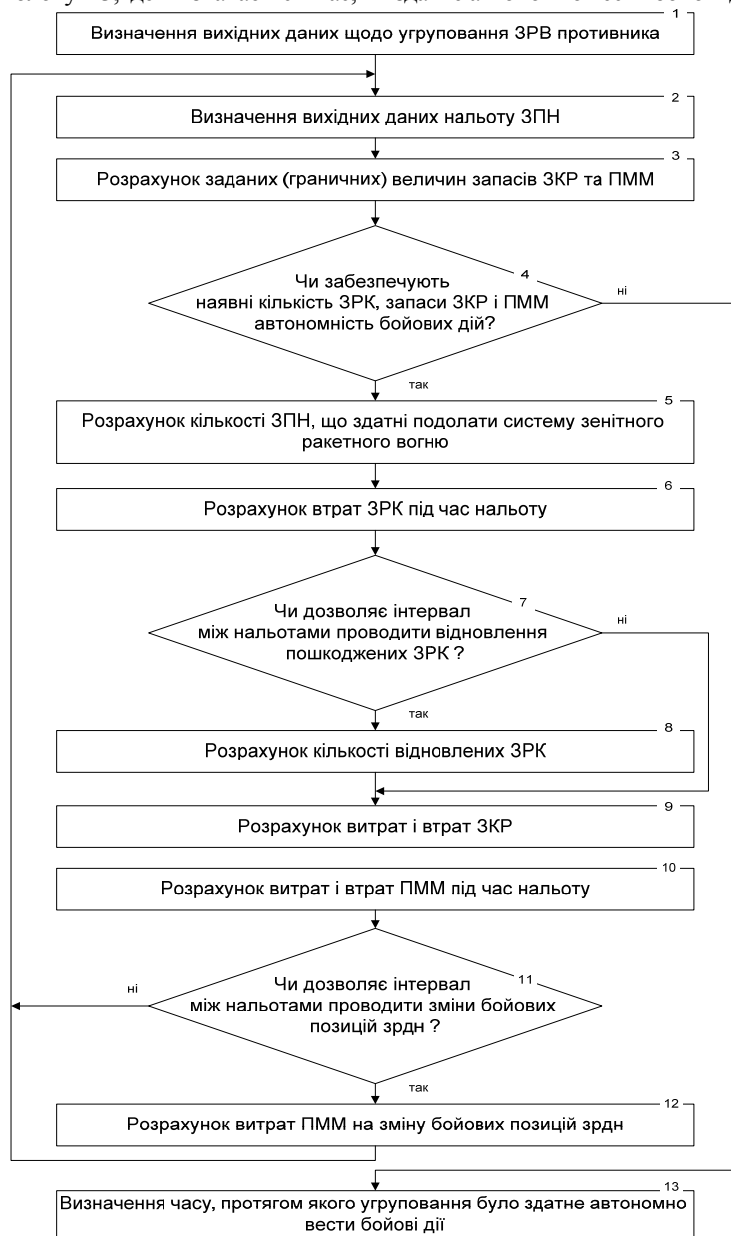


Рис.1. Блок-схема процедури оцінювання автономності ведення бойових дій угрупованням ЗРВ

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Досвід бойового застосування авіації та військ (сил) протиповітряної оборони свідчить, що врахування отриманих розрахункових результатів оцінки бойових можливостей угруповання ЗРВ з одного боку, та необхідного наряду засобів повітряного нападу з придушення створеної системи зенітного ракетного прикриття з визначеною ефективністю з іншого боку є запорукою успішного виконання завдань, покладених на Повітряні Сили Збройних Сил України.

Аналіз науково-технічної літератури, присвяченої дослідженню питань оцінки автономності ведення бойових дій свідчить про неврахування впливу

факторів, а саме кількісно-якісного стану ОВТ, запасів ЗРК та військово-технічного майна, в тому числі ПММ, під час оцінки автономності угруповання ЗРВ. Представлений вище підхід передбачає проведення розрахунків щодо втрат ЗРК, витрат та втрат ЗРК та ПММ для кожного удару засобів повітряного нападу з уточненням наявного кількісно-якісного стану ОВТ та запасів матеріально-технічних засобів перед наступним ударом та оцінкою здатності вести автономні бойові дії. Це дозволить збільшити точність оперативної оцінки можливостей угруповання ЗРВ з ведення автономних бойових дій та необхідного наряду сил та засобів з придушення створеної системи зенітного ракетного прикриття з визначеною ефективністю.

### Література

1. Неупокоев Ф. К. Противовоздушный бой / Ф. К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 262 с. 2. Синтез адаптивних структур системи зенітного ракетно-артилерійського прикриття об'єктів і військ та оцінка її

ефективності: Монографія./ Торопчин А. Я., Кириченко І. О., Єрмошин М. О., Дробаха Г. А., Долина М. П. – Х.: ХУ ІС, 2006. – 347 с. 3. Єрмошин М. О. Оцінка ефективності бойових дій зенітних ракетних військ:

Навчальний посібник / М. О. Єрмошин, Г. А. Дробаха – Х.: ХВУ, 2004. – 258 с. 4. **Городнов В. П.** Методика прогноза ефективності групувань родів військ ПВО / В. П. Городнов. – Х.: ХВУ, 1999. – 32 с. 5. **Бурцев В. В.** Системотехнічні основи побудови та бойового використання комплексів і систем зенітного

озброєння. Навчальний посібник. / В. В. Бурцев. – Х.: ХУПС, 2005. – 288 с. 6. **Петухов С. И.** Эффективность ракетных средств ПВО./ С. И. Петухов, А. Н. Степанов. – М.: Воениздат, 1976. – 104 с. 7. **Вероятностные методы** оценки эффективности вооружения. Под ред. проф. А. А. Червоного. – М.: Воениздат, 1979. – 95 с.

## ОЦЕНКА АВТОНОМНОСТИ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ ГРУППИРОВКИ ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК

<sup>1</sup>**Павел Викторович Опенько** (канд. техн. наук)

<sup>1</sup>**Павел Анатольевич Дранник** (канд. воен. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>**Владислав Владимирович Кобзев** (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>**Григорий Николаевич Зубрицкий** (канд. техн. наук, доцент)

<sup>1</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*  
<sup>2</sup>*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина*

Изложен подход к решению актуальной задачи по оценке автономности ведения боевых действий группировкой зенитных ракетных войск с целью определения максимально возможных сроков выполнения им поставленных задач (ведение боевых действий), боевых возможностей и необходимого наряда сил и средств для подавления созданной системы зенитного ракетного прикрытия с определенной эффективностью. Учитывая опыт боевого применения войсковых частей зенитных ракетных войск в локальных войнах и вооруженных конфликтах современности, решение приведенной задачи базируется на учете значительного влияния указанных факторов, а именно фактических изменений количественно-качественного состояния вооружения и военной техники, зенитных управляемых ракет и горюче-смазочных материалов после каждого удара средствами воздушного нападения. Это дает возможность оценить автономность ведения боевых действий группировкой зенитных ракетных войск по определенным показателям при отсутствии возможностей пополнения имеющегося вооружения и военной техники и запасов материально-технических средств.

**Ключевые слова:** зенитные ракетные войска; автономность; боевые действия.

## THE WARFARE SELF-SUPPORTABILITY ASSESSMENT BY AN ANTI-AIRCRAFT MISSILE TROOPS GROUPING

<sup>1</sup>**Pavlo V. Openko** (Candidate of Technical Sciences)

<sup>1</sup>**Pavlo A. Drannyk** (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)

<sup>2</sup>**Vladyslav V. Kobziev** (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

<sup>2</sup>**Hryhorii M. Zubrytskyi** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

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

Experience solving problems of counterterrorist operation by military units of Air Defence Forces of Air Forces of Ukraine shows the need for a tight schedule estimation autonomy of engagement in certain circumstances the situation.

The approach to solving urgent task of assessing the autonomy of combat group air defense forces to determine the best possible timing performance of the tasks (warfare) capabilities and combat attire required capabilities to suppress anti-aircraft missile system created cover a defined efficiency. Given the experience of combat use of military units air defense troops in local wars and armed conflicts of our time, reduced problem resolution based on the account of a significant impact of these factors, namely the actual changes in quantity and the quality of armaments and military equipment, anti-aircraft missiles and lubricants after each blow of air attack. This makes it possible to assess the autonomy of combat group air defense troops of the defined terms without the possibility of replenishment of existing weapons and equipment inventory and logistical means.

**Keywords:** anti-aircraft missile troops; autonomy; fighting.

## References

1. **Neupokoev F.K.** (1989), Antiaircraft battle, [Protivovozdushnyi boy], Moscow, Voениzdat, 262 p.
2. **Торопчун А.Іа.,** Kyrychenko I.O., Yermoshyn M.O., Drobakha H. A., Dolyna M. P. (2006), Synthesis of adaptive structures of the system anti-aircraft missile and artillery cover objects and forces and its evaluation: Monograph. [Syntez adaptivnykh struktur systemy zeniноho raketno-artyleryiskoho prykryttia ob'ektiv i viisk ta otsinka yii efektyvnosti: Monohrafiia.], Kharkiv, KhVU, 347 p.
3. **Yermoshyn M.O.,** Drobakha H.A. (2004), Evaluating the effectiveness of fighting anti-aircraft missile troops: Manual, [Otsinka efektyvnosti boiovykh dii zeniynykh raketykh viisk: Navchalnyi posibnyk], Kharkiv, KhVU, 258 p.
4. **Gorodnov V.P.** (1999), Methodology future operating performance the air defense forces of labor groups [Metodiki prognoza effektivnosti gruppirovok rodov voysk PVO], Kharkiv, KhVU, p. 32.
5. **Burtsev V.V.** (2005), System integrators and bases of the combat use of anti-aircraft systems and weapons. Tutorial, [Systemotekhnichni osnovy pobudovy ta boiovoho vykorystannia kompleksiv i system zeniноho ozbroiennia. Navchalnyi posibnyk.], Kharkiv, KhUPS, 288 p.
6. **Petuhov S.I.,** Stepanov A.N. (1976), The effectiveness of missile of air defense, [Effektivnost raketynykh sredstv PVO], Moscow, Voениzdat, 104 p.
7. **Probabilistic methods** for evaluating the effectiveness of weapons. Ed. prof. A.A. Chervone (1979), [Veroyatnostnyie metody otsenki effektivnosti vooruzheniya.], Moscow, Voениzdat, 95 p.

Отримано: 08.07.2015 p.

Микола Миколайович Присяжнюк (канд. техн. наук, с.н.с.)

Олександр Сергійович Шимчук

Навчально-науковий інститут інформаційної безпеки НА СБ України, Київ, Україна

## ІНТЕРНЕТ ЯК НОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ СУГЕСТИВНОГО МАНІПУЛЯТИВНОГО ВПЛИВУ

У статті досліджуються особливості мережі Інтернет як нового середовища для здійснення маніпулювання свідомістю, розкривається поняття та сутність сугестії, проводиться аналіз технологій сугестивного маніпулятивного впливу в соціальних мережах Інтернету. Розкриваються особливості ефективного застосування сугестивних технологій в Інтернеті, до яких відносяться: висока довіра до неофіційних ресурсів мережі; залучення до інформації аудиторії надією розв'язати будь-які проблеми; формування мережових співтовариств на основі емпатії (співчуття). На основі аналізу наукової літератури щодо маніпулювання свідомістю людини показується повтор відповідних тем, сукупність яких зводиться до таких груп, як оперування інформацією; приховування маніпулятивного впливу; засоби примушення, застосування сили; мішені впливу; роботизація, які визначаються як методи маніпулювання свідомістю людини. Розкриваються поняття механізмів: вербального впливу через усвідомлене сприйняття інформації, що є своєрідним морально-семантичним фільтром людини та невербального інформаційного впливу через підсвідомість, що може програмуватися зовнішнім, неконтрольованим людиною інформаційним впливом.

**Ключові слова:** Інтернет; свідомість; підсвідомість; маніпулятивний вплив; сугестія; морально-семантичний фільтр.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Використання інформації як невичерпного ресурсу розвитку разом із сучасними досягненнями в галузі інформаційних технологій поклато початок формуванню глобального інформаційного суспільства, яке несе людству необмежені можливості. Поступово суспільство просувається від суто інформаційної парадигми убік інформаційно-комунікативної. Проте, інформаційно-комунікативне суспільство при всіх позитивних аспектах його організації є також ідеальним середовищем для здійснення всякого роду маніпулювань і сугестивних впливів на людину і різні співтовариства

**Метою** наукової статті є дослідження особливостей мережі Інтернет як нового середовища сугестивного маніпулятивного впливу.

Відповідно до мети завданнями статті є: розкриття поняття та сутності маніпулятивного впливу; аналіз сугестивних технологій маніпулятивного впливу та особливостей їх ефективного використання в Інтернеті.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Розгляд маніпулювання як специфічного різновиду психологічного впливу припускає виділення двох сторін у структурі даного процесу. Одна сторона визначається як джерело маніпулятивного впливу, суб'єкт впливу. Другу сторону, на яку спрямований маніпулятивний вплив, виступає об'єктом маніпулювання, адресат впливу чи реципієнт.

Суб'єктами і об'єктами маніпулювання можуть виступати не лише окремі особистості, а й суб'єкти різного рівня складності, від малих соціальних груп і громадських організацій до вищого політичного керівництва держав, населення однієї або кількох країн [1].

Маніпулювання свідомістю є системою інформаційно-психологічного впливу (ІПсВ) з метою впровадження у свідомість певного світогляду, ціннісних установок, уявлень про мораль, моральність, нормативність тих чи інших форм поведінки тощо.

Аналіз наукової літератури показує повтор відповідних тем, сукупність яких можна звести до таких груп, як оперування інформацією; приховування маніпулятивного впливу; засоби примушення, застосування сили; мішені впливу; роботизація, які можна визначити як методи маніпулювання свідомістю людини.

Для усвідомлення сутності та змісту завдань маніпулювання необхідно зрозуміти механізми ІПсВ на поведінку індивіда (особистості), а також на прийняття рішень на будь-якому рівні суспільних і державних структур. Для цього необхідно ввести поняття механізму вербального інформаційного впливу, розуміючи при цьому, що в його основі лежить закономірність усвідомленого сприйняття інформації, саме її змісту. Під впливом змісту інформаційних потоків, які людина сприймає, акцентів на окремих його фрагментах, інших факторів у неї формується спосіб мислення, її світогляд, система цінностей та інтересів, які з часом збагачуються і розвиваються в той чи інший бік, виступають під час аналізу

© М.М. Присяжнюк, О.С. Шимчук



поточної інформації у вигляді своєрідного морально-семантичного фільтра. Від орієнтації й усталеності цього фільтра залежать вчинки, поведінка людини в тій чи іншій ситуації.

За допомогою навмисно спотвореної, вибірково неповної інформації і цілеспрямованої дезінформації можна впливати не лише на рішення людини, та її поведінку, але й на елементи фільтра (систему духовних і моральних цінностей, інтересів та потреби, релігійних і філософських поглядів тощо), корегуючи їх в бажаному напрямку.

Механізми невербального ППсВ ґрунтуються на використанні закономірностей сприйняття людиною інформації через підсвідомість, що може програмуватися зовнішнім, неконтрольованим людиною інформаційним впливом.

Базовими методами ППсВ є переконання і навіювання (сугестія). Переконання звернене до власного критичного сприйняття дійсності (морально-семантичного фільтру). Сугестія навпаки спрямовано на суб'єктів, що некритично сприймають інформацію.

Прагнення до наукового розуміння навіювання як своєрідного психічного процесу, а також дослідження значення сновидінь, прикмет, забобонів, магічних дій як компонентів сугестії; їх вплив на поведінку людини містять роботи Ф.Александера, В.Бехтерева, Е.Кречмера, Б.Малиновського, А.Леманна, М.Лінецького [2]. Наукова інтерпретація цих явищ допомагає виявити приховані рушійні сили психологічних перевтілень, що виникають у результаті певних сугестивних дій. Аналіз деяких соціальних явищ, які є наслідком сугестивного гіпнотичного впливу, здійснено в працях Д.Дубровського, Е.Феїзова, Г.Шингарова. Проведені ними дослідження не лише виявляють реальну картину багатьох шарлатанських екстрасенсорних практик, які ґрунтуються на використанні методів сугестивного впливу, але й розкривають суть інформаційного процесу передачі та сприйняття інформації, тобто процесу навіювання.

Сугестивні маніпулятивні технології беруть початок із герменевтики – науки про тлумачення текстів. Герметизм означає закритість. Щодо маніпулятивних прийомів це означає тлумачення повідомлень, вербальних текстів (а також жестів, зображень, образів, дій і вчинків) “у потрібному ключі” для їх інтерпретатора.

У сучасних умовах активно розробляються та впроваджуються новітні форми, способи і технології сугестивного маніпулятивного впливу на індивідуальну, групову та масову свідомість. До таких каналів впливу на свідомість та поведінку людини можна віднести глобальні комп'ютерні мережі та програмні засоби швидкого поширення інформаційних матеріалів.

Глобальна інформаційна мережа “Інтернет” уже давно є невід’ємною частиною та основною рушійною силою розвитку сучасної цивілізації. Завдяки Інтернету людство дістало можливість

налагодити ефективні комунікативні зв'язки. Саме Інтернет забезпечує доступ до будь-яких інформаційних продуктів і баз даних в реальному часі, в довільній точці планети і цілодобово. Проте Інтернет став і ареною для здійснення глобального маніпулятивного впливу.

Цю тему досліджували такі вчені як: Ю.Шерковін, Г.Шиллер, Д.Райгородський, С.Кара-Мурза, І.Черепанова, О.Романов, Є.Доценко, К.Каландаров, Г.Почепцов та інші. Вони розкривали суть сугестивних явищ з точки зору маніпулятивного впливу.

Механізми впливу на психіку людини лежать в основі технологій маніпулювання свідомістю, але ці механізми відповідають маніпулюванню тільки в тому випадку, якщо воно майстерно приводить до прихованого збудження в людини намірів, якими вона до цього не володіла.

Суб'єкт маніпулювання прагне, щоб об'єкт впливу сам визнав той чи інший вчинок, що йому навіюється, єдино правильним для себе.

У практиці масової комунікації досить часто використовується навіювання як вид психологічного впливу. При цьому під навіюванням розуміють такий словесний або образний вплив, який викликає некритичне сприйняття та засвоєння певної інформації.

Ю. Шерковін вважає, що навіювання – основний спосіб організації громадської думки та маніпулювання свідомістю, пряме вторгнення в психічне життя людей. При цьому інформаційний вплив організовується так, щоб думка, уявлення, образ безпосередньо входили у сферу свідомості й закріплювалися в ній як щось беззаперечно доведене. Це стає можливим при підміні активного відношення психіки до предмета комунікації навмисно створеною пасивністю сприйняття, що так властиво релігійним виданням [3].

Сугестивні технології особливо ефективні в Інтернеті з певних причин: висока довіра до неофіційних ресурсів мережі; залучення аудиторії до інформації надією розв'язати будь-які проблеми; формування мережевих співтовариств на основі емпатії (співчуття).

Сугестивні технології в Інтернеті націлені на масовий результат. Їх об'єктом найчастіше виступає соціальна мережа – співтовариство постійних користувачів певного мережевого ресурсу, “коло своїх”, об'єднаних єдиними нормами й спільністю цілей комунікації.

Сугестивний вплив на мережеві співтовариства може спонукати їх представників до певних дій. “Навіювання й самонавіювання ... підсилює почуття й прагнення, піднімаючи до надзвичайного ступеня активність народних мас... Не підлягає ніякому сумніву, що психічний мікроб у відомих випадках виявляється не менш згубним, ніж фізичний мікроб, спонукаючи народи на сприйнятливий до того основи до спустошливих війн і взаємознищення, збуджуючи релігійні епідемії. ...проте, навіювання в інших випадках... сприяє захопленню народів як єдиного цілого до

найбільших подвигів, що залишають найвищою мірою яскравий і величний відбиток в історії народів”[4].

Щоб результативно впливати на людину, сугестивні технології в Інтернеті ґрунтуються на значущих мотивах і потребах людини. За А.Маслоу, це початкові потреби – у захищеності, визнанні, задоволенні фізичних потреб.

Насамперед сугестивному впливу найбільш піддана аудиторія, що прагне розв’язати певні проблеми:

люди активно шукають інформацію про проблему, що стосується їх, і фіксують інформацію, яка пропонує порятунок від проблеми;

сила сугестивного впливу визначається ступенем віри людей у те, що існують перешкоди, які обмежують їх спроможність реалізувати плани [5].

Децентралізований характер Інтернет-ресурсів полегшує маніпулювання громадською думкою як усередині країн, так і в глобальному масштабі.

Сучасні приклади сугестивного впливу на соціум в глобальній мережі Інтернет показують, що маніпулювання свідомістю здійснюється шляхом пропаганди, дезінформації та перекручування фактів:

більшість російських телеканалів стверджували, що був масовий виїзд громадян України до Російської Федерації. Підтвердження цього факту не вдало проілюстрували фотографіями і відео з польського прикордонного переходу з Україною;

відео з Сирії представлялося як відео збитого українського вертольота над Донецьком;

відео артилерійських навчань з використанням систем “Град” в Росії було представлено в Twitter як зображення українських військових, які, нібито, використовували “Град” проти мирних жителів Донбасу. Насправді це бойовики намагалися обстріляти мирне місто Добропілля з установок Град, поставлених російськими військовими [6].

Організація мітингів через соціальні мережі, які формуються за 10–20 хв., є ознакою розумного натопту і може назбирати більше 500 тис. учасників. Прикладом цього є шопінг-бунти у Великобританії, які теж організовувалися через соціальні мережі. Віртуальний світ став реальністю без якого суспільству важко обійтися. Сьогодні в мережі “Інтернет” широко використовуються емоційно-забарвлені елементи для прихованого та явного впливу на аудиторію. Тонально забарвлені матеріали сприймаються краще, ніж офіційна інформація. Причому факти, обрамлені негативом, більшою мірою викликають бажання до дій. Сприйняття відомостей припиняється, або навіть повністю обмежується після прочитання яскравої, емоційно забарвленої статті [7].

Варто виділити ключові аспекти сугестивного маніпулятивного впливу на свідомість людини в

Інтернеті:

трансляція думок – опитування кількох людей, думка яких узагальнюється і нібито приєднується до мільйонів співгромадян. Природно, при цьому головним стає думка про політичні переваги в матеріалі журналіста (зустрічаються на сайтах інформаційних агентств, офіційних сторінках міністерств, сайтах телеканалів тощо);

фальсифікація – можливі кілька варіантів подачі інформації. Наприклад, на виборах, думка, що сприятлива кандидату, ховається в негативній атмосфері всього репортажу і стає непомітною. Ще один варіант (протилежний) – небажана чи негативна інформація приховується, замість неї формується позитивний образ об’єкта, про який іде мова;

багаторазові повтори – це метод маніпулювання свідомістю, заснований на повторенні неправди в такій кількості, що в підсумку глядачі починають в неї вірити (масові репортажі одного і того ж самого сюжету на різних ресурсах Інтернету) [8].

Ще одним із методів сугестивного маніпулятивного впливу в Інтернеті є висвітлення неправдивих подій, що не відбувалися насправді, але подаються як факт, що відбувся. Такі “новини” часто висвітлює “жовта преса” не лише в своїх друкованих виданнях, але і на сторінках різних інтернет-ресурсів. При цьому розрахунок робиться на те, що коли людина не має доступу до об’єктивної інформації, то цілком вірить тому, що читає або бачить без аналізу чи зіставлення та порівняння фактів.

### **Висновки й перспективи подальших досліджень**

Сугестивний маніпулятивний вплив найбільш ефективно здійснюється серед тих мережевих співтовариств, де інтерактивні відносини налаштовані на довіру, симпатію, співчуття й розуміння, що знижує рівень критичності в сприйнятті інформації. Зокрема сугестивні технології в Інтернеті націлені на масовий результат. Їх об’єктом найчастіше виступає соціальна мережа – співтовариство постійних користувачів певного мережевого ресурсу, “коло своїх”, об’єднаних спільними нормами й цілями комунікації. Здатність доносити будь-які відомості до мільярдів людей за лічені секунди робить мережу Інтернет унікальним механізмом ПСВ на населення. В багатьох ситуаціях сьогодні використовується дезінформація. По-перше, дезінформація подається, як правило, з різних джерел і западає в підсвідомість людини, а по-друге, дезінформація використовується в момент прийняття якогось важливого рішення, і коли стане відома правда – мета дезінформації вже буде досягнута.

Тому для ефективною протидії маніпулятивним технологіям необхідно сприймати інформацію виважено та усвідомлено, а також здійснювати її аналіз шляхом зіставлення окремих фактів і подій, тобто пропускати її через свій морально-семантичний фільтр.

### Література

1. Грачев Г. В. Манипулирование личностью / Г. В. Грачев, И. К. Мельник. – М.: Алгоритм, 2002. – 72 с.
2. Сугестивні технології маніпулятивного впливу: навч. посіб / В. М. Петрик, М. М. Присяжнюк, Л. Ф. Компанцева, О. Д. Бойко, В. В. Остроухов / заг. Ред. Є. Д. Скулиша. – К.: ВІПОЛ, 2011. – 248 с.
3. Сугестивні технології маніпулятивного впливу: навч. посіб / [В. М. Петрик, М. М. Присяжнюк, Л. Ф. Компанцева та ін.]. – К.: ВІПОЛ, 2011. – 248 с.
4. Бехтерев В. Внушение и его роль в общественной жизни. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.psylib.org.ua/books/behtv01/index.htm>.
5. Горошко Е. И. Информационно-коммуникативное общество в гендерном измерении: монография / Е. И. Горошко – Х.: ФЛП Либуркина Л.М., 2009. – 816 с.
6. Джулия Дэвис // АРГУМЕНТ // 40 лживых “фактов” путинской пропаганды, направленной против Украины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://argumentua.com>.
7. Почепцов Г. Г. Медиа: теория массовых коммуникаций / Г. Г. Почепцов – К.: Альтерпрес, 2008. – 403 с.
8. Карпчук Н. П. Маніпулятивні технології в рекламі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nvvnv/misnarod\\_vidnos/2009\\_11/R2/Karpchuk.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nvvnv/misnarod_vidnos/2009_11/R2/Karpchuk.pdf).

### ИНТЕРНЕТ КАК НОВАЯ СРЕДА СУГГЕСТИВНОГО МАНИПУЛЯТИВНОГО ВЛИЯНИЯ

Николай Николаевич Присяжнюк (канд. техн. наук, с.н.с.)  
Александр Сергеевич Шимчук

Учебно-научный институт информационной безопасности НА СБ Украины, Киев, Украина

В статье исследуются особенности сети Интернет как новой среды для осуществления манипулирования сознанием, раскрывается понятие и сущность суггестии, проводится анализ технологий суггестивного манипулятивного влияния в социальных сетях Интернета. Раскрываются особенности эффективного применения суггестивных технологий в Интернете, к которым относятся: высокое доверие к неофициальным ресурсам сети; привлечение к информации аудитории надеждой развязать любые проблемы; формирование сетевых содружеств на основе эмпатии (сочувствия). На основе анализа научной литературы относительно манипулирования сознанием человека представляется повтор соответствующих тем, совокупность которых сводится к таким группам, как операция информацией; скрытие манипулятивного влияния; средства принуждения, применения силы; мишени влияния; роботизация, которые определяются как методы манипулирования сознанием человека. Раскрываются понятия механизмов: вербального влияния через осознанное восприятие информации, что является своеобразным морально семантическим фильтром человека и невербального информационного влияния через подсознание, которое может программироваться внешним, неконтролируемым человеком информационным влиянием.

**Ключевые слова:** Интернет; сознание; подсознание; манипулятивное влияние; суггестия; морально семантический фильтр.

### THE INTERNET AS THE NEW ENVIRONMENT OF THE SUGGESTIVE MANIPULATIVE INFLUENCE

Mykola M. Prysiazhniuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)  
Oleksandr S. Shymchuk

Educational and Research Institute of Information Security at Security Service of Ukraine, Kyiv, Ukraine

In the article the features of network are probed the Internet as a new environment for realization of manipulation consciousness, a concept and essence of suggestion opens up, analysis of technologies suggestive manipulative influence is conducted in the social networks of the Internet. The features of effective application of suggestive technologies on the Internet, which include: high trust to the unofficial resources of network; bringing in to information of audience formation of network-based commonwealth of empathy (sympathy). On the basis of analysis of scientific literature in relation to manipulation consciousness of man repetition of the proper is shown to those the aggregate of which is taken to such groups, as an operation information; hiding manipulative influence; facilities of compulsion, applications of force; targets of influence; robotization, which are defined as methods of manipulating human consciousness. The concepts of mechanisms open up: verbal influence through the realized perception of information, which is original morally the semantic filter of man and influence of non-verbal information through the subconscious which can be programed an external, uncontrolled man by informative influence.

**Keywords:** Internet; consciousness; subconscious; manipulative influence; suggestion; moral semantic filter.

### References

1. Grachev G.V., Mel'nik I.K. (2002), Manipulation of personality. [Manipulirovanie lichnost'ju], Moscow, Algoritm, p. 72.
2. Petryk V.M., Prysiazhniuk M.M., Kompantseva L.F., Boiko O.D., Ostroukhov V.V. (2011), Suggestive technology of the manipulative influence: teach. Guidelines. [Suhestyvni tekhnologii manipulyativnoho vplyvu: navch. posib], zah. Red. Ye.D. Skulysha, Kyiv, VIPOL, p. 248.
3. Kompantseva L.F. (2013), Principles of suggestive linguistics in website communication. [Pryntsypp suhestyvnoi lnhvistyky v internetni komunikatsii], Filolohichni nauky, Knyha 3, pp. 13–20.
4. Behterev V. Vnushenie i ego rol' v obshhestvennoj zhizni. [Electronic resources], Access mode : <http://www.psylib.org.ua/books/behtv01/index.htm>.
5. Goroshko E.I. (2009), Information and communication society from a gender perspective: monograph. [Informacionno-kommunikativnoe obshchestvo v gendernom izmerenii: monografija], Kharkiv, FLP Liburkina L.M., p. 816.
6. Dzhuiliya Djevis, 40 lzhyvyh “faktov” putinskoj propagandy, napravlennoj protiv Ukrainy. ARGUMENT, [Electronic resource], Access mode: <http://argumentua.com>.
7. Pochepcov G.G. (2008), Media: Theory of mass communication. [Media: teorija massovyh kommunikacij], Kyiv, Al'terpres, p. 403.
8. Karpchuk N.P. Manipulative techniques in advertising [Electronic resource], Access mode: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nvvnv/misnarod\\_vidnos/2009\\_11/R2/Karpchuk.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/nvvnv/misnarod_vidnos/2009_11/R2/Karpchuk.pdf).

Отримано: 11.06.2015 року

<sup>1</sup>Вадим Іванович Слюсар (д-р техн. наук, професор)<sup>2</sup>Андрій Олександрович Зінченко (канд. техн. наук, с.н.с.)<sup>3</sup>Катерина Андріївна Зінченко<sup>1</sup>Військова частина А4566, Київ, Україна<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна<sup>3</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

## СИСТЕМА МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM ДЛЯ ПОТРЕБ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті визначена тенденція до створення об'єднаних платформ апаратних засобів радіочастотної та цифрової обробки сигналів для спільного вирішення комунікаційних і радіолокаційних завдань. Проведено аналіз розробок у галузі застосування системи мобільного зв'язку стандарту GSM для вирішення завдань радіолокаційного контролю повітряного простору. Досліджено застосування технології цифрового діаграмоутворення для виявлення повітряних цілей за допомогою системи мобільного зв'язку. Наведені результати досліджень верхньої межі радіовипромінювання стільникових систем зв'язку. Відповідні дослідження проводилися авторами під час звичайних рейсових польотів пасажирських авіалайнерів за допомогою смартфона iPhone 5S, в якому був ввімкнений режим супутникової навігації для визначення поточної висоти польоту та координат місцезнаходження. При цьому одночасно відслідковувалася індикація на дисплеї смартфона наявності зв'язку з наземними стільниковими базовими станціями відповідного для тієї чи іншої місцевості оператора комунікаційних послуг. Обґрунтовано створення системи контролю повітряного простору для потреб спеціальних користувачів України на основі існуючих GSM мереж.

**Ключові слова:** стільникова система зв'язку; цифрова обробка сигналів; цифрова антенна решітка; радіолокація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На нинішньому етапі технологічного розвитку суттєво зросла спорідненість радіоархітектури радіолокаційних та бездротових технологій зв'язку. Діапазон частот систем зв'язку перемістився до величин, які традиційно використовувались в радіолокації. Все більше апаратних засобів замінюється цифровою обробкою сигналів. Таким чином, створення інтегрованих засобів радіочастотної та цифрової обробки сигналів для вирішення комунікаційних і радіолокаційних завдань могло б стати досить логічним кроком у розвитку сучасних інформаційних технологій. Така об'єднана система надала б нові, унікальні можливості для інформаційного забезпечення військ. Зокрема, використання спільних електромагнітних сигналів для зв'язку та радіолокації дозволить ефективно задіяти відведені частотні діапазони, подолати обмеженість спектрального ресурсу, зменшити проблеми електромагнітної сумісності радіозасобів на полі бою.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проведемо аналіз відповідних закордонних проектів радарно-комунікаційних систем. Ретельний пошук у мережі Інтернет дозволив встановити той факт, що бібліографія публікацій на тему радарно-комунікаційних систем сьогодні є досить чисельною. Це підтверджує актуальність

обраного напрямку досліджень та його відповідність передовим досягненням світової науки і техніки.

Історичні корені створення інтегрованих радарно-комунікаційних систем беруть свій початок з випробувань системи зв'язку Попова О.С. між крейсером "Африка" та транспортом "Європа" влітку 1897 року у Кронштадтській гавані, під час яких асистент Рибкін П.М. виявив ефект відбиття сигналів зв'язку від корабля, що проходив між передавачем та приймальним пристроєм [4]. Цей ефект заклав підвалини для створення в подальшому радіолокаційних засобів, а фактично - засвідчив можливість застосовувати засоби та сигнали зв'язку для локації цілей.

Серед найбільш характерних сучасних прикладів практичної реалізації ідеї інтеграції технологій радіолокації та зв'язку, перш за все, необхідно вказати широко поширену функцію визначення місцезнаходження абонентів мобільного зв'язку у стільниковій мережі на основі методів пасивної локації. Подальшим розвитком такого підходу є застосування сигналів мобільного стільникового зв'язку для локації засобів повітряного нападу.

**Метою** даної статті є проведення аналізу наукових досліджень у галузі використання сигналів мобільного зв'язку стандарту GSM для виконання радіолокаційних завдань.

## Викладення основного матеріалу дослідження

Інформаційні системи, що забезпечують реалізацію функцій радіолокації та зв'язку на єдиній платформі апаратних засобів з єдиним набором сигналів, отримали за кордоном назву радарно-комунікаційних [1]. Найбільш простий шлях створення таких систем - це застосування системи мобільного зв'язку стандарту GSM (Global System for Mobile communications) в інтересах виконання радіолокаційних завдань. Не зважаючи на застарілість технології GSM, на сайті цифрової бібліотеки IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) продовжують з'являтися публікації з питань застосування таких сигналів для селекції повітряних і наземних цілей. За ключовим словосполученням "GSM based radar" в електронній бібліотеці IEEE можна виявити близько 30 публікацій, з яких більше половини (18) припадає на період з 2011 по 2014 роки включно. Серед них заслуговують на увагу роботи [2, 3].

Якщо ставити за мету розгляд історії розвитку методів виявлення повітряних цілей за допомогою стільникових комунікацій, то слід, перш за все, звернути увагу на публікації [5 – 7]. В них наведено відповідну концепцію виявлення повітряних цілей, запропоновану у 2001 р. британською компанією Roke Manor Research, що на той час була дочірньою структурою "Сіменс". Для зондування повітряного простору в концепції, яка отримала назву CELLDAR (cell phone radar), використовувались сигнали стільникової мережі мобільного зв'язку GSM, що випромінювалися кількома базовими станціями (БС), координати яких відомі з високою точністю. У межах відповідного демонстраційного проекту була розроблена спеціальна апаратура прийому сигналів базових станцій, які відбиваються від повітряних цілей. Визначення місцезнаходження повітряних об'єктів реалізовувалося шляхом розрахунку різниці фаз сигналів від кількох базових станцій з відомими координатами (рис. 1). В липні 2002 р. до практичної реалізації концепції CELLDAR приєдналася британська компанія BAЕ System [6], участь якої у проекті була спрямована на застосування в системі CELLDAR замість директорних антен фазованих антенних решіток. На жаль, подальшу інформацію у відкритих джерелах про серййне втілення цих намірів виявити не вдалося, хоча публікації стосовно результатів експериментальних досліджень досить поширені.

Слід зауважити, що до недавнього часу вважалося, нібито антенні системи засобів стільникового зв'язку мають бути спеціально зорієнтовані з нахилом до землі, щоб запобігти опроміненню повітряного простору і зосередити максимальну енергетику сигналів у приземному середовищі.

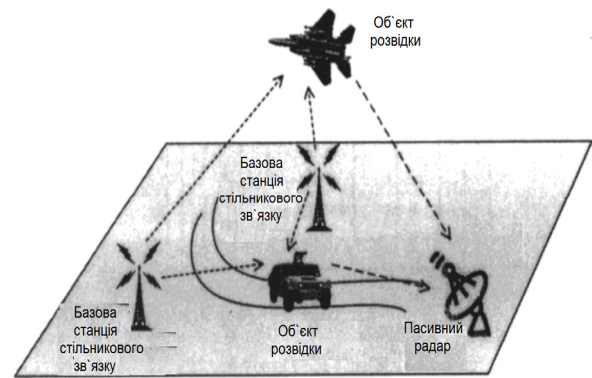


Рис. 1. Принцип системи CELLDAR [7].

Прикладом реалізації таких вимог став канадський патент [8], в якому запропоновано пірамідальні антенні решітки, обернені догори основою (рис. 2), що дозволяє притиснути до земної поверхні діаграми направленості антенних секцій, розташованих на гранях піраміди

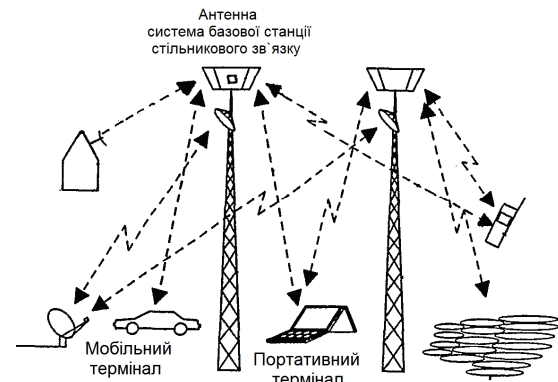


Рис. 2. Варіант використання пірамідальних конструкцій антен на базових станціях стільникового зв'язку [8]

Однак, аналіз фактичного стану справ щодо охоплення випромінюванням стільникових систем зв'язку повітряного простору свідчить про наявність протилежних ефектів. Відповідні дослідження проводилися авторами під час звичайних рейсових польотів пасажирських авіалайнерів за допомогою смартфона iPhone 5S, в якому був ввімкнений режим супутникової навігації GPS для визначення поточної висоти польоту та координат місцезнаходження. При цьому одночасно відслідковувалася індикація на дисплеї смартфона наявності зв'язку з наземними стільниковими базовими станціями відповідного для тієї чи іншої місцевості оператора комунікаційних послуг. Зокрема, 20 листопада 2014 року при підльоті до м. Амстердам під час рейсу з м. Брюссель був виявлений сталий зв'язок в мережі оператора Vodafone NL на висотах 2060 - 2100 м під час руху над водною поверхнею на траверсі міст Гаага, Катвік та у районі з координатами 52,31° північної широти та 4,46° східної довготи (Нідерланди).

Того ж дня після вильоту з аеродрому м. Амстердам у східному напрямку отримання сигналів від базових станцій зв'язку оператора

Vodafone NL спостерігалось до висоти 2300 м. Потім зв'язок зникав, щоб відновитися на висоті 3300 м в районі містечка Bunschoten-Spakenburg, далі знову наступала перерва до досягнення висоти 4300 м, на якій зв'язок тимчасово поновлювався. Аналогічні дискретні зони існування зв'язку були виявлені раніше в районі Брюсселя на висоті до 1600 м, при прольоті над м. Л'єж (Бельгія) - на висоті 1100 м, а також при заході на посадку в аеропорт Мюнхена (на висоті понад 3 км) та Шарль-де-Голь поблизу Парижу (на висоті 1600 м).

Іншим разом, під час польоту рейсом Амстердам – Київ 5 березня 2015 р., зв'язок з оператором KPN NL тривав до висоти 1,5 км після злету з аеропорта Скіпхол (Schiphol, Амстердам). Далі з'являвся зв'язок з оператором T-Mobile NL, який був сталим до висоти 3400 м і зникав між озером Loosdrechtse Plassen та містечком Hilversum, що знаходяться на північ від міста Утрехт на відстані 80 - 85 км від аеропорту Скіпхол. Того ж разу був зафіксований рекорд по максимальній висоті зв'язку (7787 м за даними GPS), який був виявлений над селищем Radio Kootwijk (52°10'35" північної широти та 5°49'57" східної довготи) у мережі вже згаданого оператора KPN NL. При цьому індикатор потужності на дисплеї смартфона показував дві позначки з п'яти можливих, що дозволяє сподіватись на можливість існування зв'язку у цьому районі на висотах від 8 до 8,5 км. Дійсно, в подальшому на висоті 8737 м, при польоті над селищем Brummen та містечком Зютфен (Zuthphen) (52,12127° північної широти та 6,13° східної довготи) смартфон переходив у режим пошуку сигналу базової станції, в якому він знаходився до висоти 8800 м на схід від Зютфен (Zuthphen) (270-280 км на схід від м. Утрехт). Такий режим автоматично вмикається, коли сигнал зв'язку досить на короткий час перевищує пороговий рівень чутливості приймача смартфона. Наразі неможливо вказати, з якою метою оператор KPN NL забезпечує зв'язок на таких висотах. Можливо це якимось пов'язано з функціонуванням в 40 км на південь від Radio Kootwijk військової авіабази Deelen, або ж експериментами з відпрацювання технологій виявлення повітряних цілей за допомогою авіалайнерів, що інтенсивно літають відповідним повітряним коридором.

Суттєво, що гіпотеза щодо можливості функціонування зв'язку на висотах понад 8 км в указаному регіоні була підтверджена 11 червня 2015 р. під час польоту вечірнім рейсом Амстердам – Київ. Цього разу послуги зв'язку надавалися оператором T-mobile NL. Стійкий зв'язок фіксувався на трасі Weesp (2200 м), Ermelo, Putten та Nijkerk (понад 4900 м). Далі він обривався й був відновлений при підльоті до міста Almeo. Зокрема, о 21 год. 23 хв. за місцевим часом зв'язок спостерігався на висоті 8269 м над Hellendoorn, потім – на 8538 м над Wierden. Під час прольоту над містом Almeo надання послуг мобільного зв'язку T-mobile NL тривало на 8781 м

- 8874 м й було припинено лише при досягненні рекордної за весь час спостережень висоти 8905 м. Суттєво, що швидкість руху літака становила 850 км/год., що свідчить про значний потенціал технології GSM.

Аналогічні результати були зафіксовані також на ранковому рейсі Амстердам – Київ 20 червня 2015 р., що свідчить про незалежність описаних фактів від часу доби. Зокрема, оператор T-mobile NL надавав свої послуги на висоті 3800 м в районі вже згаданого містечка Hilversum, а також при прольоті того ж таки Nijkerk (4500 м) і далі, аж до досягнення літаком висоти 6500 м. Після зникання зв'язку його стійке поновлення відбулося на висоті 8202 м над м. Deventer. Оскільки того разу м. Almeo знаходилось в стороні від маршруту, проліт повз нього на висоті 8500 м супроводжувався відсутністю роумінгу. Цей факт свідчить про досить спрямоване випромінювання сигналів GSM й значну просторову локалізацію висотних аномалій у покритті.

Не є винятком з наявності висотного стільникового зв'язку і м. Київ та його околиці. Зокрема, над м. Бровари в мережі МТС сигнали зв'язку мінімальної потужності отримуються в окремих районах на висоті більше 1400 м. Більш висотне сигнальне поле виявлено над самим м. Київ. Зокрема, уздовж вул. Бориспільської до залізничної станції Дарниця, в районі вул. Празької та Червоноткацької, - на віддаленні 3000-3100 м від земної поверхні, а іншого разу – на висоті 3500 м. Під час прольоту в районі проспекту Перемоги, Шулявки та до самого селища Буча в мережі МТС iPhone 5S фіксував сигнали на висоті близько 5200 м. Потім прийом сигналів мережі МТС припинявся і тимчасово відновлювався лише в районі на північ від селища Макарів, поблизу с. Жданівка, де висота літака перевищувала 5300 м. В тому ж таки районі іншого разу смартфон переходив на пошук сигналу базової станції на висоті 6200 м. Однак найбільш результативним виявився політ 20 квітня 2015 р. рейсом Київ - Амстердам, коли на інтервалі часу від 10 годин 18 хв. до 10 годин 20 хв. в районі на північ від Радомишля було зафіксовано стійкий зв'язок у мережі МТС на висоті 7337 м над селищем Кодри, на висоті 7735 м – над північною околицею с. Городок та на висоті 7910 м - над селищем Вишевичі. Такі показники становлять абсолютний рекорд для території України.

8 червня 2015 р. зв'язок з МТС мав місце при прольоті над південною околицею м. Києва на висоті 3800-3900 м в районах Лісники, Хотів, при перетині Столичного та Дніпропетровського шосе. 16 червня 2015 р. зв'язок з МТС був виявлений при прольоті на висоті 4700 м над Коцюбинським.

Таким чином, наведені факти свідчать про можливість застосування сигналів зв'язку для селекції повітряних цілей на значних висотах (до 3 км і вище), там де існує відповідне сигнальне поле, яке до речі може бути створене спеціально.

В [9] описано комплекс багатопозиційної рознесеної радіолокаційної системи напівактивної локації “Рубіж”, що спирається на застосування сигналів мережі GSM для виявлення факту прольоту повітряних об’єктів через певні просторові рубежі (рис. 3).

Основні характеристики системи, за

твердженням [9], були перевірені серією практичних експериментів з виявлення маловисотних цілей, проведених ВАТ “НПП “Кант” при сприянні ВАТ “Радіотехнічний інститут ім. академіка А. Л. Мінца” і участі співробітників ВА ВКО ім. Г. К. Жукова (Росія)

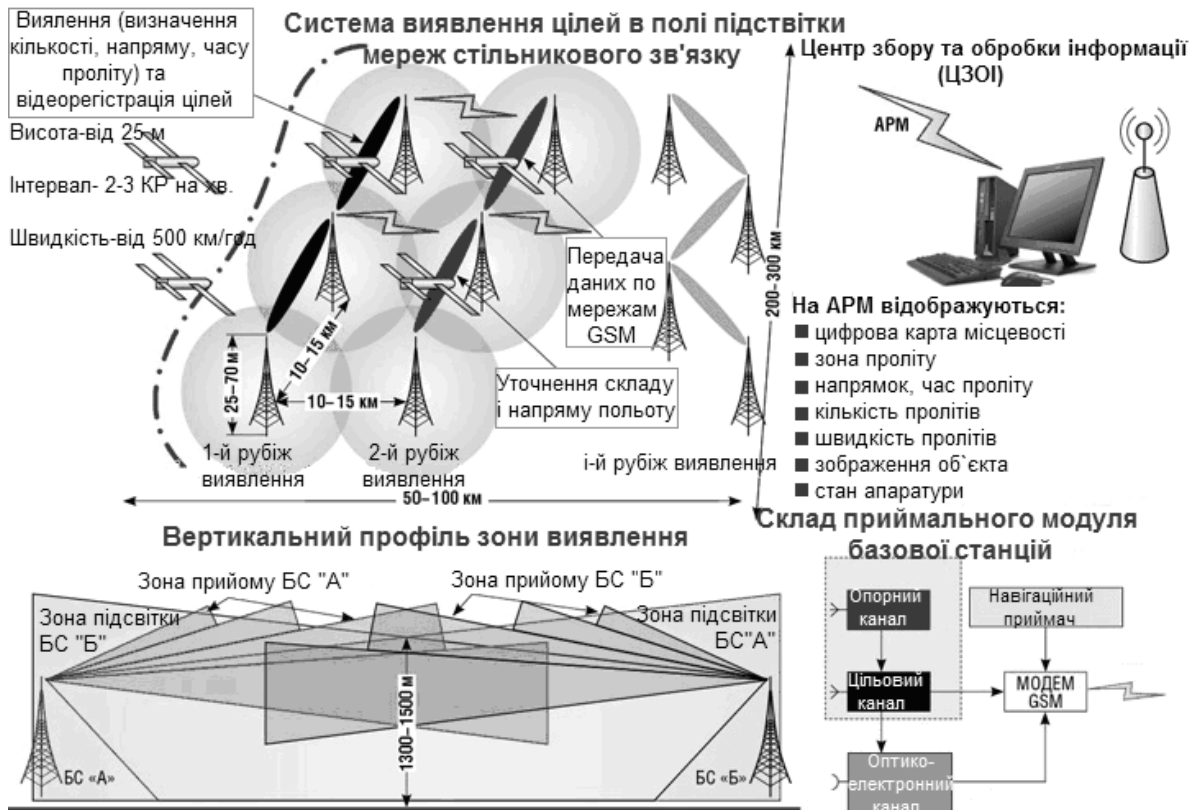


Рис. 3. Принцип виявлення повітряних цілей по сигналах мережі стільникового зв'язку, запропонований в [9].

Результати випробувань [9] підтвердили перспективність застосування систем маловисотної напівактивної локації цілей у полі підсвічування БС систем стільникового зв'язку стандарту GSM. Конфігурація існуючої мережі стільникового зв'язку дозволяє здійснювати гнучкий моніторинг маловисотного повітряного й приземного простору у полі підсвічування БС мережі GSM зв'язку в прикордонній смузі. Наприклад, згідно з [9], поле підсвічування базових станцій з просторовим рознесенням між БС в 35 км і потужністю випромінювання від 100 Вт здатне забезпечити виявлення маловисотних аеродинамічних цілей з ЕПР 1 м<sup>2</sup> в “просвічуваній зоні” з ймовірністю правильного виявлення 0,7 та ймовірністю хибної тривоги 10<sup>-4</sup>. При цьому кількість супроводжуваних цілей визначається лише можливостями обчислювальних засобів, а типова зона виявлення за висотою сягає 1500 м.

В патенті України [10] з датою пріоритету від 12 листопада 2002 р. було запропоновано застосування технології цифрових антенних решіток (ЦАР) (рис. 4) для виявлення повітряних об’єктів по сигналах стільникового зв'язку 3-го та 4-го покоління.

При цьому над сигналами БС в кожному з

приймальних каналів ЦАР здійснюють аналого-цифрове перетворення, що дозволяє формувати діаграму спрямованості антенної решітки цифровим способом. Згідно з описом патенту [10], прийом сигналів, відбитих від повітряних цілей, реалізується за допомогою групи БС, які розташовані уздовж очікуваного напрямку прольоту цілей. В подальшому центри комутації мобільного зв'язку (ЦКМЗ) тих груп БС, де відбулося виявлення повітряних об’єктів, надсилають цільові вказання ЦКМЗ іншим групам БС, зона опромінювання яких, за розрахунками, знаходиться на очікуваних напрямках руху цілей, а також надають інформацію про виявлені повітряні цілі до центрального пункту управління (ЦПУ) системи радіолокаційного контролю повітряного простору. Зазначені ЦПУ можуть бути суміщені із центром управління мобільного зв'язку (ЦУМЗ). Для визначення координат цілей застосовують надрелейське розділення їх сигналів. У разі наявності активних завад, для їх компенсації на БС застосовують адаптивне формування “нулів” цифрової діаграми спрямованості ЦАР.

Згодом, ідея застосування технології цифрового діаграмоутворення для виявлення



повітряних цілей за допомогою системи мобільного зв'язку знайшла прихильників і в Сингапурі, в Технологічному університеті м. Нан'янг (Nanyang) [7]. У 2003 р. з'явилася перша публікація його

співробітників за відповідним науковим напрямом [11]. В ній було розглянуто 2-елементу ЦАР зі структурою, наведеною на рис. 5 [11].

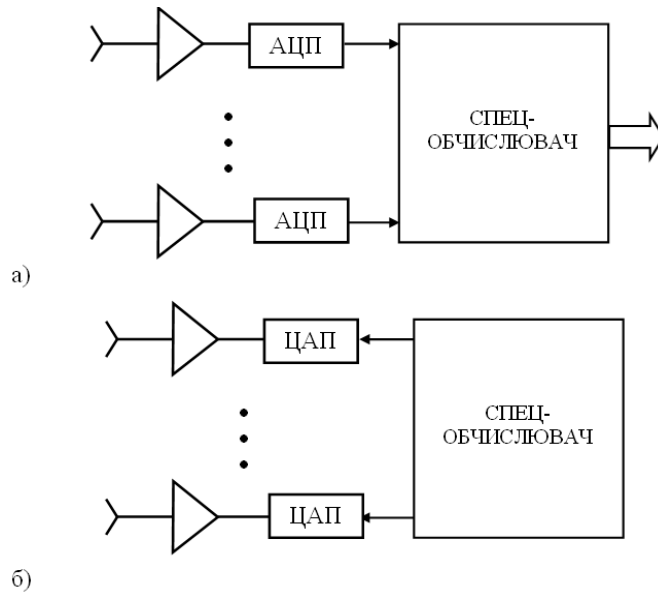


Рис. 4. Структурна схема приймальної (а) та передавальної (б) ЦАР [10].

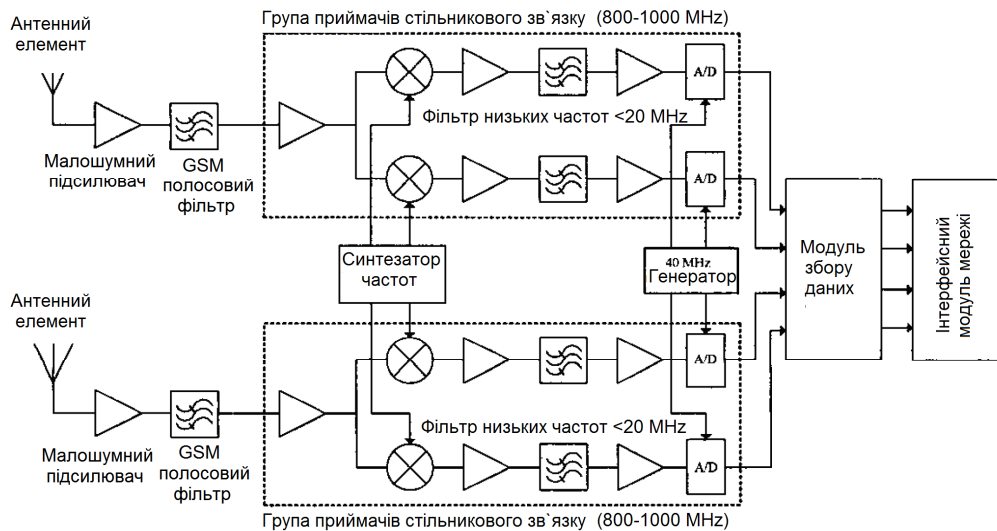


Рис. 5. Структурна схема 2-елементної приймальної ЦАР [11].

В подальшому накопичений досвід дозволив фахівцям з Сингапургу перейти до 4-канальної версії цифрового діаграмоутворення (digital

beamforming) з обробкою сигналів у послідовності, відображених на рис. 6 [7].

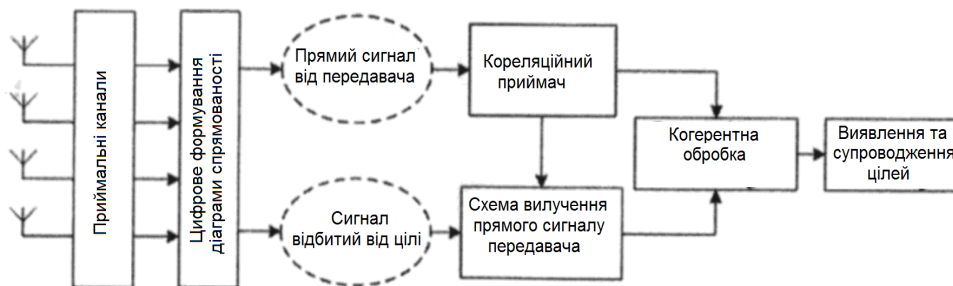


Рис. 6. Приймальна система 4-канальною ЦАР для виявлення повітряних цілей за сигналами мережі стільникового зв'язку [7].



## Висновки й перспективи подальших досліджень

Відсутність в Україні технічної можливості через ресурсну обмеженість та складний рельєф території щодо створення єдиного радіолокаційного поля, особливо на малих висотах, широке застосування останнім часом безпілотних літальних апаратів різного призначення, ставить у розряд пріоритетних розробки у галузі створення додаткової системи контролю повітряного простору України на базі

системи стаціонарного стільникового зв'язку стандарту GSM. Створення такої системи не буде потребувати заміни апаратної частини та значних коштів і зведеться до модернізації програмних засобів на основі алгоритмів специфічної цифрової обробки сигналів. Напрямок подальших досліджень можливо вважати розробку методів цифрової обробки інтегрованих систем телекомунікації та радіолокації, у тому числі і для стаціонарних систем стільникового зв'язку стандарту GSM та LTE.

## Література

1. Christian Sturm, Werner Wiesbeck. Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing.// Proceedings of the IEEE / Vol. 99, No. 7, July 2011. – pp. 1236–1269.  
2. R. Zemmari, B. Knoedler, U. Nickel. GSM passive coherent location: improving range resolution by mismatched filtering.// 2013 IEEE Radar Conference (RadarCon13). – April 29 -May 3 2013. – pp. 1–6.  
3. Reda Zemmari, Martina Broetje, Giulia Battistello, Ulrich Nickel. GSM passive coherent location system: performance prediction and measurement evaluation.// IET Radar Sonar Navig., 2014, Vol. 8, Iss. 2, pp. 94–105.  
4. Васильев В. Ф., Попов А. С., Рыбкин П. Н. Отчет комиссии Главного морского штаба об опытах электрической сигнализации без проводников, произведенных на Минном отряде в кампанию 1897 г. – 2 декабря 1897.  
5. Горелов А. Применение передатчиков телефонной мобильной связи в радиолокации. – Москва: Сообщения, события, факты – Зарубежное военное обозрение – 2001. – № 2.  
6. Радар из сотового телефона. //Электроника: НТБ. – 2002. – № 5. – С. 30.  
7. Hongbo Sun; Tan, D.K.P.; Yilong Lu; Lesturgie, M. Applications of passive surveillance radar system using cell phone base station illuminators.// IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Volume:25 ,

Issue: 3. Marz, 2010. – Pp. 10 - 18.  
8. Canadian Patent № 2434219. H01Q 1/24, H01Q 3/26, H01Q 25/00, H04B 7/04, H04Q 7/20, H04Q 7/30, H04Q 7/36 (2006.01). Multiple basestation communication system having adaptive antennas.// Chang, Donald C. D. (United States of America), Lim, Wah L. (United States of America), Chang, Ming U. (United States of America). - Filing Date: 2002-01-11. - Publication Date: 2007-08-14. - <http://brevets-patents.ic.gc.ca>.  
9. Демидюк Андрей, Демидюк Евгений. Скрытый “Рубеж” воздушного контроля. Новые решения старых проблем маловысотной локации. // Еженедельник “Военно-промышленный курьер”. - № 45 (513), 20 ноября 2013 года. - <http://vpk-news.ru/articles/18242>.  
10. Слюсар В. І., Тітов І. В. Патент України № 56922А. МПК8 G01S13/02, G01S13/06, G01S13/48, G01S13/74, G01S13/86, G01S13/87. Спосіб виявлення повітряних цілей за допомогою системи стільникового зв'язку. – Заявка № 2002119018, дата пріоритету 12.11.2002. – Опубл. 15.05.2003, бюл. № 5/2003.  
11. Hongbo Sun; Tan, D.K.P.; Lu, Y. Design and implementation of an experimental GSM based passive radar.// Proceedings of the International Radar Conference, 2003, 3-5 Sept. 2003. – pp. 418 – 422.

## СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА GSM ДЛЯ НУЖД РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

<sup>1</sup>Вадим Иванович Слюсар (д-р техн. наук, профессор)

<sup>2</sup>Андрей Александрович Зинченко (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>3</sup>Екатерина Андреевна Зинченко

<sup>1</sup>Воинская часть А4566, Киев, Украина

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

<sup>3</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

В статье определена тенденция к созданию объединенных платформ аппаратных средств радиочастотной и цифровой обработки сигналов для совместного решения коммуникационных и радиолокационных задач. Проведен анализ разработок в области применения системы мобильной связи стандарта GSM для решения задач радиолокационного контроля воздушного пространства. Исследовано применение технологии цифрового диаграммирования для обнаружения воздушных целей с помощью системы мобильной связи. Приведены результаты исследований верхней границы радиоизлучения сотовых систем связи. Соответствующие исследования проводились авторами во время обычных рейсовых полетов пассажирских авиалайнеров с помощью смартфона iPhone 5S, в котором был включен режим спутниковой навигации для определения текущей высоты полета и координат местонахождения. При этом одновременно отслеживалась индикация на дисплее смартфона наличия связи с наземными сотовыми базовыми станциями подходящих для той или иной местности оператора коммуникационных услуг. Обосновано создание системы контроля воздушного пространства для нужд специальных пользователей Украины на основе существующих GSM сетей.

**Ключевые слова:** сотовая система связи; цифровая обработка сигналов; цифровая антенная решетка; радиолокация.

## THE GSM STANDARD MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM FOR AIRSPACE RADAR CONTROL NEEDS

<sup>1</sup>Vadym I. Sliusar (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>2</sup>Andrii O. Zinchenko (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)<sup>3</sup>Kateryna A. Zinchenko<sup>1</sup>Military unit A4566, Kyiv, Ukraine<sup>2</sup>National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine<sup>3</sup>Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine

In the article identified a tendency of combined platforms hardware tools radiofrequency and digital signal processing for general solution communication and radiolocation tasks. The analysis of developments in the application of mobile communication of GSM standard to solving problems for airspace radar control. An analysis of developments in the area of the use of mobile communication GSM standard for solving problems of radiolocation control of airspace were made. Investigated the use of digital technology of beam forming to detect air targets with the help of mobile communication systems. Presented the results of research upper limit radio emission cellular communication systems. Appropriate researches were made by the authors during an ordinary regular flights of passenger airliners, using smartphone iPhone 5S, which was switched on mode satellite navigation to determine the current flight altitude and location coordinates. At the same time on the display of smartphone was monitored indication of presence connection with terrestrial cellular base stations appropriate for that or another locality operator communication services. Substantiated creating air space control system for the needs of special users Ukraine based on existing GSM networks.

**Keywords:** cellular communication system; digital signal processing; digital antenna array; radiolocation.

## References

- Christian Sturm**, Werner Wiesbeck. Waveform Design and Signal Processing Aspects for Fusion of Wireless Communications and Radar Sensing.// Proceedings of the IEEE / Vol. 99, No. 7, July 2011. – pp. 1236–1269.
- R. Zemmari**, B. Knoedler, U. Nickel. GSM passive coherent location: improving range resolution by mismatched filtering.// 2013 IEEE Radar Conference (RadarCon13). - April 29 -May 3 2013. – pp. 1–6.
- Reda Zemmari**, Martina Broetje, Giulia Battistello, Ulrich Nickel. GSM passive coherent location system: performance prediction and measurement evaluation.// IET Radar Sonar Navig., 2014, Vol. 8, Iss. 2, pp. 94–105.
- Vasil'ev V. F.**, Popov A. S., Rybkin P. N. (1897), Report of the Commission of the Naval Staff of the experiments electrical signaling without wires produced at a mine squad in campaign 1897 - December 2, 1897. [Otchet komissii Glavnogo morskogo shtaba ob opytah jelektricheskoy signalizacii bez provodnikov, proizvedennyh na Minnom otrjade v kampaniju 1897 g. – 2 dekabrja 1897]
- Gorelov A.**, (2001), Use of mobile phone transmitters in the radiolocation, [Primenenie peredatchikov telefonnoj mobil'noj svyazi v radiolokacii] Moscow, Sobshhenija, sobytija , fakty – Zarubezhnoe voennoe obozrenie, No. 2.
- Radar from a cell phone**, (2002), Jelektronika: NTB, No.5, 30 p.
- Hongbo Sun**; Tan, D.K.P.; Yilong Lu; Lesturgie, M. Applications of passive surveillance radar system using cell phone base station illuminators.// IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, Volume:25 , Issue: 3. Marz, 2010. – Pp. 10 - 18.
- Canadian Patent № 2434219**. H01Q 1/24, H01Q 3/26, H01Q 25/00, H04B 7/04, H04Q 7/20, H04Q 7/30, H04Q 7/36 (2006.01). Multiple basestation communication system having adaptive antennas.// Chang, Donald C. D. (United States of America), Lim, Wah L. (United States of America), Chang, Ming U. (United States of America). - Filing Date: 2002-01-11. - Publication Date: 2007-08-14. - <http://brevets-patents.ic.gc.ca>.
- Demidjuk Andrej**, Demidjuk Evgenij (2013), Hidden “Frontier” air control. New solutions to old problems low-altitude locations. [Skrytyj “Rubezh” vozdušnogo kontrolja. Novye reshenija staryh problem malovysotnoj lokacii], Ezhenedel'nik “Voennopromyshlennyj kur'er”, No. 45 (513), <http://vpk-news.ru/articles/18242>.
- Sliusar V. I., Titov I. V.** Patent of Ukraine № 56922A. MPK8. G01S13/02, G01S13/06, G01S13/48, G01S13/74, G01S13/86, G01S13/87. Method of detection of air targets by means of cellular communication. – The application number 2002119018, the priority date 12.11.2002. – published. 15.05.2003, bulletins № 5/2003.
- Hongbo Sun**; Tan, D.K.P.; Lu, Y. Design and implementation of an experimental GSM based passive radar.// Proceedings of the International Radar Conference, 2003, 3-5 Sept. 2003. – pp. 418 – 422.

Отримано: 14.06.2015 року

<sup>1</sup>Сергій Миколайович Чумаченко (д-р техн. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Сергій Леонідович Данилюк (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Київ, Україна

<sup>2</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна

## МЕТОД ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ВОЛЬТЕРІВСЬКИХ СИСТЕМ У ЗОНІ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ ЯК ЕЛЕМЕНТ НОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АДАПТИВНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Основною метою забезпечення екологічної безпеки діяльності Збройних Сил України є реалізація державної екологічної політики у військовій області, що забезпечує ефективне вирішення завдань Збройними Силами за мінімального впливу на навколишнє середовище. Одним з основних завдань забезпечення екологічної безпеки під час ведення бойових дій є захист навколишнього середовища.

Причини необхідності забезпечення екологічної безпеки діяльності Збройних Сил обумовлені наявністю чинників, що постійно діють і негативно впливають на навколишнє середовище, здоров'я особового складу та населення; несприятливою екологічною обстановкою в місцях дій військ і контролем її впливу на виконання завдань Збройними Силами.

З метою вирішення вищезазначених завдань, у статті розглянуто питання застосування методу імітаційного моделювання процесу спостереження Вольтерівських систем у зоні ведення бойових дій для підтримки прийняття рішень в адаптивній системі екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища.

**Ключові слова:** забруднення, моніторинг, екологічний стан, імітаційна модель, нелінійний спостерігач.

### Вступ

У сучасних умовах в Збройних Силах України існує розуміння необхідності розв'язання проблеми збереження навколишнього природного середовища в процесі повсякденного функціонування їх структурних складових: військово-промислових об'єктів; військово-технічних комплексів; військових підрозділів, частин, з'єднань разом із системами озброєння, військової техніки та життєзабезпечення. Не зменшуючи пріоритетність виконання завдань бойової підготовки, керівники військових колективів усіх рівнів узгоджують свою діяльність із природоохоронними заходами, також і в особливий період.

При цьому екологія війни як науковий напрямок і в понятійному розумінні, і в розумінні пріоритетності урахування її рекомендацій під час планування і ведення бойових дій локального та регіонального масштабу ще перебуває у початковій фазі свого вивчення.

### Постановка проблеми.

Воєнна екологія в широкому розумінні включає в себе військову екологію та екологію війни, а у вузькому – тільки екологію війни.

У сучасних умовах в арміях провідних країн світу найбільш розвинутою є гілка військової екології, де широко використовуються методи якісно-оціночного прогнозування екологічних

наслідків військової діяльності, розвинуті методи точних обчислень, але майже не розвинуто високоточні методи моніторингу й управління станом воєнно-техногенних об'єктів.

Саме це, в основному, обумовлює виникнення необхідності моделювання процесу спостереження за екологічною обстановкою в зоні ведення бойових дій.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Методи контролю за станом природного середовища розглянуті в [1]. Системи управління моніторингом розглянуті в [2]. Основи та методи ідентифікації систем розглянуті в [3–4]. Методи і показники оцінки та прогнозування стану екологічної безпеки військових полігонів розглянуті в [5].

**Мета статті.** Оцінити можливість екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища в зоні ведення бойових дій за допомогою методу імітаційного моделювання процесу спостереження Вольтерівських систем.

### Виклад основного матеріалу досліджень

На сьогодні досить повно теоретично і алгоритмічно (враховуючи і наявність комп'ютерного програмного забезпечення) розв'язані задачі спостереження за лінійними нестационарними (та ще в більшій мірі) стационарними системами [1, 2].

Базуючись на відомій структурі лінійного спостерігача, за аналогією побудуємо імітаційну модель нелінійного спостерігача за спеціальним класом систем, математичні моделі яких описують взаємодію видів хребтних біоценозу з внутрішньовидовою конкуренцією, що утворюють багаторівневі трофічні мережі. рис. 1.

Розв'язання задачі спостереження полягає в тому, щоб  $\Delta X = X - \hat{X} \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$  за рахунок вибору значень параметрів матриці  $H$ . Слід підкреслити, що попередньо необхідно розв'язати проблему спостережності системи, які в загальному випадку є окремою складною проблемою. На сьогодні цю проблему вирішують шляхом зведення нелінійної задачі до лінійної нестационарної із параметрами, що залежать від прогнозованого на поточний момент вектора стану системи або від виміряних (чи оцінених) значень вектора стану системи. Прогнозовані, виміряні (оцінені) значення вектора стану системи підставляють у вирази для обчислення коефіцієнтів лінеаризованої моделі [3, 4].

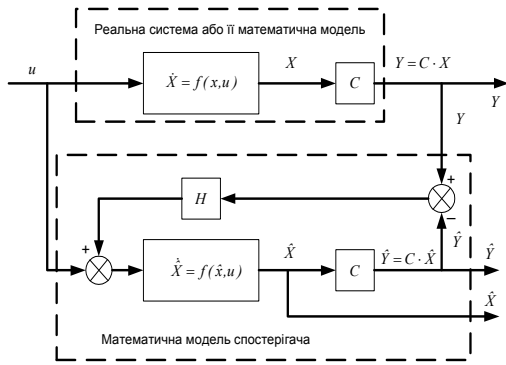


Рис. 1. Загальна схема імітаційного моделювання спостерігача

Скористаємось цим прийомом для обчислення параметрів матриць  $A, B$  системи  $\dot{X} = A \cdot X + B \cdot U$  за умови, що лінеаризація рівняння  $\dot{x} = f(x, u)$  відбулась поблизу точки стійкої рівноваги  $X$ .

Нелінійна система рівнянь, що описує взаємодію видів згідно трофічного оргграфу зооценозу соснових лісів, що відповідає соснякам мертвопокровним і сосновим лісам та рідколіссям із лишайниковим, зеленомоховим і сухотравно-ковилово-келерійовим наземним покривом військового полігону (ВП) "Дівички" (рис.1.), з урахуванням внутрішньовидової конкуренції має вигляд (1):

$$\begin{cases} \dot{X} = a \cdot X + b \cdot X + a \cdot X \cdot X + U; \\ \dot{X} = a \cdot X + b \cdot X + a \cdot X \cdot X + a \cdot X \cdot X + U. \end{cases} \quad (1)$$

$\dim[X] = n, i = \overline{1,16}$ ;  $U, (i = \overline{1,16})$  – зовнішній вплив, який можна розглядати як збурення, що породжує випадкові зміни чисельності популяції або штучний вплив, викликаний додатковим розселенням хребтних чи знищенням їх під час полювання чи військових навчань.

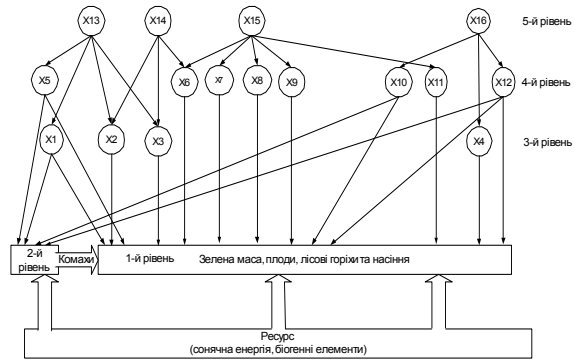


Рис. 2. Орграф трофічної мережі зооценозу соснових лісів ВП "Дівички", де  $X_1$  – ящірка зелена,  $X_2$  – полівка звичайна,  $X_3$  – миша лісова,  $X_4$  – білка,  $X_5$  – сумарна щільність комахоїдних птахів,  $X_6$  – заєць сірий,  $X_7$  – косуля європейська,  $X_8$  – лось,  $X_9$  – олень шляхетний,  $X_{10}$  – дятел звичайний,  $X_{11}$  – дика свиня,  $X_{12}$  – сойка,  $X_{13}$  – боривітер звичайний,  $X_{14}$  – лисиця,  $X_{15}$  – вовк,  $X_{16}$  – тхір лісовий.

Розглянемо різні варіанти спостережень за видовою структурою зооценозу хребтних:

1-й варіант – спостерігаємо:  $X$  – боривітер звичайний,  $X$  – лисиця,  $X$  – вовк;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності  $r = 9$ .

2-й варіант – спостерігаємо:  $X$  – боривітер звичайний,  $X$  – лисиця,  $X$  – вовк,  $X$  – тхір;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності  $r = 13$ .

3-й варіант – спостерігаємо:  $X$  – олень шляхетний,  $X$  – дятел звичайний,  $X$  – дика свиня,  $X$  – сойка,  $X$  – боривітер звичайний,  $X$  – лисиця,  $X$  – вовк,  $X$  – тхір;

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ранг матриці спостережуваності  $r = 15$ .

4-й варіант – спостерігаємо: X – лось, X – олень шляхетний, X – дятел звичайний, X – дика свиня, X – сойка, X – боривітер звичайний, X – лисиця, X – вовк, X – тхір;

ранг матриці спостережуваності  $r = 16$  і система стає повністю спостережуваною.

Для визначення зооценозу хребтних ВП “Дівички” були використані функції системи комп’ютерної математики MatLab 7.0.4:  $Ob = \text{obsv}(A,C); \text{rank}(ob)$ .

Комп’ютерна імітаційна модель нелінійного спостерігача для 16 вимірної Вольтерівської системи зооценозу хребтних із внутрішньовидовою конкуренцією (побудована із використанням математичної моделі (1) орграфу, трофічної мережі зооекоотопу соснових лісів представлена на рис. 3.

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

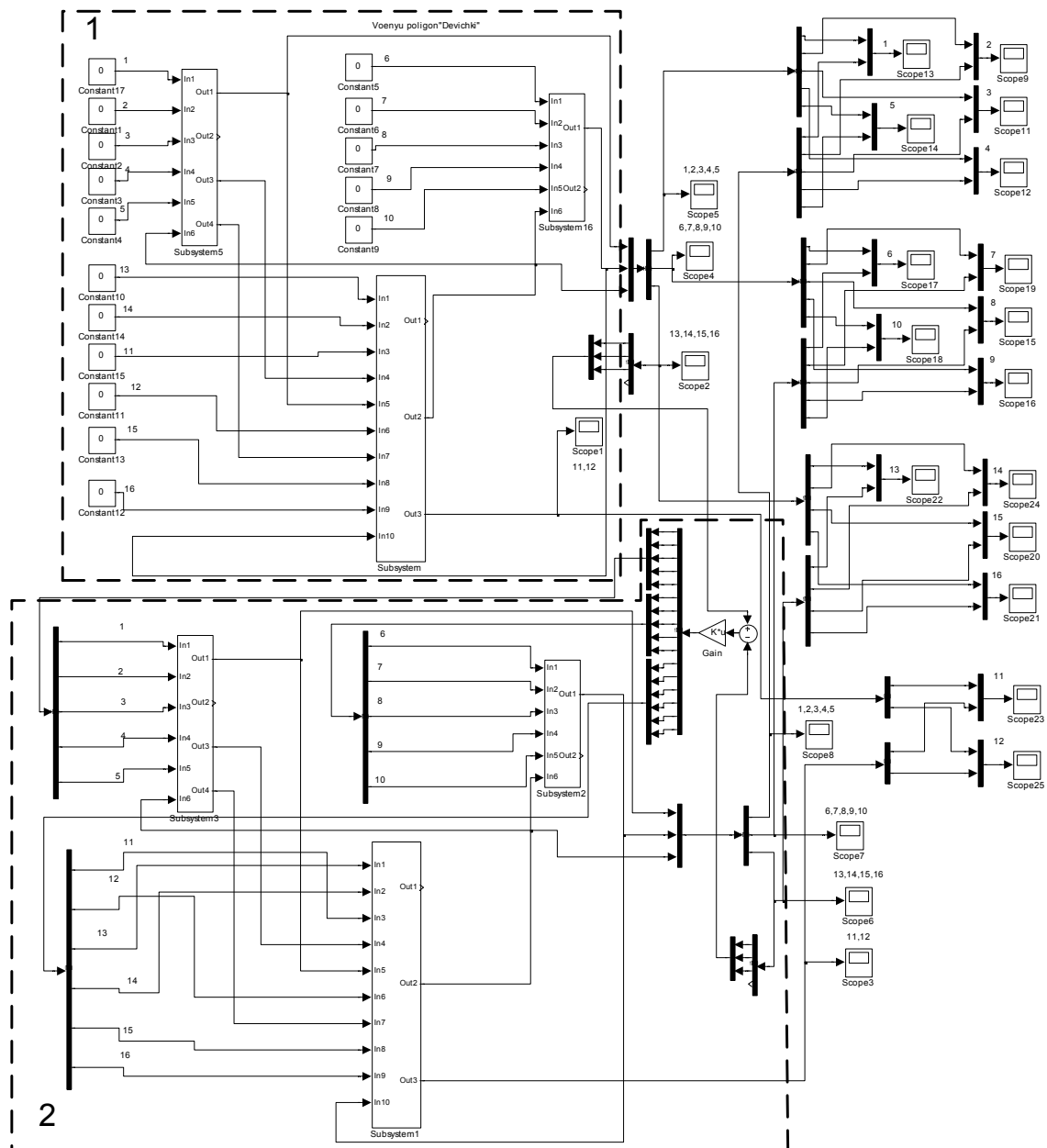


Рис. 3. Спостерігач 16 вимірної Вольтерівської системи ВП “Дівички”: 1 – 16 вимірний математичний зооценоз хребтних; 2 - 16 вимірний нелінійний спостерігач зооценозу хребтних

Результати моделювання демонструють можливості спостерігача за умови, що доступним для вимірів були лише елементи  $X_1, X_2, X_3$ , які за фізичним змістом відповідають середній щільності біомаси боривітера звичайного, лисиці та вовка відповідно.

Спостереження за названими тваринами ведеться Українським товариством охорони птахів, Ржищівським військовим лісгоспом, Переяслав-Хмельницьким лісництвом та Ржищівським військовим мисливсько-рибальським господарством, що розташовані поряд та безпосередньо на території ВП "Дівички".

Як бачимо, дійсно під час використання такого підходу процесу моделювання за інформацією про  $X_1, X_2, X_3$  можна оцінити змінні  $X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}$ , тобто всього 9 змінних, як і передбачалось згідно дослідження на спостережуваність.

У таких самих умовах спостереження 7 компонент зооценозу ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_{10}, X_{12}, X_{16}$ ) можна вважати таким, що практично не спостерігається. Коефіцієнти матриці зворотного зв'язку оптимального спостерігача Вольтерівської системи були підібрані в процесі імітаційного моделювання. Значення матриці  $H$  для спостерігача Вольтерівської системи:

$$H = \begin{vmatrix} 10000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100.06 \\ 0 & 0 & 2600.7 \\ 0 & 0 & 800 \\ 0 & 0 & 400.9 \\ 0 & 0 & 500.10 \\ 2000 & 2000 & 500.11 \end{vmatrix}$$

Сходження процесу спостереження в умовах застосування нелінійної Вольтерівської системи з внутрішньовидовою конкуренцією біологічних видів для моделювання зооценозу забезпечує сходження процесу спостереження практично за тих самих умов, що і для лінеаризованої біля точки стійкої рівноваги, вочевидь за рахунок того, що абсолютні значення компонент Вольтерівської системи не можуть бути від'ємними величинами.

Проведений аналіз досвіду застосування у збройних конфліктах навіть звичайного озброєння по критичних об'єктах, свідчить про виникнення

надзвичайних ситуацій та катастроф техногенного характеру.

В таких умовах забезпечення екологічної безпеки особового складу та засобів збройної боротьби, цивільного населення, навколишнього середовища є визначальними.

Досягнення необхідного рівня екологічної безпеки здійснюється виконанням комплексу заходів з екологічного моніторингу районів можливих бойових дій (розташування військ (сил)) із застосуванням засобів космічного, повітряного та наземного базування (систем спостереження, сенсорів).

Враховуючи зростаючу чуттєвість оточуючого природного середовища до антропогенного впливу, а також розвиток засобів збройної боротьби, інформація, яка надається за допомогою екологічного моніторингу, набуває дедалі більшого значення під час прийнятті рішення щодо характеру застосування Збройних Сил України.

### Висновки й перспективи подальших досліджень.

У статті за допомогою комп'ютерної імітаційної моделі нелінійного спостерігача для 16 вимірної Вольтерівської системи наведена можливість екологічного моніторингу стану навколишнього природного середовища в зоні ведення бойових дій.

Сутність методу полягала в тому, що на основі відомої структури лінійного спостерігача та за спеціальним класом систем, математичних моделей, що описують взаємодію видів хребетних біоценозу з внутрішньовидовою конкуренцією, які утворюють багаторівневі трофічні мережі, була побудована імітаційна модель нелінійного спостерігача за станом природного навколишнього середовища.

Результати імітаційного моделювання зазначили, що компоненти трофічної мережі, такі як  $X_5, X_7, X_8, X_9, X_6, X_{11}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$ , відновлюються до істинного значення.

Перспективою подальших наукових досліджень є застосування дистанційних методів моніторингу для оперативного виявлення радіаційної, хімічної й біологічної обстановки у випадках екстремально високого забруднення навколишнього природного середовища на територіях ведення бойових дій.

### Література

1. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. – М. : Гидрометеоздат, 1984. – 560 с.
2. Квакернаак Х., Р. Сиван Линейные оптимальные системы управления. – М. : Мир, 1977. – 650 с.
3. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
4. Эйкхоф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 684 с.
5. Методи і показники оцінки та прогнозування стану екологічної безпеки полігонів. Моніторинг бойової підготовки./ [Педченко Г. М. та ін.] Монографія. – К. : ІНС НАНУ та МНС, 2008. – 400 с.

**МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАБЛЮДЕНИЯ  
ВОЛЬТЕРОВСКИХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ, КАК ЭЛЕМЕНТ НОВОЙ  
ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АДАПТИВНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА  
СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

<sup>1</sup>*Сергей Николаевич Чумаченко (д-р техн. наук, с.н.с.)*

<sup>2</sup>*Сергей Леонидович Данилюк (канд. техн. наук, с.н.с.)*

<sup>1</sup>*Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

Основной целью обеспечения экологической безопасности деятельности Вооружённых Сил Украины, есть реализация государственной экологической политики в военной области, которая обеспечивает эффективное решение задач Вооружёнными Силами при минимальном воздействии на окружающую среду. Одной из основных задач обеспечения экологической безопасности во время ведения боевых действий есть защита окружающей среды.

Причины необходимости обеспечения экологической безопасности деятельности Вооружённых Сил, обусловлены наличием факторов, которые постоянно воздействуют и негативно влияют на окружающую среду, здоровье личного состава и населения, неблагоприятной экологической обстановкой в местах действий войск и учётом её воздействия на выполнение задач Вооружёнными Силами. Для решения вышеперечисленных задач, в статье рассмотрен вопрос применения метода имитационного моделирования процесса наблюдения Вольтеровских систем в зоне ведения боевых действий для поддержания принятия решений в адаптивной системе экологического мониторинга состояния окружающей природной среды.

**Ключевые слова:** загрязнение; мониторинг; экологическое состояние; имитационная модель; нелинейный наблюдатель.

**THE SIMULATION METHOD OF THE VOLTAIRE SYSTEMS OBSERVATION PROCESS  
IN THE CONDUCTING OPERATIONS ZONE AS THE NEW INFORMATIONAL  
TECHNOLOGY ELEMENT OF THE ENVIRONMENT CONDITION ADAPTIVE  
ECOLOGICAL MONITORING**

<sup>1</sup>*Serhii M. Chumachenko (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

<sup>2</sup>*Serhii L. Danyliuk (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

<sup>1</sup>*Ukrainian Scientific Research Institute of Civil Protection, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Central Scientific Research Institute of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

The purpose of the providing ecological safety of Armed Forces of Ukraine activity is implementing the state ecological policy in military area which ensures the effective problems solving by the Armed Forces when the minimum environmental impact. The natural environment protection is one of the primary goals of environmental safety maintenance during conducting operations.

The necessity reasons of maintaining environmental safety of Armed Forces of Ukraine activity are caused by the existence of factors which constantly affect and negatively influence on environment, staff and population health, adverse ecological situation in the areas of combat operations and the account of its affecting on missions execution by Armed Forces. For the solving the above mentioned tasks, the question of simulation method application of the Voltaire systems observation process in the conducting operations zone for decision-making support in the adaptive system of the environment condition ecological monitoring was considered in the paper.

**Keywords:** pollution; monitoring; ecological condition; imitating model, the nonlinear observer.

**References**

1. Izrael Yu. (1984), Ecology and the environment condition monitoring. [*Ekologiya i kontrol sostoianii prirodnoi sredy*], Moscow, Gydrometeoizdat, 560p.
2. Kvakernaak H., Sivan R. (1977), Linear optimum control systems. [*Lineinye optimalnyie sistemy upravleniia*], Moscow, Mir, 650 p.
3. Grop D. (1979), The systems identification methods. [*Metody identifikatsyi sistem*], Moscow, Mir, 302 p.
4. Einkhof P. (1975), Bases of control systems identification. [*Osnovy identifikatsyi system upravleniia*], Moscow, Mir, 684 p.
5. Pedchenko H.M., Lysychenko H.V., Romanchenko I.S., Semenchenko A.I., Lysenko O.I., Chumachenko S.M., Zabulonov Yu.L., Stankevych S.A., Butenko S.H., Borysiuk S.L. (2008), Estimation and forecasting methods and parameters of ranges environmental safety condition. Combat training monitoring. The monography, [*Metody i pokaznyky otsinky ta prohozuvannia stanu ekologichnoi bezpeky polihoniv. Monitorynh boiovoi pidhotovky. Monohrafiia*], Kyiv, IHNS NANU and MNS, 400p.

Отримано: 27.06.2015 p.

Ігор Миколайович Козубцов (канд. техн. наук, с.н.с)

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПІДГОТОВКИ АСПІРАНТА З МЕТОДОЛОГІЧНОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЮ У СИСТЕМІ ВИЩОЇ ВІЙСЬКОВОЇ ОСВІТИ

*Автором на основі ідеальної моделі випускника аспірантури обґрунтовано функціональний зміст методологічної компетентності аспірантів у системі вищої військової освіти. Функціонал містить всі види професійної діяльності в межах методологічної компетентності. Функціонал містить когнітивну та діяльну складову. У відповідності до індивідуальних властивостей аспіранта та готовності їх до організації професійної діяльності надано компетентнісну характеристику. Застосування обґрунтованої ідеальної моделі дозволило побудувати ідеальну модель підготовки аспірантів з методологічною компетентністю у системі вищої військової освіти. Дослідження доречно зосередити на дослідженні вибору технологій розвитку методологічної компетентності аспірантів в умовах навчально-виховного процесу системи вищої військової освіти.*

**Ключові слова:** функція; методологічна компетентність; аспірант; система; вища військова освіта.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасний рівень розвитку суспільства пред'являє високі вимоги до професіоналізму всіх фахівців зокрема військового профілю. Багато сучасних дослідників займаються вивченням компетентнісного підходу в системі освіти. На практиці застосовуються різноманітні визначення компетенцій і компетентності, різні компетентнісні моделі. Проте, що стосується компетентнісної моделі випускника аспірантури, то вона в більшості випадків є описом того, яким набором компетенцій повинен володіти випускник установи вищої освіти, до виконання яких професійних функцій він повинен бути підготовлений і який повинен бути ступінь його підготовленості до професійної діяльності. В цілому це пов'язано з відсутністю освітньо-кваліфікаційної характеристики і моделі випускника аспірантури вищого військового навчального закладу (ВВНЗ).

Тому в роботах сформовано часткове наукове завдання дослідження [1], обґрунтовано структуру методологічної компетентності аспірантів у системі вищої військової освіти [2].

**Не вирішеним питанням** є обґрунтування функціонального складу методологічної компетентності, що і логічно визначило необхідність продовження досліджень в даному напрямку.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проведений аналіз публікацій досліджень у відкритих джерелах з метою з'ясування професійно компетентнісної моделі випускника аспірантури системи вищої військової освіти. Заслужує уваги розгляд публікацій вчених: І.А. Альохіна, С.І. Горбенко [3], В.В. Гусева, Л.В. Доломанюка, В.Д. Заболотного [4], І.А. Ковалева, Ю.В. Коленко,

Л.Г. Лаптева, А.С. Михалева [5, 6], С.Ю. Мишина, М.І. Нещадима, А.М. Новикова [7], Ю.Н. Рябенського [8], С.М. Филькова [9], А.І. Шишкова, О.Ю. Єфремова, В.В. Ягупова [10].

**Формулювання мети статті.** Обґрунтувати функціональний зміст методологічної компетентності аспірантів у системі вищої військової освіти.

### Результат дослідження

Для подальшої конкретизації моделі аспіранта сформулюємо основні вимоги до неї, доповнивши частину тих, що мають шляхом адаптації до рішення нашого завдання в наступному вигляді:

модель повинна забезпечувати можливість кількісних розрахунків, тобто бути повною мірою математичною;

не повинна допускати операцій складання принципово різних “знаньових” і “діяльносних” характеристик фахівця вищої кваліфікації;

модель повинна забезпечувати якусь взаємозмінюваність “знаньових” і “діяльносних” характеристик;

повинна бути достатньо зрозумілою і простою для практичного використання;

сформована і розвинена сукупність “знаньових” і “діяльносних” характеристик (компетентності) повинна бути достатньо адекватною, простою і зрозумілою в процесі діагностування;

модель повинна забезпечувати розробку достатньо адекватних і об'єктивних критеріїв і індикаторів придатних діагностуванню.

Відповідно до цих вимог з урахуванням компетентнісної парадигми [5, 6] А.С. Михальов обґрунтував ідеальну математичну модель фахівця. Тривалі реформи у системі вищої освіти призвели до інтеграції цивільної та військової



компоненти освіти [11], розпочалась військова підготовка в цивільних навчальних закладах [9]. Поряд з цим виникли ускладнення управління якістю підготовки в умовах стандартизації освіти [3].

Тому, очевидно, що згідно принципу доповнення, ідеальна математична модель фахівця пошириться і на модель аспіранта у системі вищої військової освіти. Ступінь ідеальності аспіранта можна представити як:

$$I = \frac{F}{C_1 + C_2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \times \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m D_j}{C_1 + C_2} = \frac{Z \times D}{C_1 + C_2}, \quad (1)$$

де:  $I$  – ступінь ідеальності аспіранта;  $F$  – кількість і якість функцій, які він здатний виконувати в ході професійної діяльності;  $C_1$  – витрати освітньої системи на підготовку аспіранта;  $C_2$  – витрати працедавця на його зміст;  $Z$  – знання з методології;  $D$  – вміння застосовувати знання на практиці.

З виразу (1) цілком очевидно, що ступінь ідеальності аспіранта тим вище, чим більше чисельник (кількість і якість його функцій) і чим менше знаменник (сукупні витрати на його підготовку і зміст). Витрати  $C_1$ ,  $C_2$ , а також  $F$  достатньо складним чином взаємозалежні. При зменшенні витрат  $C_1$ , на підготовку аспірантів у ВВНЗ неминуче знижується її якість –  $F$ . Як наслідок цього будуть збільшуватися витрати  $C_2$  на “доучування”, “перепідготовку”, “підвищення кваліфікації” і “адаптацію фахівця до робочого місця” в основному за рахунок працедавців, знаменник (1) в цілому збільшується, одночасно зростає  $F$ , тобто якість фахівця підтягується “до кондиції”, але процес його формування, природно, сповільнюється. Саме тому у Збройних Силах вважають за краще заповнювати наявні вакансії досвідченими фахівцями, що сформувалися, “готовими”, всіяко уникаючи молодих випускників таких ВВНЗ.

У моделі (1) чітко розмежовані досягнення “знаньові” і “діяльнісні” складових компетенції. Зазначимо, що “знаньову складову компетенції” ( $Z$ ) наближено можна вважати еквівалентним ЗУНам (знання, вміння, навички).

Друга сума діяльнісна складова компетенції ( $D$ ) тісно пов’язана з поняттям “особа”, особистими якостями, що включає такі “силові” компетенції як “наполегливість”, “цілеспрямованість”, “сила волі”, “стресова стійкість”, “амбітність” і тому подібне, тобто її з повною підставою в будь-якій людській діяльності можна уподібнити силі  $F_m$ .

Розглянута ідеальна модель, вимагає інтерпретації до реалістичної. Перехід можливий за умови чіткого прописування кількості і якості функцій, які винен і здатний виконувати в ході професійної діяльності аспірант ( $F$ ).

Підготовка військових фахівців будь-якого рівня вищої освіти залежить, здебільшого від успішності функціонування педагогічної системи ВВНЗ, її виховних впливів на формування особистості [4]. Відмітимо, що саме на етапі

навчання курсантів у ВВНЗ закладаються ключові, базові та спеціальні компетенції офіцера, що становлять зміст військово-професійної компетентності. Під військово-професійною компетентністю розуміється інтеграційна якість військовослужбовців, що представляє сукупність професійно значущих якостей, здатність і готовність вирішувати професійні проблеми та завдання, що виникають в реальних ситуаціях військової діяльності, з використанням знань, навичок, умінь, професійного і життєвого досвіду, цінностей і культури [10].

Подальший вибір випускником ВВНЗ наукової чи науково-педагогічної діяльності зобов’язує пройти підготовку в ад’юнктурі. Ад’юнктура є елементом єдиної багаторівневої системи підготовки військових кадрів вищої кваліфікації саме для потреб Збройних Сил України. По успішному закінченню навчання в ад’юнктурі коло діяльності офіцера стає багатогранною і багатофункціональною, що пов’язана з організацією (управлінням) трьох ключових видів професійної діяльності:

- 1) наукова (воєнно-наукова) (НДД);
- 2) освітня (науково-педагогічна (НПД), навчально-виховна і методична);
- 3) військово-професійна діяльність, професійно-посадову, суспільно-гуманітарну, загальновійськову (ВПД).

Військово-професійна діяльність викладача і науковця здійснюється за планом професійно-посадової підготовки і не є предметом розгляду в статті.

Надалі буде розглянуто 2 основні види діяльності аспіранта: наукову та науково-педагогічну. Вони утворюють множину функцій всіх видів професійної діяльності ( $F_Z$ ) аспірантів.

$$F_Z = \sum_{i=1}^n F(Z_i) \times \sum_{j=1}^m F(D_j) = Z \times D, \quad (2)$$

де  $F_Z$  – повний функціонал аспіранта за всіма видами професійної діяльності;  $F(Z)$  – функціонал знань аспіранта за всіма видами професійної діяльності;  $F(D)$  – функціонал умінь аспіранта за всіма видами професійної діяльності.

Для забезпечення їх виконання від аспіранта потребується володіння знаннями та вміннями організації діяльності.

Очевидно, що в процесі організації професійної діяльності аспірант не може обходитися без методології, а отже бути методологічно компетентним. Під “методологією” слід розуміти детерміноване визначення, яке наводить А.М. Новиков [7 с. 20] – вчення про організацію діяльності.

Зміст професійної діяльності і підготовки аспіранта з позиції структурно-функціонального підходу розроблено Ю.Н. Рябенкім [8]. Організація наукових досліджень в сфері військової науки має відмінність за методологією [13]. Аспірант у системі вищої військової освіти має володіти цією методологією [12]. Тому

виникла необхідність уточнення результату [8] згідно чинного законодавства України (Закону України “Про вищу освіту” та “Про наукову та науково-технічну діяльність”).

Графічна інтерпретація знаньово-діяльнісної моделі аспіранта, в якій використані десятибальні оцінні шкали по обох усередненим компетентностям Z і D, представлено в роботі [5-12], які адекватно вписуються в представлений випадок. Ідеальна модель аспіранта відповідає інноваційній моделі підготовки, яку запропонував А.С. Михалев.

### Висновки з дослідження

Таким чином, на основі застосування обґрунтованої ідеальної моделі побудовано ідеальну модель підготовки аспірантів з методологічною компетентністю у системі вищої військової освіти.

Оскільки, система підготовки аспірантів у

системі вищої військової освіти передбачає повноцінний їх професійний розвиток, то очевидно, що критерії та індикатори розвиненості методологічної компетентності будуть використовуватися опосередковано під час оцінки професійної компетентності, а саме компетентнісну характеристику діяльності.

**Елемент наукової новизни.** Автором дослідження визначено функціонал видів професійної діяльності в складі методологічної компетентності аспірантів у системі вищої військової освіти.

**Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.** Дослідження доречно зосередити на дослідженні вибору технологій розвитку методологічної компетентності аспірантів в умовах навчально-виховного процесу системи вищої військової освіти.

### Література

1. Козубцов І. М. Концепція розвитку методологічної компетентності аспіранта військового вищого навчального закладу / І.М. Козубцов [Електронний ресурс] // Вісник Нац. акад. Держ. прикордон. служби. України ім. Б. Хмельницького, 2014. – №1. – Режим доступу URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vnadps\\_2014\\_1\\_6.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vnadps_2014_1_6.pdf). 2. Козубцов І. М. Структура методологічної компетентності аспірантів системи вищої військової освіти / І. М. Козубцов // Професійна освіта: проблеми і перспективи / ПІТО НАПН України. – К.: ПІТО НАПН України, 2014. – Випуск 6. – С. 67–72. 3. Горбенко С. И. Управление качеством подготовки специалистов в условиях стандартизации образования: на примере военно-инженерного вуза / Горбенко, Сергей Иванович; Диссертация на соискания ученой степени к. пед. н. по специальности 13.00.08 Теория и методика профессионального образования. – Ставрополь: Ставропольский государственный университет Ставропольский филиал Ростовского военного института ракетных войск, 2002. – 222 с. 4. Заболотний В. Д. Якість підготовки військових фахівців як процесуальна складова педагогічної системи ВВНЗ / В. Д. Заболотний, А. М. Зельницький, О.Б. Черних // Збірник наукових праць „Військова освіта” Національного університету оборони України. – 2014. – №2 (30). – С.88–98. 5. Михалев А. С. Знаниеведческая парадигма обучения и подходы к её реализации в Минском институте управления / А. С. Михалев, Ю. Г. Казеко // Инновационные образовательные технологии. – 2009. – №2(18) – С. 47–56. 6. Михалев А. С. Математическая знаниедеятельностная модель специалиста / А. С. Михалев // Инновационные образовательные технологии. – 2009. – №4(20) – С. 5–12. 7. Новиков А. М. Методология / А.

М. Новиков, Д. А. Новиков. – М.: СИНТЕЗ, 2007. – 668 с. – ISBN 978-5-89638-100-6. 8. Рябенский Ю. Н. Компетентностный подход в подготовке преподавателей высшей военной школы / Ю. Н. Рябенский. [Электронный ресурс] ВУНЦ ВМФ “ВМА”, 2012. – Режим доступа URL: <http://window.edu.ru/resource/086/78086/files/kompet-approach-paper.pdf>. 9. Фильков С. М. Система военной подготовки в гражданских вузах: теория и практика функционирования и совершенствования: Монография. – М., 2002. – 229 с. 10. Ягунов В. В. Управлінські функції офіцера та їх педагогічний зміст / В. В. Ягунов // Вісник Української академії державного управління при Президенті України: Науковий журнал. – 2000. – № 2. – С. 307–312. 11. Козубцов І. М. Зарубіжний досвід інтеграції військової та цивільної освіти в контексті Болонського процесу / І. М. Козубцов // Гуманізація навчально-виховного процесу : збірник наукових праць / [За заг. ред. проф. В.І. Сипченка] – Спецвип. 6. – Ч. І Слов’янськ: СДПУ, 2012. – С. 101–109. 12. Козубцов І.М. Феномен методологічної компетентності аспірантів системи вищої військової освіти / І.М. Козубцов // Збірник наукових праць „Військова освіта” Національного університету оборони України. – 2015. – №1(31). 13. Козубцов І.М. Феномен методологічної основи діяльності аспірантів у системі вищої військової освіти: аналітико-порівняльне обґрунтування / І.М. Козубцов Л.М. Козубцова // Науково-практичний журнал. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Національний університет оборони України, 2015. – №1(22) – С. 119–122. ISSN 2311-7249 (Print).

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ АСПИРАНТА С МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТЬЮ В СИСТЕМЕ ВЫСШЕГО ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

*Игорь Николаевич Козубцов (канд. техн. наук, с.н.с.)*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина*

*Автором на основе идеальной модели выпускника аспирантуры обосновано функциональное содержание методологической компетентности аспирантов в системе высшего военного образования. Функционал содержит все виды профессиональной деятельности в пределах методологической компетентности. Функционал содержит когнитивную и деятельностную составляющую. В*

соответствии с индивидуальными свойствами аспиранта, готовностью его к организации профессиональной деятельности представлена компетентностная характеристика. Применению обоснованной идеальной модели позволило построить идеальную модель подготовки аспирантов с методологической компетентностью в системе высшего военного образования. Исследование уместно сосредоточить на исследовании выбора технологий развития методологической компетентности аспирантов в условиях учебно-воспитательного процесса системы высшего военного образования.

**Ключевые слова:** функция; методологическая компетентность; аспирант; система; высшее военное образование.

## THE INFORMATION MODEL OF POSTGRADUATE STUDENT WITH METHODOLOGICAL COMPETENCE PREPARATION IN THE HIGHER MILITARY EDUCATION SYSTEM

*Thor M. Kozubtsov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine*

The author based on an ideal model of graduate reasonably functional meaning methodological competence graduate in higher military education system. Functionality includes all professional activities within the methodological competence. Functionality includes cognitive and activity component. Under the individual properties of graduate and readiness of the organization of professional competency given characteristic. On basis application of the grounded ideal model allowed us to build the ideal model of preparation of postgraduate students with a methodological competence in the system of higher military education. Appropriately to concentrate research on research of choice of technologies of development of methodological competence of postgraduate students in the conditions of an educational-educate process of the system of higher military education.

**Keywords:** function; methodological competence; postgraduate student; system; higher military education.

### References

- 1. Kozubtsov I.M.** (2014), [Kontseptsiiia rozvytku metodolohichnoi kompetentnosti aspiranta viiskovoho vyshchoho navchalnoho zakladu] [Elektronnyi resurs], Visnyk Nats. akad. Derzh. prykordon. sluzhby Ukrainy im. B. Khmelnytskoho, No.1., Rezhym dostupu URL: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vnadps\\_2014\\_1\\_6.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vnadps_2014_1_6.pdf).
- 2. Kozubtsov I.M.** (2014) Structure methodological competence graduate students of higher military education. [Struktura metodolohichnoi kompetentnosti aspirantiv systemy vyshchoi viiskovoi osvity], Profesiina osvita: problemy i perspektyvy, IPTO NAPN Ukrainy, KIPTO, Vypusk 6, pp. 67–72.
- 3. Gorbenko S.I.** (2002), Quality management training in terms of standardization of education: the example of the military engineering college. [Upravlenie kachestvom podgotovki spetsialistov v usloviyah standartizatsii obrazovaniya: na primere voenno-inzhenerного vuz], Dissertatsiya na soiskaniya uchenoy stepeni k. ped. n. po spetsialnosti 13.00.08 Teoriya i metodika professionalnogo obrazovaniya, Stavropol: Stavropolskiy gosudarstvenniy universitet Stavropolskiy filial Rostovskogo voennogo instituta raketnykh voysk, 222 p.
- 4. Zabolotnyi V.D., Zelnytskyi A.M., Chernykh O.B.** (2014), Quality of military experts as procedural component of educational system. [Yakist pidhotovky viiskovykh fakhivtsiv yak protsesualna skladova pedahohichnoi systemy VVNZ], Zbirnyk naukovykh prats „Viiskova osvita” Natsionalnoho universytetu obrony Ukrainy, No.2 (30), pp. 88–98.
- 5. Mihalev A.S., Kazeko Yu.G.** (2009), Activity paradigm knowledge-learning and approaches to its implementation in the Minsk Institute of Management. [Znaniye-deyatelnostnaya paradigma obucheniya i podhody k eyo realizatsii v Minskom institute upravleniya], Innovatsionnye obrazovatelnye tehnologii, No.2(18), pp. 47–56.
- 6. Mihalev A.S.** (2009), A mathematical model of the knowledge-activity specialist. [Matematicheskaya znaniye-deyatelnostnaya model spetsialista], Innovatsionnye obrazovatelnye tehnologii, No.4(20), pp. 5–12.
- 7. Novikov A.M., Novikov D.A.** (2007), Methodology. [Metodologiya], Moscow SINTEZ, 668 p.
- 8. Ryabentkiy Yu.N.** (2012), [Kompetentnostnyy podhod v podgotovke prepodavatelye vysshey voennoy shkoly], [Elektronnyi resurs], VUNTs VMF «VMA», Rezhim dostupu URL: <http://window.edu.ru/resource/086/78086/files/kompet-approach-paper.pdf>.
- 9. Filkov S.M.** (2002), The system of military training in civilian universities: the theory and practice of performance and perfection: Monograph. [Sistema voennoy podgotovki v grazhdanskih vuzah: teoriya i praktika funktsionirovaniya i sovershenstvovaniya: Monografiya], Moscow, 229 p.
- 10. Yahupov V.V.** (2000), Managerial functions officer and their pedagogical content. [Upravlinski funktsii ofitsera ta yikh pedahohichniy zmist], Visnyk Ukrainskoi akademii derzhavnoho upravlinnia pry Prezydentovi Ukrainy: Naukovy zhurnal, No.2, pp. 307–312.
- 11. Kozubtsov I.M.** (2012), Foreign experience integrating civil and military education in the context of the Bologna Process. [Zarubizhnyi dosvid intehratsii viiskovoi ta tsyvilnoi osvity v konteksti Bolonskoho protsesu], Humanizatsiia navchalno-vykhovnoho protsesu: zb. nauk.prats, Spetsvyp. 6, Ch.I Sloviansk: SDPU, pp. 101–109.
- 12. Kozubtsov I.M.** (2015), The phenomenon methodological competence graduate students of higher military education. [Fenomen metodolohichnoi kompetentnosti aspirantiv systemy vyshchoi viiskovoi osvity], Zbirnyk naukovykh prats „Viiskova osvita” Natsionalnoho universytetu obrony Ukrainy, No.1(31).
- 13. Kozubtsov I.M., Kozubtsova L.M.** (2015), [Fenomen metodolohichnoi osnovy diialnosti aspirantiv u systemi vyshchoi viiskovoi osvity: analityko-porivniialne obgruntuvannia], Naukovo-praktychnyi zhurnal. Suchasni informatsiini tehnologii u sferi bezpeky ta obrony, Natsionalnyi universytet obrony Ukrainy. No.1(22), pp. 119–122. ISSN 2311-7249 (Print).

Отримано: 03.06.2015 p.

Vitalii A. Savchenko (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

## BRING YOUR OWN DEVICE POLICY AND WI-FI TECHNOLOGY FOR MILITARY EDUCATIONAL ORGANIZATION

*This article explores the concept of combining a Bring Your Own Device (BYOD) policy and Wi-Fi technology with existing information policies and infrastructure for typical Military Educational Organization. In face of financial restrictions many Military Educational Organizations in many countries are expecting a problem of computer renewal. To give employees and students an opportunity to work effectively under impossibility to renovate computer facilities a new BYOD policy has to be applied. This policy is directly connected to development of Wi-Fi infrastructure within organization. Obviously, implementing of BYOD policy in a couple with Wi-Fi technology will allow Military Educational Organizations to include into information process not only existent computer hardware, but a great number of personal devices. Nowadays wireless technologies are forbidden for many military organizations because of information restrictions so all aspects of new approach integrity with Net-Centric strategy, efficiency, reliability, security and cost are considered in the article. This article is based on author's experience and represents the author's proposal for the BYOD/Wi-Fi implementation only at the unclassified information environment and the potential financial benefits of this issue.*

**Keywords:** Bring Your Own Device; Wi-Fi; Military Educational Organization.

### Introduction

In many countries the mass usage of computers in military education started more than 20 years ago. Nowadays for many Military Educational Organizations (MEOs) the problem of computer renewal is very urgent. Many devices were issued many years ago and now became antiquated. Every year MEOs spend lots of money for electronic devices treatment and renovation. Different computer generations use various software that creates a problem of incompatibility. Old computers are mostly desktops that not allow using them easy and flexible. The MEO's local networks, built on Ethernet technologies mostly on twisted pair wiring, do not allow providing fast mobile connection and easy Internet access. Beside of this the usage of personal computing devices and any unauthorized Internet access are forbidden by National security laws and policies because of information security issues.

To solve the problem of effective computer usage in MEO's educational process in face of constant financial restrictions the MEO's authorities should accept and adopt Bring Your Own Device (BYOD) policy [1]. The implementation of this policy in a couple with wireless (Wi-Fi) network development will allow MEO to arise the total number of computers and to provide cost-effective improvement of military education.

**Problem Statement.** The current mission for the typical MEO is training and professional development of highly qualified specialists for the Armed Forces. In the field of IT it needs development of advanced information technologies into education. The Net-Centric Concept in the sphere of military education needs us to be joined to the Global Educational Environment (information resources, databases, scientific sites etc.) and to develop the Distant Learning systems. The Global Educational

Environment can help students to be "in touch" with latest tendencies in the sphere of defense providing the most actual approaches in military management as well as foreign experience in modern warfare. The Distant Learning can help educators to bring all actual information to students via information means wherever they are.

Nowadays we spend lots of money for new hard and software, for maintenance and renovation of existent equipment. Financial limitations face us with dilemma how to manage our resources effectively. And, in the same time, the park of personally owned devices (laptops, tablets, smartphones) grows fast. But for this moment wireless technologies are limited in usage in many military educational organizations.

So, the problem of MEO's computer infrastructure development goes to the forward plan. Implementation of BYOD policy in a couple with development of Wi-Fi infrastructure in MEO's unclassified domains potentially can solve this problem and save money. All of this will help MEOs to arise the quality of military education and that's why the questions of BYOD/Wi-Fi implementing as well as problems of policy adaptation, security and cost-benefit analysis have to be considered in detail.

### BYOD/Wi-Fi an Emerging Approach

**BYOD policy.** *Bring your own device* is a policy that implies of permitting employees to bring personally owned mobile devices to their workplace and to use those devices to access company's information and applications [1].

The term BYOD was first introduced in 2009 when Chief Information Officers (CIOs) in IT companies were really starting to feel the pressure as personal devices flooded the workplace. In 2012 IT experienced the first real concerns around BYOD security and data leakage. On the other side, users were becoming increasingly concerned about their

privacy. Since 2013 innovations in data security, such as email, apps, and content containerization, have become popular. This containerization helped to separate personal data from corporate data. Since 2014 BYOD has slowly been morphing into *Bring Your Own Everything* (BYOx): device, apps, encryption, identity, technology, network, wearable etc. [2, 3]. But, despite of all, BYOD still remain the center of all of this approaches so the topic of this work will be restricted within BYOD policy.

For military applications BYOD mostly is still a new undiscovered idea. During 2012 – 2013 US Department of Defense (DoD) many times looked on this idea but every time the question was delayed due to information assurance issues [4, 5]. Now the US DoD also is getting ready to launch a pilot program to examine the viability of a BYOD within the military. Most likely, potential BYOD privileges would be limited to certain users and certain types of use, such as e-mail access, file-sharing and calendar applications on certain approved personal devices [6].

Despite of Pentagon's doubts about BYOD in military headquarters (HQ) and combat units some US military organizations, where cost of information is not "so high", have effectively realized this policy. So, the US National Defense University (US NDU) is a BYOD campus. Students are free to bring a privately-owned (recommended for ease of configuration) computing devices capable of Wi-Fi connectivity. At the same time US NDU's IT Directorate highly discourages the use of government-owned devices on its Wi-Fi network [7].

The important issue with BYOD is of scalability and capability. Many MEOs today lack proper network infrastructure to handle the large traffic which will be generated when employees will start using different devices at the same time, that increases demands for Wireless Local Area Network (WLAN) infrastructure development [1].

Drawing the bottom line of BYOD consideration it's possible to make some conclusions in a view of future implementation of this policy into a MEO. *Positive*: (1) Ability of today's users to work anywhere on any device: in a classroom or at home. (2) Ability of today's organizations to create more comfortable environment for their employees and to decrease financial spending on information facilities and infrastructure. (3) Full realization of the Net-Centric Concept via involvement of personnel and their equipment into the current educational process anywhere and anytime.

*Negative*: (1) Security – MEO's data is vulnerable to illegitimate access. Any number of users could have an infected email client or malware apps could be injected into the network. (2) Privacy – the network has to separate people's private data from MEO's data. (3) Data integrity – data is not sat on the server but it's sitting on mobile devices [8].

**Wi-Fi technology.** According to [9] **Wi-Fi** is a local area wireless technology that allows an electronic device to participate in computer networking using 2.4 GHz UHF and 5 GHz SHF ISM radio bands. The Wi-Fi Alliance, that was formed in 1999 as a non-profit association to hold the Wi-Fi

trademark, defines Wi-Fi as any WLAN product based on the Institute of Electrical and Electronics Engineers' (IEEE) 802.11 standards. The 802.11 protocol was released first in 1997 and provided up to 2 Mbit/s link speed.

The Wi-Fi signal **range** depends on the frequency band, radio power output, antenna gain and type. An Access Point compliant with either 802.11b or 802.11g, using the stock antenna might have an open range of 100 m (330 ft). The same radio with an external semiparabolic antenna (15db gain) might have a range over 20 miles [9].

The **speed** of data transmitting depends on environment and applied protocol. It varies from 1 – 2 Mbit/s for 802.11a up to 6.75 Gbit/s for 802.11ad. Full description of technical parameters of IEEE 802.11 protocols are given in [10].

Nowadays Wi-Fi technology is often used to provide Internet access to devices that are within the range of a WLAN that is connected to the Internet. The coverage of one or more interconnected access points (hotspots) can extend from an area as small as a few rooms to as large as many square kilometres. Coverage in the larger area may require a group of access points with overlapping coverage [9]. Now many universities deploy Wi-Fi infrastructure in their campuses. At MEO Wi-Fi can be used for local indoor networks deployment (see Fig. 1) as well as for wide outdoor applications. This article considers only indoor Wi-Fi applications for MEO. Exploring possibilities to improve information infrastructure in MEO it's necessary to consider Wi-Fi advantages and disadvantages.

**Wi-Fi Advantages:** (1) *Cost.* Wi-Fi allows cheaper deployment of WLAN including spaces where cables cannot be run (using MESH topology). In face of financial restrictions this Wi-Fi feature can be a keystone for future decision. (2) *Convenience.* The wireless nature of Wi-Fi networks allows users to access network resources from nearly any convenient location within MEO. (3) *Security.* Wi-Fi networks can be adequately protected by enabling password protection and data encryption. A Wi-Fi network using WPA2 provides both security (you can control who connects) and privacy (the transmissions cannot be read by others) for communications. All of this gives MEO customers the ability to work with information safely.

**Wi-Fi Disadvantages:** (1) *Security.* Despite of all modern approaches security still remain the weak point of Wi-Fi. Potentially, unauthorized users can be connected to Wi-Fi network. So, wireless networks have to utilize various encryption technologies available. (2) *Range.* The typical range of a common 802.11g network with standard equipment is on the order of 45m (150ft) indoors. To obtain additional range, repeaters or additional access points have to be purchased that considerably increases the network cost. (3) *Speed.* A public Wi-Fi network is very dependent of the number of users. The speed on most wireless networks (typically 1 – 54 Mbps) is far slower than even the slowest common wired networks (100Mbps up to several Gbps). However, the new

generation of IEEE 802.11 protocols promises to solve this problem.

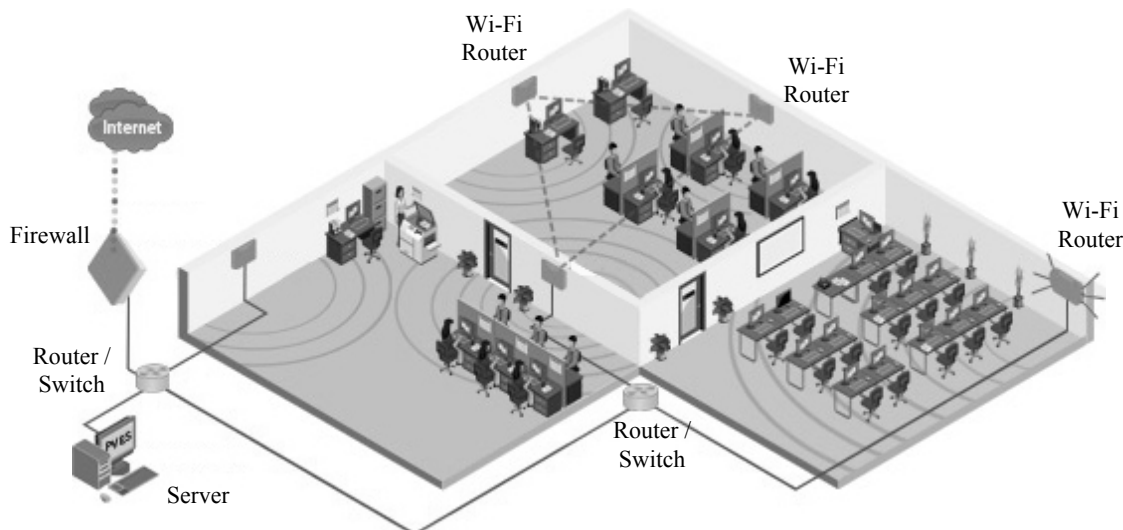


Figure 1. An example of WLAN in an office environment [11]

### Laws and Policy

In many countries the main directions of IT implementation into education are declared by the National Telecommunication Legislation that imply creation of fully informatized campuses within schools and universities. But in military sphere these Laws are some limited by the National Information Security Legislation that limit personal mobile devices application and wireless networks deployment in organizations where people can be connected to the National or military secrets. MEO educates students of strategic, operational and tactical level so potentially they are connected to those secrets.

So the contradiction appears: from one side MEOs need to join to the world resources and have to implement BYOD/Wi-Fi and, from the other side, they have to cut down any IT that can potentially compromise existed classified information.

By author's opinion all limitations can be explained only by higher authorities' "misunderstanding" of role and capabilities of new technologies. More careful learning of Laws and Orders drives us to conclusion that the main idea of information security in technical sphere is not to allow restricted and unrestricted devices working together. This conclusion drives to a decision – to separate (physically and technically) restricted and unrestricted information environments. So, the special separated zone has to be created on the territory of MEO for work with classified information. It has to be free of any wireless technologies and be out of BYOD policy. This decision can be confirmed by analysis of student's educational process: only some percent of total students information is classified and the total square ratio of restricted territory has to be the same.

This short research shows that generally National Legislation allows MEO to implement BYOD/Wi-Fi, but they should make appropriate changes in some documents on local level. These changes have to be directed onto separation information environments and creation of secure unclassified information infrastructure.

### Efficiency

Efficiency of BYOD/Wi-Fi for MEO can be measured by potentially gained educational effectiveness that depends on: staff productivity, employee satisfaction etc. BYOD/Wi-Fi is quite new strategy for military education so there are no real researches over these issues but its predicted efficiency can be approximately estimated on the basement of other researches. The research conducted by Willis [12] in Europe, the Middle East and Africa shows employer's estimations of current BYOD programs (see Fig. 2).

### Cost Benefit Analysis

Detailed research for BYO efficiency also was made by Troni and Silver [13]. This research shows that BYOD policy can be very financially effective mostly in its "clean" variant, when employees use their equipment not demanding reimbursements and minimizing any other spending on their own devices. For example (see Fig. 3) in case of tablets use of User-owned (semimanaged) items gives an effect up to 64% comparing with Enterprise-owned tablets fully-managed. But, if tablets use additional services such as server-based computing (SBC) or hosted virtual desktop (HVD) technologies, the total cost of ownership (TCO) increases, in some cases substantially [13].

The current necessary MEO spending for existent infrastructure development consists of costs for: computer purchasing, LAN development (equipment and its deployment), software licensing, maintenance of existent MEO's computers, computer renovation.

The total financial efficiency of BYOD/Wi-Fi for typical MEO can be described by the next artificial example. Having 2,000 computers for 2,500 MEO's people (employees and students) to supply users by computers we have additionally to purchase 500 computers. Also, lets for further infrastructure development we need 20 switches and 4,000 m of wired cable. Basing on prices [14] it will cost: computers Dell Inspiron ( $500 \times \$500 = \$250,000$ ); switches D-Link DGS ( $20 \times \$250 = \$5,000$ ); wired cable ( $4,000\text{m} \times \$0.2 = \$800$ ); deployment works \$1000.

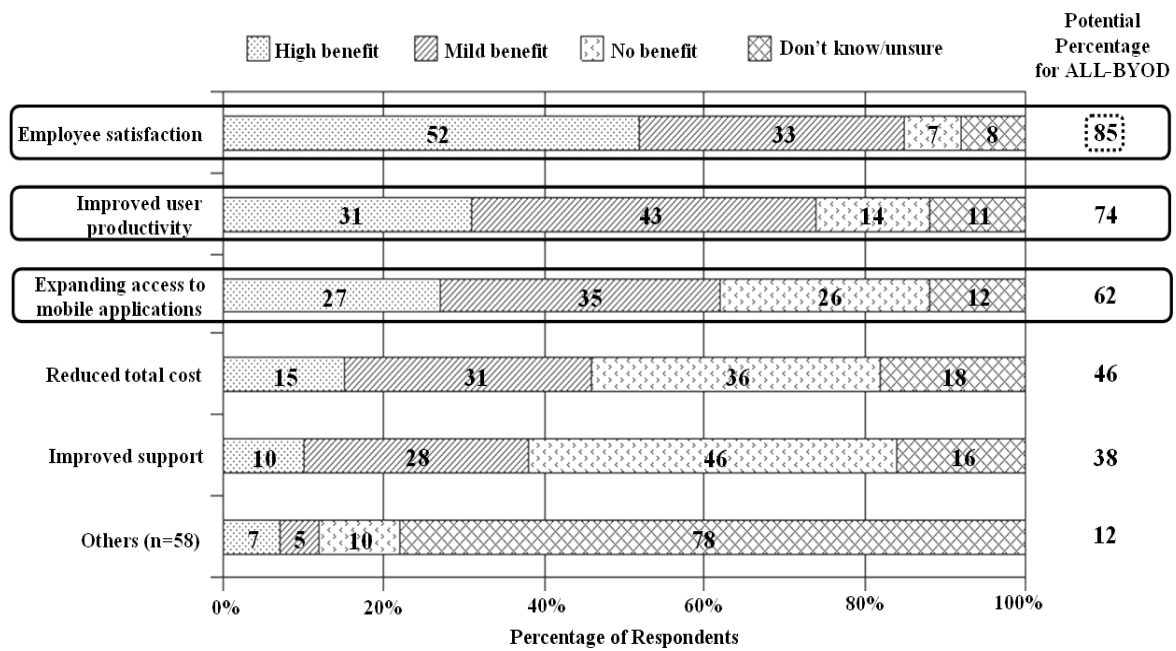


Figure 2. Benefits Realized From Current BYOD Program [12]

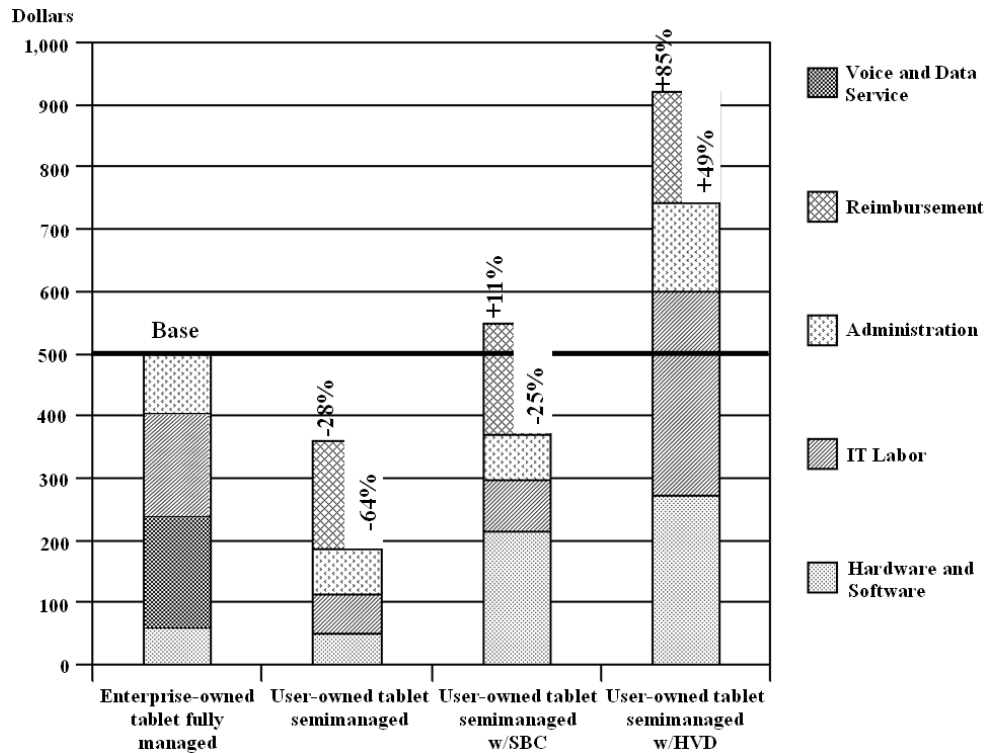


Figure 3. TCO Comparison of Enterprise- and User-Owned Tablets [12]

For new computers we have to purchase licenses for operating systems (Win7 - \$82), office programs (MS Office 2010 - \$180) and antivirus (Norton - \$35), that totally will cost:  $500 \times (\$82 + \$180 + \$35) = \$148,500$ . Maintenance of existent MEO's computers can be approximately accounted on the basement of the price of 1 comp. maintenance per year:  $2,500 \times \$20 = \$50,000$ . Computer renovation implies that 20% of all computers in a year have to be replaced by new ones:  $400 \times (\$500 + \$295) = \$318,000$ . So, according to the Net-Centric Concept and the main goal to be

joined to the Global Educational Environment the total necessary MEO spending for existent infrastructure development during the next year has to be:  $\$250,000 + \$5,000 + \$800 + \$1000 + \$148,500 + \$50,000 + \$318,000 = \$773,300$ .

Probable MEO spending for WLAN infrastructure development and BYOD implementation in its "clean" variant will consist only of Wi-Fi network development (equipment and its deployment) and spending for restricted and unrestricted zones separation. Basing on prices [14] it will cost: routers

D-Link DSR-500 ( $8 \times \$300 = \$2,400$ ); wired cable ( $1,500\text{m} \times \$0.2 = \$300$ ); Wi-Fi routers Cisco SB RV220W ( $20 \times \$350 = \$7,000$ ); deployment works \$1200. Existent computers maintenance per year (50% of existent computers will be used despite of BYOD concept):  $1,000 \times \$20 = \$20,000$ . So, to reach the main goal of MEO the total necessary spending for BYOD/Wi-Fi concept and existent infrastructure maintenance during the next year has to be:  $\$2,400 + \$300 + \$7,000 + \$20,000 = \$29,700$ . Restricted/unrestricted zones separation will consist of payments for student classes movement (\$100,000) and their certification (\$50,000), totally – \$150,000. So, the total necessary spending for BYOD/Wi-Fi policy implementation will be  $\$29,700 + \$150,000 = \$179,700$ .

As we can see the cost benefit for BYOD/Wi-Fi (in a year prospective) is  $\$773,300 - \$179,700 = \$593,600$ . So, we need less than a year to see cost benefit of BYOD/Wi-Fi. In the most difficult case, if we are not able to renovate existent and to buy new computers and need to spend money only to their maintenance:  $2,000 \times \$20 = \$40,000$  per year; in this case the **Response Time** for BYOD/Wi-Fi policy will be  $\$179,700 / \$40,000 = 4.5$  years.

But, according to Willis [12], cost reduction is not universally achievable with BYOD. Many organizations say that they spend more money after implementation of BYOD but even though the savings potential is lackluster, organizations often see other benefits, which are driving investments in BYOD.

### Security Issues

Problems with BYOD security are connected with the End Node Problem [15] that causes some risks: a) employee can lose the device and untrusted parties could retrieve any unsecured data; b) employee can leave the company but company applications and other data may still be present on its device [1].

Mostly BYOD/Wi-Fi, as a new strategy, doesn't have any analogs in Armed Forces so these issues should be considered on the basement of world's best practice separately for both of components: BYOD and Wi-Fi.

On the basement of BYOD research results, highlighted in [16], MEO Staff should: (1) *Set standards* for users by establishing an acceptable-use policy. (2) *Identification* for BYOD is critical. All users (individuals, groups and devices) have to be identified. IT administrators have to establish restrictions and allowances, such as applications and content for individuals, groups and types of devices. (3) *Enforcement*. It's necessary to have employees' signatures as acknowledgement of the rules and their required compliance to participate in the program. (4) *Execute*. It's critical to choose a platform that is agile and scalable enough to not only keep up with user demands and protect corporate assets, but also accommodate emerging technologies as well. (5) *Help*. By providing support, MEO IT can help employees manage devices and access controls, discover potential vulnerabilities and further enforce BYOD policies.

Wi-Fi security issues are based on the vulnerable wireless nature and growing crime cyber activity. The

technical and social aspects should be reflected in MEO's Security Policy that, beside of others, should include [17]: (1) *Register Access Points*. All wireless Access Points / Base Stations connected to the network must be registered and approved by MEO. (2) *Approved Technology*. All WLAN hardware implementations shall utilize Wi-Fi certified devices that are configured to use the latest security features available. (3) *Physical Location*. Security mechanisms should be put in place to prevent the theft, alteration, or misuse of Access Points / Base Stations. (4) *Configuration*. The default SSID and administrative username / password shall be changed on all Access Points / Base Stations. Device management shall utilize secure protocols such as HTTPS and SSH. Access Points / Base Stations should be placed strategically and configured so that the SSID broadcast range does not exceed the physical perimeter of the building/territory. Console access shall be password protected. (5) *Authentication and Transmission*. All wireless access points that connect clients to the internal network (LAN) shall require users to provide unique authentication over secure channels and all data transmitted shall be encrypted with an approved encryption technology. (6) *Internet-only Deployments*. Access Points / Base Stations deployed to provide Internet-only service shall be separated from the internal network by denying all internal services. (7) *Enforcement*. Any employee found to have violated the policy may be subject to disciplinary action up to and including termination of employment.

Following these recommendations MEO will minimize risks of inappropriate information flow and will make convenient environment for Staff and students.

### Implementation Strategy

BYOD/Wi-Fi Implementation Strategy should be based on gradual Wi-Fi equipment deployment following after the initial project approved by Information Security Office. After adoption of all necessary legislative issues for deployment of BYOD/Wi-Fi policy the Staff of MEO have to create a Management Policy.

In [18] the BYOD Deployment Guideline is given. The key point of this Guideline is a Plan for Implementing a BYOD Solution. For good planning an understanding of the current Wi-Fi capacity and coverage is critical. Also Provisioning Infrastructure and Devices as well as Proactively Manage and Troubleshoot have to be the part of BYOD/Wi-Fi Implementation Strategy. Describing BYOD implementation strategy Horwath [19] distinguishes the necessity of specialized group creating: Initiating, Planning, Executive and Monitoring. The task of these groups is to perform projects and plans as well as to control their implementation.

The process of BYOD/Wi-Fi Implementation at MEO should consist of the next steps: (1) Territorial and technical separation of restricted/unrestricted information environment; (2) Wi-Fi infrastructure deployment; (3) Wi-Fi system testing and certification; (4) User and personal devices registration and identification.



### Support of Net-Centricity

**Net-centric** refers to participating as a part of a continuously-evolving, complex community of people, devices, information and services interconnected by a communications network to achieve optimal benefit of resources and better synchronization of events and their consequences [20].

For the most of MEOs integration and cooperation with other universities/colleges is a part of MEO's vision, so their educational environment has to be connected to the World common educational environment that means data exchange, common E-learning etc. Truyen & Van Rentergem [21] establish Net-Centric approach for educational organization as: "highly layered infrastructure that is bound together with open standard protocols, which enable a modular design of the support resources throughout the university and associated networks" [21, p. 12].

The key factors in this case are the large databases used for MEO's educational process: audio-visual material, course materials, courses, course descriptions, dissertations, other data.

### Consequence of Adaptation on Policy

BYOD/Wi-Fi Policy should describe all aspects of MEO's information security but has to be directed to creation of real productive infrastructure. Implementing this policy MEOs can get many advantages that bring them into the world educational level. Avoiding BYOD/Wi-Fi means serious delay for MEO in the quality of education and considerable financial spending for existent infrastructure.

No one new technology comes without risks and vulnerabilities. The most of BYOD/Wi-Fi technical vulnerabilities and risks are connected to Wi-Fi technology but the following use of Wi-Fi networks that threatens data and network security should be banned under most circumstances [22]: (1) Rogue

Access Points (AP) – Unauthorized installation of APs poses a threat to information security; (2) Ad hoc mode – This peer-to-peer mode of Wi-Fi networks actually converts the computers/workstations involved into rogue APs, because any workstation is equivalent to an AP under this mode.

To avoid consequences of BYOD/Wi-Fi policy violation MEO has to reserve the right to disconnect employee's devices or disable services without notification and to take appropriate disciplinary action for noncompliance with BYOD/Wi-Fi policy.

### Conclusion

In face of financial problems for many countries the Bring Your Own Device policy is a good solution for the problem of computer usage in military education. The implementation of this policy in a couple with Wi-Fi network development will allow MEO: to realize the Net-Centric educational strategy, to arise the total number of computers that can be involved into educational process, to get employee's satisfaction and to attract new students. All of this allows providing cost-effective improvement of military education.

Effective implementation of BYOD/Wi-Fi policy at MEO needs to change some legislation on the base of territorial and technical separation of restricted/unrestricted information environment. Some potential risks of BYOD/Wi-Fi implementation can be minimized by all participants' strict precision of information security rules and prescriptions given in Security Policy. Experience, gained from some world MEOs, particularly The National Defense University of the USA, just can confirm the key issues of this article.

In future BYOD/Wi-Fi policy at MEO opens wide possibilities for further IT innovations such as cloud computing, big data store etc.

### References

- 1. Bring your own device.** (2015). Retrieved February 01, 2015, from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bring\\_your\\_own\\_device#cite\\_note-10](https://en.wikipedia.org/wiki/Bring_your_own_device#cite_note-10).
- 2. Laird J.** (2014, November 07). A Brief History of BYOD and Why it Doesn't Actually Exist Anymore. Retrieved February 01, 2015, from Lifehacker.uk: <http://www.lifehacker.co.uk/2014/11/07/brief-history-byod-doesnt-actually-exist-anymore>.
- 3. Rouse M.** Bring your own everything (BYOx) (2014, April). Retrieved February 01, 2015, from TechTarget: <http://searchconsumerization.techtarget.com/definition/bring-your-own-everything-BYOx>.
- 4. Perera D.** BYOD for unclassified at DoD possible in 2014. (2012, July 22). Retrieved February 01, 2015, from Fierce GovernmentIT: <http://www.fierceregovernmentit.com/story/byod-unclassified-dod-possible-2014/2012-07-22>.
- 5. Hickey K.** DOD plan for mobile not BYOD-ready. (2013, March 01). Retrieved February 01, 2015, from Government IT Outcomes Resource Center: <http://gcn.com/articles/2013/03/01/dod-plan-for-mobile-not-byod-ready.aspx>.
- 6. Corrin A.** DoD Pursuing Options for BYOD, SIPRNet mobility. (2014, October 02). Retrieved February 01, 2015, from FederalTimes: <http://archive.federaltimes.com/article/20141002/mob/310020026/dod-pursuing-options-byod-siprnet-mobility>.
- 7. Information Resources Management College.** Bring Your Own Device. (2015). Retrieved February 02, 2015, from iCollege official site: <http://icollege.MEO.edu/Students/BringYourOwnDevice.aspx>.
- 8. Harris M.** What's in Your BYOD World? Biometrics is key to network-centric security. (2013, May 01). Retrieved February 02, 2015, from SecurityToday: <http://security-today.com/articles/2013/05/01/whats-in-your-byod-world.aspx>.
- 9. Wi-Fi.** (2015). Retrieved February 02, 2015, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.
- 10. IEEE 802.11.** (2015). Retrieved February 02, 2015, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>.
- 11. An Introduction to 2.4GHz Technology.** (2015). Retrieved February 05, 2015, from 4Gon: [http://www.4gon.co.uk/solutions/introduction\\_to\\_2\\_4ghz.php](http://www.4gon.co.uk/solutions/introduction_to_2_4ghz.php).
- 12. Willis D.A.** Bring Your Own Device: The Results and the Future. (2014, May 05). Retrieved February 03, 2015, from Gartner: <http://www.gartner.com/document/2730217?ref=QuickSearch&stkw=byod%20efficiency&refval=147131092&qid=10808cac46b21fbc578e2541ea969157>.
- 13. Troni F., Silver M.A.** Understand the Financial Impacts of BYOD. (2014, December 04). Retrieved February 02, 2015, from Gartner: <http://www.gartner.com/document/2935917?ref=QuickSearch&stkw=byod&refval=147083479&qid=dd307bb5fecfc9c8759a04aa1ff5b1b9>.
- 14. Internet shop Rozetka** (2015). Retrieved February 10, 2015, from Rozetka.com: <http://rozetka.com.ua>.
- 15. End node problem.**

- (2015). Retrieved February 01, 2015, from Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/End\\_node\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/End_node_problem). **16. Angeles S.** BYOD Security: 5 Risk Prevention Strategies. (2014, August 06). Retrieved February 04, 2015, from BusinessNewsDaily: <http://www.businessnewsdaily.com/6924-byod-security-policy.html>. **17. Wireless LAN Security Policy.** State of Maryland. The Department of Information Technology. (2014). Retrieved February 04, 2015, from DoIT: [http://doit.maryland.gov/support/Documents/security\\_guidelines/DoITWirelessCommunicationPolicy.pdf](http://doit.maryland.gov/support/Documents/security_guidelines/DoITWirelessCommunicationPolicy.pdf). **18. BYOD Best Practices, Requirements and Challenges.** (2013). Retrieved February 04, 2015, from MeruNetworks: <http://www.merunetworks.com/collateral/white-papers/wp-byod-implementation-whitepaper-for-wlan-security.pdf>. **19. Horwath J.** Managing the Implementation of a BYOD Policy. GIAC (GCPM) Gold Certification. (2013). Retrieved February 04, 2015, from SANS Institute InfoSec Reading Room: <http://www.sans.org/reading-room/whitepapers/leadership/managing-implementation-byod-policy-34217>. **20. Net-centric** (2015). Retrieved February 05, 2015, from Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Net-centric>. **21. Truyen F.,** Van Rentergem L., Preparing the University Information Architecture for Net-centric E-learning and Research: a case-study. (2006). Retrieved February 05, 2015, from Leuven: [http://www.virtualschoolsandcolleges.eu/images/0/0f/EQIBELT\\_KULeuven\\_Truyen\\_paper.pdf](http://www.virtualschoolsandcolleges.eu/images/0/0f/EQIBELT_KULeuven_Truyen_paper.pdf). **22. Du H.,** Zhang, C. Risks and Risk Control of Wi-Fi Network Systems. (2006). Retrieved February 05, 2015, from Information Systems Control Journal: <http://www.isaca.org/Journal/Past-Issues/2006/Volume-4/Documents/jpdf0604-risks-and-risk-control.pdf>.

## ПОЛІТИКА “ПРИНЕСИ СВІЙ ПРИЛАД” ТА WI-FI ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ВІЙСЬКОВОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

*Віталій Анатолійович Савченко (д-р техн. наук, с.н.с.)*

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

*У статті досліджується концепція поєднання політики “Принеси свій прилад” та Wi-Fi технології з існуючою інформаційною політикою та інфраструктурою типового військового навчального закладу. В умовах фінансових обмежень багато військових навчальних закладів в багатьох країнах зіштовхнулися з проблемою оновлення комп’ютерної техніки. Для того щоб надати працівникам та слухачам (курсантам) можливість ефективно працювати в умовах неможливості оновлення комп’ютерної техніки повинна бути прийнята нова політика “Принеси свій прилад”. Ця політика безпосередньо пов’язана з розвитком Wi-Fi інфраструктури організації. Очевидно, що впровадження цієї політики разом з Wi-Fi технологією дозволить військовому навчальному закладу долучити до інформаційного процесу не лише існуюче комп’ютерне обладнання, але й значну кількість особистих засобів. На сьогоднішній день використання безпроводових технологій у багатьох військових організаціях заборонено через заходи інформаційної безпеки тому у статті розглянуто переваги нового підходу з точки зору мережецентричності, ефективності, надійності, безпеки та вартості. Стаття базується на досвіді автора та відображає його пропозиції виключно для нетаємного інформаційного середовища а також пов’язані з цим потенційні фінансові переваги.*

**Ключові слова:** Політика “Принеси свій прилад”; Wi-Fi; військовий навчальний заклад.

## ПОЛІТИКА “ПРИНЕСИ СВОЙ ПРИБОР” И WI-FI ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ВОЕННОГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

*Виталий Анатольевич Савченко (д-р техн. наук, с.н.с.)*

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

*В статье исследуется концепция интеграции политики “Принеси свой прибор” и Wi-Fi технологии с существующей информационной политикой и инфраструктурой типового военного учебного заведения. В условиях финансовых ограничений многие военные учебные заведения во многих странах столкнулись с проблемой обновления компьютерной техники. Для того чтобы предоставить персоналу и слушателям (курсантам) возможность эффективно работать в условиях невозможности обновления компьютерной техники должна быть принята новая политика “Принеси свой прибор”. Эта политика непосредственно связана с развитием Wi-Fi инфраструктуры организации. Очевидно, что внедрение этой политики вместе с Wi-Fi технологией позволит военному учебному заведению привлечь к информационному процессу не только существующее компьютерное оборудование, но и значительное количество личных средств. На сегодняшний день использование беспроводных технологий во многих военных организациях ограничено из-за требований по информационной безопасности поэтому в статье рассмотрены преимущества нового подхода с точки зрения сетевцентричности, эффективности, надежности, безопасности и стоимости. Статья базируется на опыте автора и отображает его предложения исключительно для несекретного информационного пространства а также связанные с этим потенциальные финансовые выгоды.*

**Ключевые слова:** Политика “Принеси свой прибор”; Wi-Fi; военное учебное заведение.

Отримано: 21.05.2015 р.

<sup>1</sup>Дмитро Анатолійович Чопа (канд. техн. наук, с.н.с.)<sup>2</sup>Анатолій Йосипович Дерев'янчук (канд. техн. наук, професор)<sup>2</sup>Денис Русланович Москаленко<sup>1</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна<sup>2</sup>Сумський державний університет, Суми, Україна

## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ СПРОЦЕНИХ ЕЛЕКТРОННИХ СИМУЛЯТОРІВ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ КОМПЛЕКСІВ

У статті розглядається принцип створення електронного симулятора стрільби прямим наведенням причіпної артилерійської системи. Пропонується варіант вирішення проблеми підвищення безпеки військовослужбовців під час виконанні бойових стрільб шляхом якісної та швидкої підготовки особового складу, використовуючи комп'ютерні симулятори. Надаються основні характеристики та можливості розроблюваного комп'ютерного симулятора стрільби прямою наводкою, та обґрунтовується доцільність використання таких симуляторів під час підготовки навідників, командирів гармати на практичних заняттях. Приводиться загальна конструктивна схема електронного симулятора стрільби прямим наведенням на базі 122-мм гаубиці Д-30. Надаються переваги застосування електронних симуляторів у період складної військово-політичної ситуації, що вимагає підготовки якісних фахівців у стислі терміни, та відсутності достатньої кількості годин для проведення практичних занять.

**Ключові слова:** електронний симулятор; стрільба прямим наведенням; конструктивна схема симулятора стрільби прямим наведенням для причіпних гармат; комп'ютерна графіка; модульне програмне забезпечення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одною з проблем, що стоять перед Збройними Силами України, є підвищення безпеки військовослужбовців під час виконання бойових стрільб. Відомо, що під час проведення навчань з бойовою стрільбою безпека військовослужбовців повністю залежить від попереднього тренування, тобто відпрацювання основних операцій стосовно бойових стрільб. Недосконалість знання з поводження з озброєнням і боеприпасами призводить до значної кількості не тільки аварій, а й до загибелі людей з вини особового складу обслуги гармати.

Це особливо актуально під час підготовки особового складу, що призваний за мобілізацією, та призначений для комплектування артилерійських підрозділів, які будуть виконувати завдання в зоні АТО.

В останні роки відслідковується тенденція підвищення вимог у сфері безпеки проведення практичних навчань з бойовою стрільбою, що вимагає необхідності створення комп'ютерних тренажерів для навчання обслуги артилерійських комплексів.

Сучасні артилерійські комплекси – це сукупність складного озброєння і військової техніки (ОВТ). Вони включають, як засоби доставки боеприпасів (засоби вогневого ураження) і самих боеприпасів до цілі, так і засобів забезпечення стрільби (засоби розвідки, зв'язку і управління, бойового забезпечення, метео- і топозабезпечення тощо).

Під час роботи з таким складним ОВТ, потрібні висококваліфіковані номери обслуги, оператори, які повинні бути спеціально навчені. Ці люди несуть велику відповідальність за наслідки тих рішень, які вони приймають під час виконання вогневого завдання.

За деякими оцінками під час артилерійських стрільб досить великий відсоток аварій із загибеллю людей відбувається за вини навідників, операторів і інших членів обслуг артилерійських комплексів, збитки від таких наслідків непомірно великі у порівнянні із засобами, які необхідно витратити на якісне і постійне навчання обслуги.

Тому проблема навчання обслуги артилерійських комплексів притягує до себе все більше уваги і на даний час є вкрай актуальною.

На теперішній час у військових навчальних закладах поряд із традиційними проходять апробацію та впроваджуються нові інформаційні технології навчання, зокрема, із застосуванням комп'ютерних симуляторів.

Історично склалося так, що об'єктами моделювання на тренажерах стали, в першу чергу, процеси, в яких навчання на реальних об'єктах може привести до важких наслідків або процеси, реальне виконання яких під час навчання ускладнено або неможливо. У нинішніх умовах, в першу чергу, це стосується дій, які виконуються під час бойових стрільб.

**Останні дослідження та публікації.** У цілому, створенню і застосуванню навчальних тренажерів у відкритій для публікації науковій літературі

приділяється достатня увага. Про це переконливо свідчить множина доповідей на науково-практичних конференціях “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ”, які проводить Академія Сухопутних військ (м. Львів). Зауважимо, що розроблення та застосування навчальних тренажерів, в тому числі і комп’ютерних, широко використовується для тренування військовослужбовців в армії США.

Найбільш широке розповсюдження мають сучасні тренажери для фахівців танкових підрозділів [1, 10, 12]. Як правило, це комплексні системи, що поєднують як механічні складові, так і комп’ютерні, з одночасним контролем вмінь та навичок навчаних.

Окремі роботи [12, 13] присвячені висвітленню ролі та місця навчально-тренувальної бази та обґрунтовані потреби їх для підготовки фахівців механізованих (танкових) підрозділів.

Авторами наукових праць [6-8] запропоновано основні напрями розвитку навчально-тренувальних засобів ракетних військ та артилерії, розроблені основні тренувальні задачі з використанням тренажерів.

Слід зазначити, що проблемою розроблення і застосування тренажерної бази займаються і в інших галузях, зокрема для підготовки фахівців автомобільної служби [9], і для вогневої підготовки військовослужбовців [1]. Рамки статті не дозволяють зупинитися більш детально на позиціях інших авторів з даної проблеми. Але їх аналіз показав, що на зміну традиційних технологій навчання приходять нові методи – комп’ютерні технології.

**Метою і завданням статті** є дослідження дидактичних можливостей сумісного впровадження мультимедійних технологій навчання і реальних зразків ОВТ та її апробацією на кафедрі військової підготовки.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Можна зазначити, що комп’ютерні технології в системі військових фахівців для ЗСУ мають надзвичайну актуальність, що зумовлено низкою причин.

По-перше, характерною рисою сьогодення є військово-політична ситуація, що вимагає якісної підготовки фахівців у стислі строки;

по-друге, сучасне ОВТ відрізняється від попередніх підвищеними тактико-технічними характеристиками (ГТХ), що ускладнюють його будову і експлуатацію;

по-третє, відсутність достатньої кількості годин для практичного виконання робіт;

по-четверте, дефіцит паливно-мастильних матеріалів та засобів для виконання тренувань із бойовою стрільбою.

Використання навчальних комп’ютерних симуляторів, їх конкретних моделей та технологій навчання дозволяє створювати відповідні

розширені можливості для засвоєння матеріалу і відпрацювання практичних питань. Симулятори завдяки комп’ютерному моделюванню ситуації розширюють спроможності зорового та слухового сприйняття навчального матеріалу, коли кожен слухач здатний сприйняти і обробити більшу кількість матеріалу, повторити ситуацію і знайти оптимальне рішення, отримати візуалізацію реальної ситуації в якій він апріорі некомпетентний.

Одним із аспектів невирішеної проблеми успішного навчання з військово-технічних дисциплін і набуття практичних навичок є відсутність зазначених симуляторів. Особливо гостро ця проблема стоїть під час відпрацювання практичних навичок стрільби прямим наведенням як по нерухомих, так і по рухомих цілях, так як за сучасним станом озброєння (в тому числі і недостатній його кількості) у вирішенні цієї проблеми виникають певні труднощі.

Виклад суті й результатів дослідження розпочнемо з того, що на кафедрі військової підготовки поспіль вже декількох років відбувається перехід від створення та використання на заняттях статичних зображень і презентацій створених в Microsoft PowerPoint до створення навчальних відеофільмів, відеороликів, спеціальних програм тощо.

Так, було створено декілька мультимедійних засобів навчання (зразки озброєння, тренажер-самовчитель, тощо) у відповідності до програми “Артилерійське озброєння”.

Поштовхом для подальшого удосконалення програмних продуктів стало дослідження можливостей створення електронно-механічного симулятора навідника під час стрільби прямим наведенням у реальному часі-просторі. Загальна схема такого симулятора представлена на рис.1.

Першою особливістю такого симулятора є те, що із прицілу типу ОП4М виймається плоско-паралельна пластина із сіткою (шкалами прицілу) і замінюється на пластинку із прозорого пластика із зазначеними шкалами та установлюється у перегорнутому у двох площинах вигляді.

Друга особливість симулятора полягає у кріпленні прицілу, що розгорнутий на 180°, та підсвітленням потужним джерелом світла в його об’єктив.

Така конструкція дає змогу чітко спостерігати на екрані реальне зображення складових сітки прицілу (рис.2.).

Третя особливість симулятора полягає у застосовуванні прикладного програмного забезпечення. Воно у своєму складі містить модулі, що відповідають за симуляцію реальних характеристик польоту снаряда у просторі, балістичної та технічної підготовки, просторове положення ствола гармати та кутів прицілювання на прицілі (задаються за допомогою датчиків).

Крім того, при промахах по цілі є можливість корекції стрільби як у вертикальній, так і горизонтальній площинах.

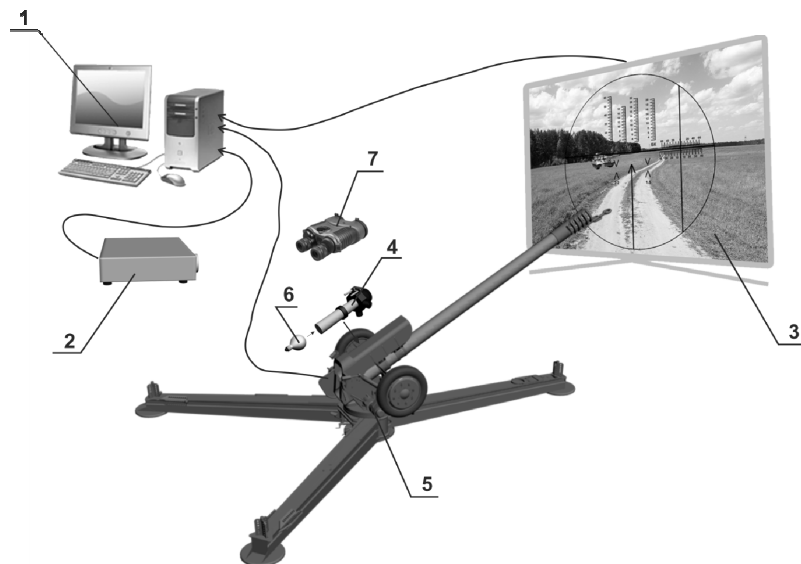


Рис. 1. Загальна схема симулятора: 1 – комп’ютер; 2 – мультимедійний проектор; 3 – екран; 4 – приціл типу ОП4М; 5 – гармата або її макет; 6 – потужне джерело світла; 7 – бінокль командира гармати



Рис. 2. Зображення сітки прицілу типу ОП4М на екран

Невід’ємною важливою складовою симулятора є наявність можливості ускладнювати відпрацювання стрільби прямим наведенням завдяки наданню програмним забезпеченням, яке відповідає за “дії противника”, додаткових факторів (стрільба цілі по гарматі, додавання різних погодних умов, особливостей місцевості та ін.), що надає можливість тренувати навички навідника згідно з нормативами курсу підготовки артилерії.

Сутність дії симулятора полягає у наступному. При включенні всіх складових симулятора на екрані відображається один із варіантів місцевості і цілі. Командир гармати визначає необхідні дані для прицілювання, дає установки навіднику і останній наводить гармату на ціль та здійснює постріл. Спостерігаючи за розривом снаряда, вводить поправки і продовжує стрільбу.

Без сумніву здобутком застосування такого симулятора є можливість спостерігати всім

взводом студентів за діями навідника, прослуховувати команди тощо.

Характерною рисою таких симуляторів є їх простота виготовлення та низька вартість.

Варто також зазначити, що використання таких симуляторів усуває можливі важкі наслідки, які можуть виникати при реальному навчанні на бойовій техніці, яку у нинішніх умовах неможливо використовувати як навчальну.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Застосування комп’ютерних симуляторів у навчальному процесі не тільки викликає інтерес до навчання, а й прищеплює первинні практичні навички у відпрацюванні навідником операцій під час стрільби прямим наведенням.

Подальші дослідження полягають у створенні програм польоту снарядів різного призначення (кумулятивного, осколково-фугасного тощо), застосуванні різних типів засобів спостереження.

### Література

1. Варванець Ю. В. Навчально-тренувальні засоби у системі підготовки спеціалістів танкових і механізованих підрозділів /Варванець Ю. В., Калінін О. М., Палюх В. М., Русіло П. О.// Збірка тез доповідей

Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С. 41.  
2. Дерев’янчук А. Й. Впровадження 3D-моделей для

вивчення військово-технічних дисциплін та підвищення рівня засвоєння навчальної інформації /Дерев'янчук А. Й.// Військова освіта., збірник наукових праць №24. – К., 2011. С. 103–110. **3. Дзюбчук Р. В.** Автоматизований програмно-технічний комплекс для навчання правильному прицілюванню та влучній стрільбі з пістолета Макарова /Дзюбчук Р. В., Нагорнюк О. А., Поляков М. С.// Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2009. – С.57. **4. Дорошев О. І.** Оснащення сухопутних військ ЗСУ сучасними навчально-тренувальними засобами – один із шляхів підвищення якості бойової підготовки частин і підрозділів / Дорошев О. І.// Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2009. – С.59. **5. Кожевніков В. М.** Застосування комп’ютерних ігор для навчання та тренування військовослужбовців армії США. /Кожевніков В.М.// Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2009. – С.76. **6. Козубцов І. М.** Концепція самостійного навчання курсантів сухопутних військ на навчально-тренувальних засобах методом гри на віртуальному комп’ютері /Козубцов І. М.// Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2009. – С.77. **7. Красник Я. В.** Напрямок розвитку навчально-тренувальних засобів ракетних військ і артилерії Сухопутних військ /Красник Я. В., Попович Т. Д., Красник М. Я.// Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки

Сухопутних військ” – Львів., 2009. – С.88. **8. Красник Я. В.** Основні тренувальні задачі з використанням навчально-тренувальних засобів для частини ракетних військ /Красник Я. В., Калитич В. М., Андреев І. М.// Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С.93. **9. Красник Я. В.** Пропозиції щодо порядку створення навчально-тренувальних засобів частини ракетних військ /Красник Я. В.// Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С.94. **10. Купріненко О. М.** Рациональна номенклатура навчально-тренажерних засобів для підготовки фахівців автомобільної служби на період до 2015 року /Купріненко О. М., Костюк В. В., Белена В. П.// Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С.101. **11. Смоляков В. А.,** Гужва Ю. М., Нефедов А. В., Новокрещенов А. А., Карпов Д. А. Опыт эксплуатации тренажеров, разработанных КП ХКБМ, в вооруженных силах Украины /Смоляков В. А., Гужва Ю. М., Нефедов А. В., Новокрещенов А. А., Карпов Д. А.// Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С.219. **12. Черв’яков С. О.,** Яковлев М. Ю. Визначення потреби у сучасних навчально-тренувальних засобах для підготовки фахівців механізованих (танкових) підрозділів Сухопутних військ Збройних Сил України /Черв’яков С. О., Яковлев М. Ю.// Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ” – Львів., 2010. – С.164.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ УПРОЩЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ СИМУЛЯТОРОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ

<sup>1</sup>Дмитрий Анатолиевич Чопа (канд. техн. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Анатолий Йосифович Дерев'янчук (канд. техн. наук, профессор)

<sup>2</sup>Денис Русланович Москаленко

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

<sup>2</sup>Сумской государственной университет, Сумы, Украина

*В статье рассматривается принцип создания электронного симулятора стрельбы прямой наводкой буксируемой артиллерийской системы. Предлагается способ решения проблемы повышения безопасности военнослужащих при выполнении боевых стрельб, путем качественной и быстрой подготовки личного состава, используя компьютерные симуляторы. Предоставляются основные характеристики и возможности разрабатываемого компьютерного симулятора стрельбы прямой наводкой, и обосновывается целесообразность использования таких симуляторов при подготовке наводчиков, командиров орудия на практических занятиях. Приводится общая конструктивная схема электронного симулятора стрельбы прямой наводкой на базе гаубицы Д-30. Показываются преимущества применения электронных симуляторов в период сложной военно-политической ситуации, требующей подготовки качественных специалистов в сжатые сроки, и отсутствия достаточного количества часов для проведения практических занятий.*

**Ключевые слова:** электронный стимулятор; стрельба прямой наводкой; конструктивная схема симулятора стрельбы прямой наводкой для буксируемых орудий; компьютерная графика; модульное программное обеспечение.

## THE BASIC PRINCIPLES OF CREATING A SIMPLIFIED ELECTRONIC SIMULATORS ARTILLERY SYSTEMS

<sup>1</sup>Dmitry A. Chopa (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)

<sup>2</sup>Anatoliy Y. Dereviyanchuk (Candidate of Technical Sciences, Professor)

<sup>2</sup>Denys R. Moskalenko<sup>1</sup>National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine<sup>2</sup>Sumy State University, Sumy, Ukraine

The article deals with the principle of creating an electronic simulator direct fire towed artillery systems. The ways to improve the safety of soldiers in combat firing by quality and quick training of personnel, using computer simulations. It provides the basic features and capabilities of computer simulator developed direct fire, and the expediency of the use of simulators in the training of gunners and commanders gun on practical training. A general structural diagram of an electronic simulator direct fire on the basis of the D-30 howitzers. Shows the advantages of using electronic simulators during the complex military-political situation, which requires the preparation of high-quality professionals in a short time, and the lack of a sufficient number of hours for practical classes.

**Keywords:** electronic simulator; constructive scheme of electronic simulator for direct fire towed artillery system; computer graphics; modular software.

### References

- 1. Varvanets Yu.V., Kalinin O.M., Paliukh V.M., Rusilo P.O.** (2010), Educational and training facilities in the system of training specialists armored and mechanized units. [Navchalno-treivalnykh zasoby u systemi pidhotovky spetsialistiv tankovykh i mekhanizovanykh pidrozdiliv], "Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces" Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 41.
- 2. Derevjanchuk A.Y.** (2011), The introduction of 3D-models for the study of military-technical disciplines and improve learning information. [Vprovadzhennia 3D-modelei dlia vyvchennia viiskovo-tekhnychnykh dystsyplyn ta pidvyshchennia rivnia zasvoiennia navchalnoi informatsii], Military Education, Kyiv, No 24., pp. 103-110.
- 3. Dziubchuk R.V., Nahorniuk O.A., Poliakov M.S.** (2009) Automated software complex for teaching proper aiming and marksmanship from a Makarov pistol. [Avtomatyzovanni prohramno-tekhnychnyi kompleks dlia navchannia pravylnomu prytsiliuvanniu ta vluhnyii strilbi z pistoleta Makarova], "Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces" Collection of Abstracts of the Second All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 57.
- 4. Doroshev O.I.** (2009), Equipping the Army of the Armed Forces with modern educational and training facilities - one of the ways to improve the quality of military training units. [Osnashchennia sukhoputnykh viisk ZSU suchasnymy navchalno-treivalnymy zasobamy – odyz iz shliakhiv pidvyshchennia yakosti boiovoi pidhotovky chastyn i pidrozdiliv], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Second All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 59.
- 5. Kozhevnikov V.M.** (2009), The use of computer games for education and training of U.S. Army. [Zastosuvannia kompiuternykh ihor dlia navchannia ta trenuvannia viiskovosluzhbovtziv armii SShA], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Second All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 76.
- 6. Kozubtsov I.M.** (2009), The concept of self-training of the Army on educational and training facilities by playing on a virtual machine. [Kontseptsiia samostiinoho navchannia kursantiv sukhoputnykh viisk na navchalno-treivalnykh zasobakh metodom hry na virtualnomu kompiuteri], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Second All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 77.
- 7. Krasnyk Ya.V., Popovych T.D., Krasnyk M.Ya.** (2009), Reas of educational and training facilities missile forces and artillery of the Land Forces. [Napriamky rozvytku navchalno-treivalnykh zasobiv raketnykh viisk i artylerii Sukhoputnykh viisk], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Second All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 88.
- 8. Krasnyk Ya.V., Kalytych V.M., Andreiev I.M.** (2010), Basic training problems using educational and training facilities for part of missile forces. [Osnovni treivalni zadachi z vykorystanniam navchalno-treivalnykh zasobiv dlia chastyny raketnykh viisk], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 93.
- 9. Krasnyk Ya.V.** (2010), Suggestions for agenda creation of training facilities of the Rocket Forces. [Propozytsii shchodo poriadku stvorennia navchalno-treivalnykh zasobiv chastyny raketnykh viisk], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 94.
- 10. Kuprinenko O.M., Kostyuk V.V., Belena V.P.** (2010), Rational range of training and simulator tools for training in automotive service until 2015. [Ratsionalna nomenklatura navchalno-trenazhernykh zasobiv dlia pidhotovky fakhivtsiv avtomobilnoi sluzhby na period do 2015 roku], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 101.
- 11. Smoliakov V.A., Huzhva Yu.M., Nefedov A.V., Novokreshchenov A.A., Karpov D.A.** (2010), Operating experience simulators KP KhKBM in the armed forces of Ukraine. [Opiyt ekspluatatsiy trenazherov, rozrobotannikh KP KhKBM, v vooruzhennikh sylakh Ukraini], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 219.
- 12. Chervikov S.O., Yakovliev M.Yu.** (2010), Determining the need for advanced educational and training facilities for training mechanized (armored) units of Land Force Ukraine. [Vyznachennia potreby u suchasnykh navchalno-treivalnykh zasobakh dlia pidhotovky fakhivtsiv mekhanizovanykh (tankovykh) pidrozdiliv Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy], Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces. Collection of Abstracts of the Third All-Ukrainian Scientific Conference, Lviv, p. 164.

Отримано: 29.05.2015 року



Віктор Євгенович Бобильов (канд. військ. наук, с.н.с.)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ НА ОСНОВІ ЗВОРОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В статті розглянута та проаналізована концепція зворотного зв'язку, її вплив на процес управління військами у ході ведення бойових дій. Визначені її позитивні та негативні сторони. На основі проведеного аналізу пропонуються підходи до використання зворотного зв'язку під час управління військами. Визначені підходи дозволять офіцерам органів військового управління переглянути свої погляди на процес прийняття рішення під час управління військами у ході ведення бойових дій.

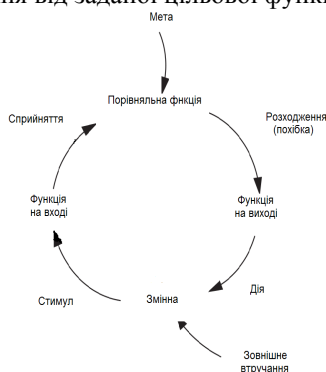
**Ключові слова:** особа яка приймає рішення; управління військами; зворотній зв'язок.

### Вступ

Управління військами у ході ведення бойових дій здійснюється на основі концепції зворотного зв'язку. Принцип зворотного зв'язку є одним із першорядних під час управління функціонуванням системами військового призначення (підрозділ, частина, угруповання військ).

Реалізація прийнятих командиром (особою, яка приймає рішення (ОПР)) рішень завжди ґрунтується на концепції зворотного зв'язку. Тому нижче розглянемо використання концепції зворотного зв'язку у військовій сфері.

**Постановка проблеми.** Як домогтися стабільності функціонуючої системи, в тому числі і військового призначення, наприклад, в ході ведення бойових дій? Як підтверджують раніше проведені дослідження, деяка змінна в системі може постійно підтримуватися в певному стані або ж бути змінена до певного (цільового) рівня. Це відбувається за допомогою зміни певної змінної системи при отриманні інформації про її відхилення від заданої цільової функції.



**Рис. 1. Ілюстрація принципу дії зворотного зв'язку**

“Вхідна” функція на рисунку 1 формує вплив на систему, яка потім порівнюється з цільовою функцією системи; у разі розбіжності (“похибки”) між цільовою функцією системи і станом системи після впливу “на виході” формується функція виконання дії зі змінною.

Таким чином, подібний цикл повторюється до тих пір, поки система не прийде в рівновагу -

тобто поки значення змінної оптимізує цільову функцію системи. Сама змінна може змінюватися внаслідок зовнішнього впливу, наприклад, зміни оперативного-тактичної обстановки в ході ведення бойових дій.

Пізніше такі системи отримали назви “адаптивних”, оскільки вони не тільки реагують на навколишнє оточення, але і можуть активно впливати на нього завдяки механізму прямої і зворотної передачі інформації - так званого зворотного зв'язку. Коригувальний зворотний зв'язок (відомий також як “балансуючий”, “негативний”) дозволяє управляти поведінкою системи (об'єкта) [2].

Для системи немає необхідності усвідомлювати природу зовнішнього впливу, необхідно лише знання про поточний стан змінної, для систем військового призначення - оперативного-тактичної обстановки. Приклади дії коригуючого механізму зворотного зв'язку зустрічаються повсюдно в тому числі і у системах військового призначення.

Нижче розглянемо як коригувальний зворотний зв'язок впливає на поведінку системи військового призначення в ході її функціонування в умовах бойових дій.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Поява концепції зворотного зв'язку прийнято безпосередньо пов'язувати з працями американського вченого Норберта Вінера. У 1943 році А. Розенблют, Н. Вінер і Дж. Бігелу [9] розробили опис процесу обробки інформації, що отримав пізніше назву системи контролю (control system).

У своїй книзі “Кібернетика”, що вийшла в 1948 році, Вінер вперше відзначив такий важливий фактор, як “відкритість” системи, завдяки якому система активно взаємодіє із зовнішнім середовищем і зберігає відносну стійкість.

Теорія Розенблюма, Вінера і Бігелу отримала широкий резонанс у науці. У своїх більш пізніших працях Н. Вінер обґрунтував, що інформаційні потоки (комунікація) між організмами або машинами і навколишнім середовищем ґрунтуються на концепції зворотного зв'язку, завдяки якій підтримується стабільність системи в цілому [2]. Дана концепція також отримала

© В.Є. Бобильов



широкий резонанс завдяки легкості обґрунтування припущення про те, що деякі системи могли бути частинами систем більш високого рівня (так званими “підсистемами”) [3]. Внаслідок цих двох передумов - прагнення систем до стабільності і можливості бути підсистемою – до середини 1950-х років кібернетика і системна парадигма науки сформувалися в більш-менш інтегровану концепцію системного мислення [8].

Незважаючи на те, що формальний механізм концепції зворотного зв'язку був описаний математично в інженерних науках, до середини ХХ століття концепція зворотного зв'язку була прийнята і/або знайшла відображення в різних наукових дисциплінах – в психології [4], педагогіці, біології та ін. Теорія контролю і концепція зворотного зв'язку зробили помітний вплив на формування теорії поведінкових наук (behavioral science), а також на управлінські науки. Постулат про те, що зворотний зв'язок визначає поведінку та навчання, в даний час знаходить широке застосування в управлінській науці.

**Метою** даної статті є визначення ролі концепції зворотного зв'язку у процесі управління військами в ході бойових дій.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Управління бойовими діями з урахуванням концепції зворотного зв'язку ґрунтується на припущенні про те, що оперативно-тактична обстановка, що складається в ході ведення бойових дій, являє собою складну систему з нелінійною поведінкою і часто неочевидною динамікою взаємодії її підсистем між собою. Відповідно, при стрімко зростаючій складності процесів управління, турбулентності і невизначеності оперативно-тактичної обстановки, що складається, прийняття рішень з метою поліпшити (виправити) поточну ситуацію часто призводить до прямо протилежного результату. Джей Форрестер називав даний феномен “контр-інтуїтивною поведінкою соціальних систем” (counterintuitive behavior of social systems).

Існує чимало досліджень, що описують феномен контр-інтуїтивної поведінки систем, приклади з них наведено нижче:

впровадження інформаційних технологій не привело до появи безпаперових органів військового управління – насправді, більш ефективна та швидка обробка інформації сприяла значному збільшенню споживання паперу;

застосування зброї масового ураження призвело до істотного забруднення навколишнього середовища;

розробка перспективної зброї, заснованої на нових фізичних принципах, не збільшує гарантій мирного співіснування народів планети, а навпаки збільшує ймовірність повного знищення людства.

Фактично будь яка контр-інтуїтивна поведінка системи військового призначення є наслідком безграмотного або невмілого управлінського втручання з боку ОПР (командира). Головною причиною такого роду втручань є особливості прийняття ОПР оперативно-тактичної

обстановки, що складається, – тенденція інтерпретувати реальність у жорстких зв'язках причини та її наслідків [1, 6].

Такого роду підхід (подієвий підхід) призводить до фрагментарного сприйняття оперативно-тактичної обстановки, що динамічно змінюється. Командиром робиться оцінка поточної ситуації, отримані дані порівнюються з задачами та цілями, що поставлені перед військами, а потім приймається рішення щодо коригування раніше прийнятого рішення, яке, за задумом командира, має призвести до певного очікуваного результату бою.

Офіцери органів військового управління звикли мислити в категоріях причина-наслідок: усіяка подія має причину, яка, в свою чергу, має причину, і т.п. і т.д. Наприклад, міркування може будуватися приблизно за такою схемою: втрати супротивника вирости, тому що посилюється вогневий вплив на нього. Боєприпасів стало менше, тому що підрозділи забезпечення не підвезли їх своєчасно і т.п.

Схема типового процесу мислення представлена на рисунку 2.

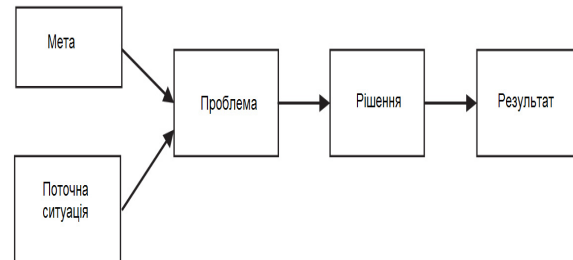


Рис. 2. Схема лінійного управлінського мислення

“Опір” і “збої” – це те, що фахівці з системної динаміки називають “контр-інтуїтивною” поведінкою систем, виникають внаслідок нерозуміння (або непорозуміння) офіцерами органів військового управління механізму зворотного зв'язку у системі. Їх дії з повернення системи у вихідне положення не тільки часто виявляються безрезультатними, а й запускають механізм так званих побічних явищ (ефектів) (side effects), які стають наслідком їх занадто вузького і обмеженого розуміння систем військового призначення, які є досить складними системами. Оскільки причина і наслідок далеко не завжди явно очевидні і чітко взаємопов'язані в часі, у складних системах подібні зв'язки часто залишаються непомітними у результаті тривалої часової протяжності їх функціонування (ведення бойових дій).

“Лінійна” парадигма мислення значно знижує якість прийнятих рішень, обмежуючи ОПР найбільш простими і поверхневими рішеннями. Найбільш сильно наше мислення обмежують такі припущення:

результат впливає з конкретної причини (наприклад: застосування високоточної зброї призводить до зростання знищених об'єктів противника, зростання втрат особового складу знижує боєздатність військ тощо);

взаємозв'язки між причиною і наслідком прями, без запізнювання (тобто реакція йде відразу) і досить тривалі (що дозволяє нам безпомилково встановити причину і наслідок);

майбутнє легко передбачуване;  
підвищення ефективності – це позитивна тенденція;

проблема не існує або не є серйозною до тих пір, поки вона не піддається виміру (зазвичай людина прагне вимірювати те, що піддається виміру, а не те, що необхідно вимірювати).

Такого роду спосіб мислення часто призводить до того, що дії, спрямовані на вирішення певних завдань, що виникають в ході бою, лише створюють нові.

Однак внаслідок ефектів запізнювання і

складності поведінки систем військового призначення помилкові рішення продовжують знову і знову застосовуватися на практиці.

### Висновки

Таким чином, для успішного управління складними системами, якими є системи військового призначення, необхідно насамперед зрозуміти механізм їх функціонування, а потім визначити точки впливу управлінської дії на систему з відповідними заходами щодо коригування її поведінки. Більш коректне розуміння механізму функціонування складних систем військового призначення можливо при аналізі процесів їх функціонування на основі зворотного зв'язку.

### Література

1. **Берталанфі Л.** Общая теория систем: Критический обзор / Л. Берталанфи // Исследования по общей теории систем, – 1969. – С. 23–82. 2. **Винер Н.** Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983. 3. **Boulding K. E.** General systems theory — the skeleton of science / K. E. Boulding // Management Science. – 1956. – 2. – pp. 197–208. 4. **Cannon W. B.** The Wisdom of the Body. New York: Norton, 1939. 5. **Lord R. G.** Moving from cognition to action: A control theory perspective / R. G. Lord, P. E. Levy // Applied Psychology: An International Review. – 1994. – 43. pp. 335–398.

6. **Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H.** Plans and the structure of behavior. New York: Holt, 1960. 7. **Palumbi S. R.** Humans as the world's greatest evolutionary force / S. R. Palumbi // Science. – 2001. – Vol. 293. – pp. 1786–1790. 8. **Richardson G.** Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991. 9. **Rosenblueth A.** Behavior, purpose, and teleology / A. Rosenblueth, N. Wiener, J. Bigelow // Philosophy of Science. – 1943. – 10. – pp. 18–24.

## УПРАВЛЕНИЕ ВОЙСКАМИ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

*Виктор Евгеньевич Бобылёв (канд. воен. наук, с.н.с.)*

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

*В статье рассмотрена и проанализирована концепция обратной связи, ее влияние на процесс управления войсками в ходе ведения боевых действий. Определены ее позитивные и негативные стороны. На основе проведенного анализа предлагаются подходы к использованию обратной связи в ходе управления войсками. Предложенные подходы позволят офицерам органов военного управления пересмотреть свои взгляды на процесс принятия решения во время управления войсками в ходе ведения боевых действий.*

*Ключевые слова:* лицо принимающее решение; управление войсками; обратная связь.

## TROOPS MANAGEMENT BASED ON FEEDBACK

*Victor Y. Bobylov (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The article describes and analyzes the concept of feedback and its influence on the troops management during warfare. Positive and negative sides were identified. Based on the analysis the approaches to the using feedback in the course of command and control are offered. The proposed approaches will enable the officers of the military management to reconsider their views on the decision-making process during command and control in the course of conducting operations.*

*Keywords:* decision maker; command and control; feedback.

### References

1. **Bertalanfi L.** (1969), General Systems Theory: A Critical Review. [Obshhaja teorija sistem: Kriticheskij obzor], Issledovaniya po obshhej teorii sistem, Moscow, Progress, pp. 23–82. 2. **Viner N.** (1983), Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine. [Kibernetika, ili Upravlenie i svyaz' v zhitvotnom i mashine], Moscow, Nauka. 3. **Boulding K.E.** (1956), General systems theory – the skeleton of science, Management Science, 2, pp. 197–208. 4. **Cannon W.B.** (1939), The Wisdom of the Body, New York: Norton. 5. **Lord R.G., Levy P.E.** (1994), Moving from cognition to action: A control theory

perspective, Applied Psychology: An International Review, 43, pp. 335–398. 6. **Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H.** (1960), Plans and the structure of behavior, New York: Holt. 7. **Palumbi S.R.** (2001), Humans as the world's greatest evolutionary force, Science, Vol. 293, pp. 1786–1790. 8. **Richardson G.** (1991), Feedback Thought in Social Science and Systems Theory, Philadelphia, University of Pennsylvania Press. 9. **Rosenblueth A., Wiener N., Bigelow J.** (1943), Behavior, purpose, and teleology, Philosophy of Science, 10, pp. 18–24.

Отримано: 11.07.2015 року

УДК 355.433.4 (477)

Михайло Миколайович Бочаров  
Олександр Володимирович Войтко  
Максим Георгійович Тищенко (канд. техн. наук)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ЗАВДАННЯ ЗАХИСТУ ЗАГАЛЬНОВІЙСЬКОВИХ ПІДРОЗДІЛІВ ВІД НЕГАТИВНОГО ІНФОРМАЦІЙНО-ПСИХОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ В ХОДІ АНТИТЕРОРИСТИЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

В статті проаналізована низка чинників які негативно впливають на морально-психологічне забезпечення бойових дій в ході антитерористичної операції. Проведений порівняльний аналіз завдань захисту особового складу від негативного інформаційно-психологічного впливу противника та психологічного забезпечення в антитерористичній операції. Запропоновано розгляд першочерговості завдань психологічного забезпечення в комплексі завдань захисту від негативного інформаційно-психологічного впливу противника на тактичному рівні. Відповідно, пропонується перерозподіл завдань морально-психологічного забезпечення щодо захисту від негативного інформаційно-психологічного впливу противника на оперативному та тактичному рівнях. Висвітлені результати попередніх досліджень щодо важливості складових морально-психологічного забезпечення бойових дій та відповідності умовам бойових дій вимог керівних документів щодо захисту особового складу від негативного інформаційно-психологічного впливу противника. Проаналізовано відповідність характеристик предмета та об'єкту морально-психологічного забезпечення принципу вимірності. Висвітлено досвід організації оперативного управління стресом збройних сил провідних країн світу та особливості програми оперативного управління стресом корпусу морської піхоти США, визнаню кращою за напрямком збереження психологічного здоров'я військовослужбовців за досвідом бойових дій. Виокремлено важливість завчасного формування психологічної стійкості.

**Ключові слова:** негативний інформаційно-психологічний вплив; психологічне забезпечення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Важливе значення для виконання завдань бою має висока мотивація та психологічна стійкість військ, що неодноразово підтверджено військовими експертами. Організація заходів щодо підвищення мотивації та психологічної стійкості покладена на структури по роботі з особовим складом у загальному комплексі заходів морально-психологічного забезпечення (далі МПЗ). Постійний моніторинг оперативної обстановки в інтересах МПЗ забезпечує цілеспрямований вплив на свідомість та психіку особового складу.

До основних факторів, які негативно впливають на системний збір інформації в інтересах МПЗ бойових дій можна віднести такі:

відсутність методик оперативного контролю та прогнозування морально-психологічного стану особового складу;

відсутність прикладних розрахункових методик з оцінювання ефективності окремих завдань морально-психологічного забезпечення;

неузгоджені функціональні завдання органів по роботі з особовим складом з центром інформаційно-психологічних операцій тощо.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Значний внесок до розробки теоретичних основ МПЗ бою протягом останніх десятиріч зробили такі військові дослідники, як В. Алещенко, В. Грицюк, В. Дикун, О. Ілюк, О. Караяні, І. Ліпатов, В. Молдавчук, В. Стасюк, С. Талаур, О. Тімченко, В. Ягупов та інші. Більшість з них продовжують дослідження за досвідом АТО [3, 4, 9].

Попередньо були визначені загальні завдання за складовими МПЗ в ході підготовки та ведення операцій. В останніх публікаціях завдання були

уточнені, але без деталізації за складовими МПЗ. При цьому невизначені завдання органам управління за складовими МПЗ.

Враховуючи вищевикладене, **метою статті** є уточнення завдань захисту особового складу від негативного інформаційно-психологічного впливу противника (ІПВ) окремої механізованої бригади.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Встановлено, що найбільшу ступінь значення серед складових МПЗ бойових дій військових частин в ході АТО мають: психологічне забезпечення, інформаційно-пропагандистське забезпечення та захист від інформаційно-психологічного впливу противника. Одночасно, ступінь відповідності вимог керівних документів щодо захисту особового складу від негативного ІПВ умовам бойових дій визначена недостатньою.

Результати дослідження підтверджують те, що у загальному циклі управління МПЗ найбільше значення мають завдання щодо збору інформації, її оцінки та прогнозу обстановки в інтересах МПЗ. Їх значення збільшується з початком бойових дій.

Порівняння циклів управління інформаційно-пропагандистського забезпечення та захисту від інформаційно-психологічного впливу противника визначає спорідненість завдань та методів впливу на свідомість та психіку особового складу, але постійний інформаційний вплив противника визначає першочерговість завдань захисту від нього.

Отже, захист від негативного ІПВ є одною з найважливіших складових МПЗ АТО. Інші складові МПЗ здійснюють безпосередній вплив на ефективність захисту особового складу. У загальному циклі управління МПЗ найбільше

значення мають завдання щодо збору інформації, її оцінки та прогнозу обставини.

Порівняння завдань захисту особового складу від негативного ІПВ та психологічного супроводження визначає більш вузький спектр завдань психологічного забезпечення у захисті особового складу від негативного ІПВ та необхідність прогнозування дій системою вищого рівня.

Захист від ІПВ передбачає: своєчасне визначення початку ІПВ; безперервне, бойове і політичне інформування особового складу; надійне перекриття каналів психологічного впливу противника; збір та знищення матеріалів ІПВ противника; виявлення психічно нестійких військовослужбовців і проведення з ними індивідуальної психопрофілактичної роботи, організацію в підрозділах системи товариської взаємної підтримки та психологічної допомоги; ознайомлення військовослужбовців з прийомами і методами інформаційно-психологічних операцій (далі ІПСО); розвідку і знищення сил та засобів ІПСО противника; оцінку уразливості своїх військ від ІПВ противника, прогнозування наслідків та планування заходів щодо протидії; організацію профілактичних заходів щодо запобігання негативним діям військовослужбовців (зниження психологічної стійкості, рівня бойової готовності, спроби здачі в полон тощо) [2].

Психологічне забезпечення передбачає: безперервне і безперервне вивчення та аналіз динаміки морально-психологічного стану своїх військ, прогнозування розвитку морально-психічних процесів; підтримку і розвиток у військовослужбовців установки на безумовне виконання бойових завдань; оцінку динаміки розвитку бойових дій і розрахунок психічних втрат; підтримку постійної психічної активності під час бою, усунення впливу його негативних стрес-факторів, відновлення психічної рівноваги, стійкості та оперативне усунення надмірної психічної напруги, здійснення антистресових заходів, адаптацію військовослужбовців до конкретних бойових умов діяльності; здійснення контролю за ступенем стомленості, психічної та психофізіологічної пригніченості особового складу; всебічне створення необхідних соціально-побутових умов життєдіяльності особового складу під час ведення бойових дій тощо [3,6].

Таким чином психологічне забезпечення в умовах “гібридної війни” може розглядатись у інформаційній площині, як системо утворюючий процес захисту від ІПВ тактичного рівня, за допомогою теорій масової комунікації, зв’язку та стресостійкості.

Але головним завданням органів по роботі з особовим складом, що забезпечує надійне управління підрозділами на етапі підготовки та в ході бойових дій, необхідно вважати постійний моніторинг та прогноз психологічної готовності при різних варіантах розвитку бойової обстановки. При цьому психологічну готовність можна розглядати як перехідне психічне явище від стану очікування діяльності до можливості мобілізації компонентів психіки на активну діяльність, зокрема бойову [3,6]. Отже попередня підготовка військовослужбовця до конкретних умов (факторів) бою є вирішальним фактором формування психологічної готовності до активних бойових дій (загартування психічних і психофізіологічних властивостей особистості військовослужбовця).

На думку В. Сідака та В. Шевченка проблемою організації МПЗ застосування підрозділів ЗС та МВС України є невідповідність її методології категоріальному апарату психології. Морально-психологічний стан, як головна категорія МПЗ ґрунтується на категорії моралі, але психологія не вивчає категорії моралі, а мораль – категорії психології. Крім того, складність перебігу політичних процесів в Україні довела, що більшість категорій моралі є “швидкоплинними” у сучасному суспільстві. Також розмитість національної ідеї значно ускладнює процес “гартування” військовослужбовця [5].

Зазначені науковці вважають за доцільне виділити моральне забезпечення окремо, включивши сюди не психологічні категорії, а організаційно-дисциплінарні напрями діяльності структур по роботі з особовим складом. Термін “морально-психологічне забезпечення” повинен існувати окремо як психологічне і моральне забезпечення за відповідними напрямками та змістом.

Аналіз підходів провідних спеціалістів у галузі психології бойових дій свідчить про те, що в них немає єдності в розумінні предмета, на який потрібно направляти психологічний вплив у період підготовки і ведення бойових дій, і кінцевої мети впливу. Одні з них вважають, що таким предметом має стати психіка воїна, інші – психологічна стійкість, психологічна готовність, система “готовність-стійкість” тощо.

Разом з тим, практично всі вони у кінцевому підсумку вказують на те коло психологічних феноменів, які необхідно сформувати у воїна для забезпечення його ефективних дій у бою. Це – чіткі уявлення про майбутні дії, мобілізованість емоційно-вольової сфери, сформованість відповідних навичок поведінки на полі бою і психічної саморегуляції [7].

Варто підкреслити, що моральний і психологічний чинники відділені досить умовно, вони виявляються як ціле морально-психологічне, але важливим моментом при пошуку методів емпіричної оцінки ефективності МПЗ є виокремлення найбільш чутливої його складової від нечутливої.

Принцип вимірюваності характеристик предмета МПЗ визначає, що сформоване у воїнів психологічне новоутворення повинно вимірюватися, оцінюватися і контролюватися.

Наприклад, В. Дікуном морально-психологічний стан розглядається не тільки як предмет та показник ефективності МПЗ, але як ступінь моральної готовності, військово-професійної та психологічної здатності особового складу. Крім того звертається увага, що в оперативній і тактичній ланках морально-психологічний стан відображається у бойовій активності та стійкості особового складу.

Є. Саричев пропонує розглядати сформованість МПС як коефіцієнт морально-психологічної стійкості (КМПС) військ під час визначення фактичного рівня їх боєздатності [4].

В. Стасюк пропонує об’єктом технологічного впливу психологічного забезпечення вважати систему “військовослужбовець – середовище”, а предметом – психологічний потенціал військовослужбовця. Він ототожнює психологічний потенціал військовослужбовця з психологічною якістю особистості військовослужбовця, як психологічна готовність

до бою, що відображає сформованість необхідних для ефективних бойових дій воїна індивідуальних психологічних якостей і станів [6].

Таким чином, моральне не може бути виділеною емпірично, але воно впливає на соціально-психологічні явища групи військовослужбовців, інтегрується в психологічних якостях особистості. Психологічні якості визначають психологічну готовність особового складу до бойових дій в умовах сучасного бою та можуть бути виділені емпірично.

Розгляд боєздатності військ через психологічну стійкість дозволяє більш наочно уявити залежність від неї виконання бойових завдань. Бойове завдання, поставлене військам, має відповідати моральним, військово-професійним, психологічним та фізичним можливостям особового складу. Саме тому, щоб спрогнозувати боєздатність військ, необхідно завчасно визначати їх стійкість і активність в ході навчань, наближених до умов бою.

Щодо перерозподілу завдань в оновленій структурі інформаційного протиборства, проблемним питанням стає дублювання завдань захисту особового складу від негативного інформаційно-психологічного впливу між структурними підрозділами ГШ ЗС України.

Таким чином, в умовах підвищеного інформаційного впливу з боку РФ, вважаємо доцільним зосередити організацію та ведення інформаційно-психологічних операцій та заходів інформаційно-психологічної протидії під єдиним керівництвом.

Досвід виконання завдань з інформаційного протиборства в арміях провідних країн світу підтверджує необхідність їхнього вирішення підрозділами оперативного підпорядкування на тактичному рівні та посилення структур психологічної підтримки та контролю психологічної стійкості особового складу у тактичній ланці, при цьому контроль психологічної стійкості особового складу визначається головним інструментом оцінки та прогнозування ефективності інформаційно-психологічного впливу на свої війська [2].

Починаючи з 1999 року, у збройних силах США та Німеччини психологічна підтримка та контроль психологічної стійкості особового складу розглядається як оперативне управління стресом, проводиться багаторівневою структурою консультантів, лікарів, психологів та спеціально навченими навикам психологічної допомоги солдатами. Група психологів, психіатрів та їхніх помічників органічно інтегрована у військову частину. Вона організовує взаємодію з медичними органами та священниками [1].

Консультанти в штабах частин та при командирах підрозділів надають допомогу в плануванні бойових завдань, враховуючи теорію управління стресом. Помічники психологів першими реагують на військовослужбовців, пробують стабілізувати стан особи і переконати, що його ознаки є нормальною реакцією на виняткові обставини і що вони проходять. Ця психологічна допомога на місці не потребує ніяких лікувальних заходів, але полегшує гостру реакцію на стрес і тим самим запобігає розвитку серйозних психічних розладів.

Особливістю подібної програми "OSCAR" корпусу морської піхоти США є запровадження штатних посад сержантів для подальшої інтеграції

завдань підтримки здоров'я з молодшими командирами та психіатра в структурах по роботі з особовим складом оперативного рівня, для координації зусиль з контролю психофізіологічних навантажень. Вони повинні мати досвід бойових дій, достатню медичну та психологічну підготовку. Програма позитивно оцінена особовим складом ЗС США в Іраку та Афганістані. Науковцями США за багатьма ознаками вона визнана кращою серед відомих у 2011 році [1].

На користь розвитку структури по роботі з особовим складом ротної ланки за рахунок навчання особового складу свідчить позитивний досвід призначення наставників у «трійки» і «п'ятірки» з числа досвідчених, психологічно стійких воїнів, призначення інформаційного активу в кожному окремому підрозділу військ РФ у другій Чеченській війні [3].

Властивостями системи політичної роботи в Радянській Армії у Другій світовій війні була присутність агітаторів, активістів та достатньої кількості комуністів у кожному невеликому підрозділі, їхній особистий приклад мужності і відваги, систематична робота з кожним бійцем окремо.

Зазначене свідчить, що вирішувати проблему контролю психологічної готовності та надання невідкладної психологічної допомоги у складі ротних, взводних опорних пунктів на широкому фронті необхідно в тому числі й за рахунок визначення допоміжного персоналу в межах існуючих штатних розкладів. Можливо їхнє виділення як старших солдатів.

Проте, необхідно згадати важливість завчасного формування психологічної готовності до активних бойових дій.

Існуючі програми бойової підготовки та стандарти ідеологічної підтримки високомобільних десантних військ та спеціальних підрозділів ЗС України, які не зазнали істотних змін з часів СРСР формують необхідний рівень професійних навичок, більш високу психологічну готовність особового складу. Ідеологічна підтримка засобами масової інформації елітності роду військ, його колективного духу формує впевненість особового складу у своїх силах, віру в перемогу.

За час ведення бойових дій в Афганістані у структурі психічних розладів військовослужбовці мотострілецьких і танкових підрозділів склали 43 %, десантних частин та спеціального призначення – 2 % [8]. За даними російських вчених при порівняльному вивченні анамнезу комбатантів, які брали участь у контртерористичних операціях у Чечні (1994-1995 рр.), стосовно оцінки віддалених наслідків бойового стресу, у військовослужбовців частин спеціального призначення рівні астенизації у 13 разів, алкоголізації та наркоманії у 8 разів, соціальної дезадаптації у 6 разів були менші ніж у військовослужбовців-мотострілецьців [9].

Отже, успішне вирішення завдань захисту від негативного інформаційно-психологічного впливу противника в ході проведення АТО залежить від вмілого планування, організації та управління силами та засобами, що є в розпорядженні командирів військових частин та підрозділів.

Зважаючи на вищезазначене пропонуємо варіант розподілу завдань МПЗ оборонних дій частин та підрозділів в умовах потужного ПІВ, який зображено на рис. 1.

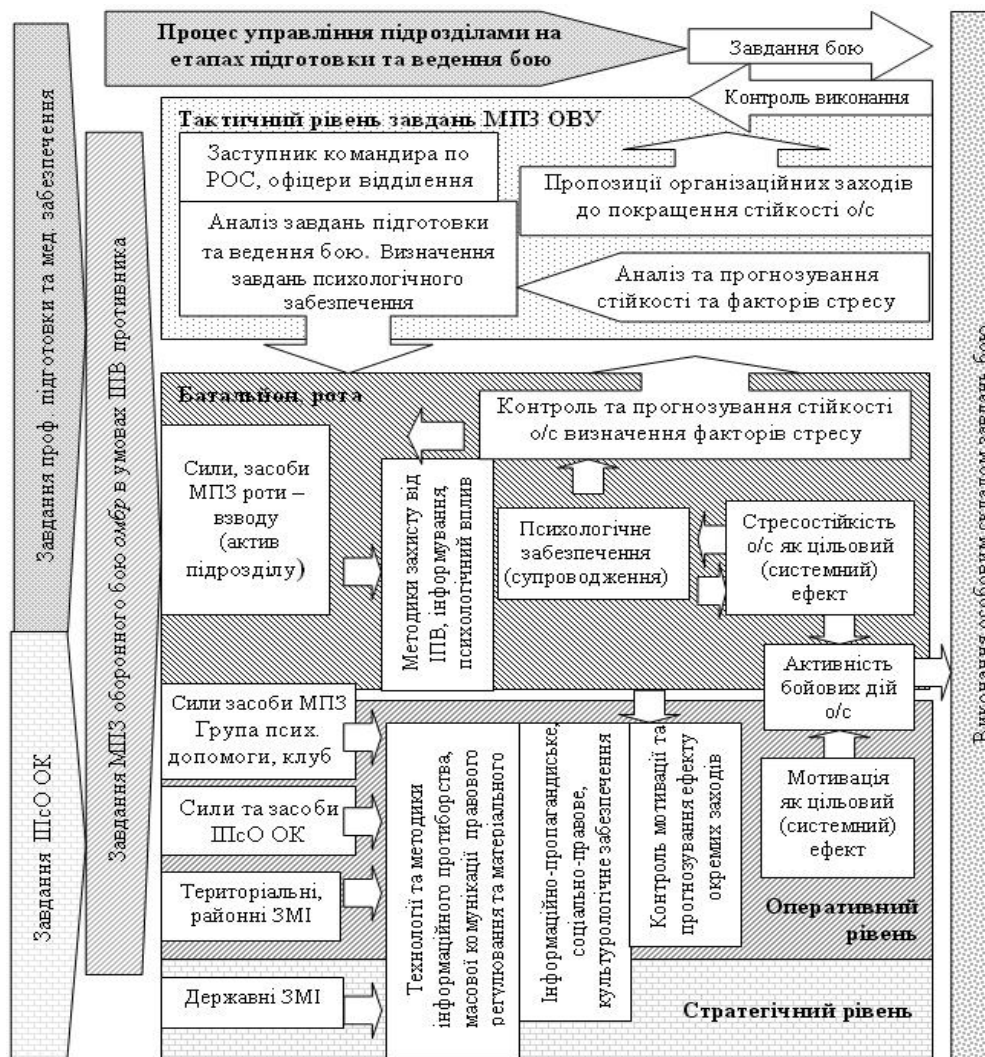


Рис. 1. Структурно-логічна схема розподілу завдань МПЗ в умовах ІПВ.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Психологічне забезпечення в умовах “гібридної війни” може розглядатись у інформаційній площині, як процес захисту від ІПВ нижчого рівня. Виокремлення та посилення психологічної складової на тактичному рівні в умовах потужного інформаційно-психологічного впливу забезпечить завчасну підготовку підрозділів омбр до характеру

майбутніх дій, своєчасне прийняття рішення завдяки своєчасній оцінці свого особового складу, первинну психологічну допомогу і реабілітацію військовослужбовців, які отримали бойові психічні травми протягом двох годин.

Подальшого дослідження потребують такі завдання захисту особового складу від інформаційно-психологічного впливу, як збір інформації, її оцінка та прогноз обстановки.

### Література

1. Бочаров М. М. Шляхи удосконалення МПЗ бойових дій підрозділів високо мобільних десантних військ за досвідом провідних країн світу / М. М. Бочаров // Проблемні питання підготовки та ведення спеціальних операцій: матеріали НПС (24 грудня 2013 року). – К. : НУОУ, 2013. – 51 с. 2. Гончаров С. В., Артамонов Н. Ф. Достижение информационно-психологического превосходства в современных боевых действиях / Военная Мысль. – 2014. – № 6. 3. Караяни А. Г., Прикладная военная психология / А. Г. Караяни, И. В. Сыромятников. – СПб. : “Питер”, 2006. – 480 с. 4. Морально-психологічне забезпечення у збройних силах України: підручник: у 2ч. Ч.1 / [В. М. Вилко, В. М. Грицюк, В. Г. Дикун та ін.]; за заг. ред. В. В. Стасюка. – К. : НУОУ, 2012. – 464 с. 5. Сідак В. С., Шевченко В. Є. Проблемні питання з організації

психологічного забезпечення у Збройних Силах України: психологічний аналіз. <http://www.info-test.com.ua/eto-interesno/biblioteka/147>. 6. Стасюк В. В. Психологічне забезпечення діяльності військ (сил) / В. В. Стасюк: підруч. – К. : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2014. – 504 с. 7. Стасюк В. В. Психологія локальних війн та збройних конфліктів / В. В. Стасюк. – К. : НАОУ, 2006. – 567 с. 8. Смирнов В. К. К структуре боевой психической патологии / В. К. Смирнов, Л. С. Шпиленя // Опыт советской медицины в Афганистане: Тез. докл. Всеарм. науч. конф. – 1992. – С. 111–112. 9. Смирнов А. В. Отдаленные последствия воздействия экстраординарных стрессовых событий у ветеранов локальных войн и членов семей погибших: Автореферат дис. канд. мед. наук: 14.00.18/РВМА. – СПб. : 2003. – 19 с.



## ЗАДАЧИ ЗАЩИТЫ ОБЩЕВОЙСКОВЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ОТ НЕГАТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ХОДЕ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

*Михаил Николаевич Бочаров  
Александр Владимирович Войтко  
Максим Георгиевич Тищенко (канд. техн. наук)*

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

*В статье проанализировано ряд факторов, которые негативно влияют на морально-психологическое обеспечение боевых действий в ходе антитеррористической операции. Проведен сравнительный анализ задач защиты личного состава от негативного информационно-психологического воздействия противника и психологического обеспечения в антитеррористической операции. Предложено рассмотрение первоочередности задач психологического обеспечения в комплексе задач защиты от негативного информационно-психологического воздействия противника на тактическом уровне. Соответственно, предлагается перераспределение задач морально-психологического обеспечения по защите от негативного информационно-психологического воздействия противника на оперативном и тактическом уровнях. Освещены результаты предыдущих исследований о важности составляющих морально-психологического обеспечения боевых действий и соответствия условиям боевых действий требований руководящих документов по защите личного состава от негативного информационно-психологического воздействия противника. Проанализировано соответствие характеристик предмета и объекта морально-психологического обеспечения принципу размерности. Освещен опыт организации оперативного управления стрессом вооруженных сил ведущих стран мира и особенности программы оперативного управления стрессом корпуса морской пехоты США, признанной лучшей по направлению сохранения психологического здоровья военнослужащих по опыту боевых действий. Выделена важность заблаговременного формирования психологической устойчивости.*

*Ключевые слова: отрицательное информационно-психологическое воздействие; психологическое обеспечение.*

## THE COMBINED ARMS UNITS PROTECTION TASK FROM THE NEGATIVE INFORMATION AND PSYCHOLOGICAL WARFARE DURING THE ANTI TERRORIST OPERATION

*Mykhailo M. Bocharov  
Oleksandr V. Voitko  
Maksym H. Tyshchenko (Candidate of Technical Sciences)*

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

*The numbers of factors that negatively affect the moral and psychological support of combat operations during the anti-terrorist operation were analyzed in the article. The comparative analysis of the personnel protection tasks from the enemy negative information and psychological influence and psychological support during the anti-terrorist operation was conducted. The tasks precedence consideration of the psychological support in the complex of the protection against enemy negative information and psychological influence at the tactical level tasks was proposed. Accordingly, the redistribution of the moral and psychological support on protection against the enemy negative information and psychological influence at the operational and tactical levels tasks is proposed. The previous studies results about the importance of the combat operations moral and psychological support components and conformity with combat operations condition of guidance documents requirements on the personnel protection from the enemy negative information and psychological influence were presented. The correspondence of the subject and object characteristics of the moral and psychological support with the principle of dimension was analyzed. The experience in the organization of the operational stress management of the leading countries Armed Forces and features of the operational stress management program of the US Marine Corps, it was recognized as the best in the direction of soldiers' psychological health preservation according to the combat experience was shown. The importance of the early psychological stability formation was highlighted.*

*Keywords: negative information and psychological influence; psychological support.*

### References

1. **Bocharov M.M.** (2013). The ways of improving combat actions MPS of highly mobile airborne units according to the leading countries experience. [*Shliakhy udoskonalennia MPZ boiovykh dii pidrozdiliv vysoko mobilnykh desantnykh viisk za dosvidom providnykh krain svitu*], Kyiv, NUOU, 51 p.
2. **Honcharov S. V., Artamonov N. F.** (2014). Achieving information and psychological superiority in modern warfare. [*Dostizhenie informacii pshihologicheskogo prevoshodstva v sovremennykh boevykh dejstviiakh*], Voennaja Mysl', № 6.
3. **Karajani A.G., Syromjatnikov I.V.** (2006). Applied Military Psychology. [*Prikladnaja voennaja psihologija*], SPb, "Piter", 480 p.
4. **Vislko M.V.** and others (2012). The moral and psychological support in Armed Forces of Ukraine. [*Moralno-psihologichne zabezpechennia u zbroinykh sylakh Ukrainy*], Kyiv, NUOU, 464 p.
5. **Sidak V. S., Shevchenko V. Y.** Problematic issues on organization of psychological support in Armed Forces of Ukraine: psychological analysis. [*Problemni pytannia z orhanizatsii psykhologichnoho zabezpechennia u Zbroinykh Sylakh Ukrainy: psykhologichniy analiz*], Available at: <http://www.info-test.com.ua/eto-interesno/biblioteka/147>.
6. **Stasiuk V. V.** (2014). Psychological support of troops (forces). [*Psykhologichne zabezpechennia diialnosti viisk (syl)*], Kyiv, NUOU, 504 p.
7. **Stasiuk V. V.** (2006). Psychology of local wars and armed conflicts. [*Psykhologhiia lokalnykh viin ta zbroinykh konfliktiv*], Kyiv, NAOU, 567 p.
8. **Smirnov V.K., Shpylenia L.S.** (1992). To the structure of the combat mental pathology. [*K strukture boevoy psihicheskoy patologii*], Opyt sovetsoj medicyny v Afganistane, Vsearm. nauch. konf., pp. 111–112.
9. **Smirnov A.V.** (2003). Long-term effects of extraordinary stressful events in veterans of local wars and family members of victims. [*Otdalennye posledstviya vozdejstvija jekstraordinarnykh stressovykh sobytij u veteranov lokal'nyh vojn i chlenov semej pogibshih*], Avtoreferat dis. kand. med. Nauk, SPb., 19 p.

Отримано: 04.05.2015 року

<sup>1</sup>Наталія Миколаївна Волошина (канд. філос. наук.)<sup>2</sup>Сергій Володимирович Череватий (канд. політ. наук.)<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна<sup>2</sup>Інформаційне Агентство Державної прикордонної служби України, Київ, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНИЙ ВПЛИВ НА ГРОМАДСЬКУ ДУМКУ УКРАЇНСЬКОГО СУСПІЛЬСТВА

Нині проти України ведеться відкрита воєнна агресія з боку Російської Федерації, при цьому використовуються різноманітні засоби формування громадської думки населення різних регіонів, спрямовані на дестабілізацію суспільно-політичного та економічного становища в державі. За мирних умов наукові дослідження стосовно формування громадської думки в Україні були спрямовані на забезпечення інтересів окремих партій у передвиборчій кампанії. При загостренні інформаційного протиборства виникла потреба переосмислення ролі інформаційного впливу у формуванні громадської думки. Сьогодні, по суті, на території України ведеться інформаційна війна, що обумовлює необхідність дослідження механізму формування громадської думки засобами інформаційного впливу в умовах сепаратизму, тероризму і неприхованої воєнної агресії.

У статті розкрито сутність, зміст, оцінювальну, директивну, спонукальну, консультативну, поведінкову (тиск) функції громадської думки. Показано механізм її формування та впливу на процес прийняття суспільно-політичних рішень. Розглянуто основні форми, способи і прийоми інформаційного впливу на громадську думку суспільства. Охарактеризовано завдання інформаційного впливу противника на громадську думку українського суспільства, проаналізовано механізм формування громадської думки різних верств українського населення за допомогою інформаційного впливу в умовах сучасної внутрішньої й зовнішньої воєнної агресії проти незалежної України.

**Ключові слова:** громадська думка; форми; способи і прийоми інформаційного впливу.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Громадська думка була і залишається важливою соціально-політичною інституцією суспільства, що віддзеркалює сутність політичної волі народу та є однією з ланок механізму прийняття рішень у всіх сферах життєдіяльності країни, в тому числі і військовій. Вивчення процесів формування громадської думки її дії та впливу на механізм прийняття суспільно-політичних рішень є дуже важливими в мирний час, у загрозований період і в ході військового конфлікту. Сьогодні Україна зазнає військової агресії з боку Російської Федерації, яка неоднозначно оцінюється різними верствами населення, що мешкає в східних і західних регіонах нашої держави.

Громадська думка суспільства формується під впливом багатьох чинників, чільне місце серед яких посідають засоби інформаційного впливу. Їхня роль зростає в умовах підготовки і здійснення різних форм сучасної внутрішньої й зовнішньої воєнної агресії проти незалежної України.

Дані обставини обумовлюють актуальність з'ясування ролі інформаційного впливу на формування громадської думки українського суспільства.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розгляду питань формування громадської думки за допомогою засобів інформаційного впливу присвячено певну кількість досліджень, які умовно можна віднести до різних груп. Першу групу складають праці В. Здорогеги,

О. Копиленка, В. Миронченка, А. Москаленка, Г. Почепцова, В. Різуна та ін., в яких розглядаються питання взаємодії влади і засобів масової інформації.

До другої групи пропонується віднести напрацювання О. Белова, О. Литвиненка, В. Остроухова, С. Сьоміна, Г. Перепелиці та ін., які розглядають питання інформаційного впливу на формування громадської думки в галузі інформаційної безпеки. До третьої групи можна віднести праці С. Кара-Мурзи, М. Присяжнюка, Я. Жаркова та ін., в яких аналізуються теоретико-практичні аспекти механізму інформаційного впливу на громадську думку. До четвертої групи відносяться наукові статті стосовно сутності громадської думки та чинників її формування. Це доробки С. Брайчевського, М. Дзюби, В. Іщука, В. Карлової, У. Стефанчук та ін.

Більшість авторів приділяють основну увагу вивченню методологічних аспектів питань інформаційного впливу на формування громадської думки суспільства в процесі мирного становлення і розвитку незалежної України у різних сферах людської життєдіяльності. Віддаючи належне науковій і практичній значущості розглянутих наукових праць слід, однак, зауважити, що *серед невіршених частин* проблеми залишається аналіз механізмів інформаційного впливу на формування громадської думки в Україні в умовах сепаратизму і зовнішньої воєнної агресії, що й обумовлює зацікавленість зазначеною проблематикою.

© Н.М. Волошина, С.В. Череватий



**Метою статті** є ролі інформаційного впливу на формування громадської думки українського суспільства в умовах сучасної внутрішньої й зовнішньої воєнної агресії проти незалежної України. Для досягнення мети авторами вирішено наступні завдання:

- розкрито сутність і зміст громадської думки;
- вивчено механізм її формування та впливу на процес прийняття суспільно-політичних рішень;
- показано хід формування громадської думки сучасного українського суспільства за допомогою інформаційного впливу в умовах інформаційної та збройної агресії з боку Російської Федерації.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Громадська думка є одним з найдавніших феноменів суспільного життя. Термін “громадська думка” (англ. public opinion) вперше застосував у другій половині ХІІ ст. англійський державний діяч та письменник лорд Дж. Солсбері на означення моральної підтримки населенням країни дій парламенту. Поступово цей термін поширився в інші країни, а з ХVІІІ ст. став загальноприйнятим.

В Україні вивчення громадської думки пов'язане із створенням наприкінці 80-х років ХХ ст. Центра дослідження громадської думки під керівництвом Т. Заславської, який у Києві, Дніпропетровську, Львові мав регіональні відділення. За роки незалежності інтерес до громадської думки в Україні помітно поживався, що зумовлено демократизацією політичного, соціально-економічного, духовного життя.

Соціологія визначає громадську думку, як специфічний вияв масової свідомості, що виражається в оцінках (вербальних і невербальних) і характеризує відношення людей до суспільно значущих подій і фактів, актуальних проблем суспільного життя [1, с.172].

Як виразник масової, суспільної свідомості, громадська думка проявляється в оцінювальній, директивній, спонукальній, консультативній, поведінковій функціях стосовно органів управління.

Оцінювальна функція громадської думки виявляє себе у виробленні громадськістю схвалення чи осуду управлінської діяльності. Директивна – відпрацюванні громадськістю рішення щодо конкретних проблем суспільства, які мають суто імперативний, обов'язковий характер. Суть спонукальної функції громадської думки у тому, що громадськість у формі мітингів, демонстрацій, страйків тощо спонукає органи управління до прийняття відповідних рішень. Консультативна функція громадської думки реалізує себе у рекомендаціях органам влади та управління щодо способів і шляхів розв'язання суспільних проблем. Поведінкова (її ще називають експресивна) функція громадської думки полягає в тому, що громадська думка, незалежно від того, в

яких умовах їй доводиться “діяти”, завжди займає певну позицію щодо тих чи інших фактів і подій життя суспільства, насамперед – діяльності держави.

Громадська думка формується у зв'язку з певними подіями, явищами суспільного життя. Це – публічно висловлене й поширене судження, яке містить оцінку і ставлення (приховане чи явне) до якоїсь події, окремих осіб, діяльності різних груп, організацій, що становлять певний інтерес для суспільства. Вона є виразником масової свідомості.

У будь-якому суспільстві ідеї, інтереси, переконання, соціальні уявлення різних великих груп існують не ізольовано одне від одного, а утворюють своєрідний сплав, що визначається як масова свідомість суспільства. Буде невірно за змістом уявляти громадську думку як механічну суму індивідуальних свідомостей, тому що кожна людина сприймає об'єктивну дійсність своєрідно, залежно від особливостей характеру, темпераменту, освіти, віку, соціуму і т. п.

Формування громадської думки здійснюється на науковому і на повсякденному рівні. На науковому рівні вона формується під впливом засобів масової інформації, організованих заходів (Майдан, мітинги, демонстрації, збори), на повсякденному – на її формування впливають: близьке соціальне оточення, сім'я, колектив (трудова, учнівська, студентська, військовий), власний життєвий досвід, чутки.

На формування громадської думки впливає інтенсивний обмін інформацією, порівняння і співставлення близьких позицій, пошук точок дотику, відкидання деталей, характерних для індивідуальних уявлень [2].

Основними формами прояву громадської думки є наступні: оцінка, скарга, порада, схвалення, побажання, незадоволення, осуд, несхвалення, незгода, протест. Загальною рисою кожної із форм громадської думки стосовно будь-якої події, явища, що відбувається у суспільстві є оцінний характер. Підґрунтям оцінювальної дії є елементи знання, що виступають у вигляді інформованості людей, тобто наявності у них певної сукупності даних, уявлень про різні явища дійсності. Саме на це орієнтуються сили інформаційного впливу при підготовці та проведенні сучасних інформаційних операцій в ході збройних конфліктів та після них.

У нашому випадку основними завданнями інформаційного впливу Російської Федерації є: відволікання громадської думки світової спільноти від агресії проти України; створення ілюзії в населення нашої держави та в населення країн світу у миролюбних цілях Росії; переконання населення України в необхідності зміни форми державного правління та необхідності підтримки сепаратистів; у введенні в оману керівництва нашої держави в термінах початку активних бойових дій і т. ін. Це знаходить підтвердження в процесі анексії Російською Федерацією Криму та

відкритій агресії Росії на Південному Сході України.

Реальні події 2014 – початку 2015 року яскраво свідчать про повномасштабну інформаційну війну з боку Російської Федерації у відношенні незалежної України. Ідеї досягнення перемоги над ворогом за допомогою інформаційного впливу сформульовані ще у Стародавньо-китайській філософії. В своєму “Трактаті про військове мистецтво” Сунь-цзи відмічав: “У всякій війні, як правило, найкраща політика зводиться до захоплення держави цілісною... Здобути сотню перемог у боях – це не край мистецтва. Підкорити суперника без бою – ось вінець мистецтва” [3, с.94]. Ідея захоплення Росією Криму без єдиного пострілу була реалізована у 2014 році завдяки проведенню інформаційно-психологічної операції.

Інформаційні війни ведуться за допомогою інформаційного впливу: цілеспрямованої розробки і поширення спеціальної актуальної інформації, здатної зробити безпосередній або непрямий вплив на громадську думку, психологію і поведінку населення, військовослужбовців. Здійснюючи інформаційний вплив, агресор вирішує наступні завдання:

переконує спільноту в правильності, необхідності військового втручання (роз'яснення своєї політики, зображення супротивника в невігідному світлі, досягнення доброго відношення до своєї країни тощо. Для світу анексія Криму подавалась у засобах масової інформації, як захист прав російськомовного населення і відтворення історичної справедливості);

впливає на військово-політичне керівництво противника та його союзників з метою відмови або утримання від вступу у війну (економічні та політичні санкції, демонстрація військової сили, рішучості та готовності швидко здійснити свої задуми і досягти військових цілей);

підтримує всередині країни супротивника опозицію, сили опору, расові, етнічні, релігійні та інші протиріччя, підриває довіру до керівництва країни;

впливає на населення дружніх, нейтральних країн;

підриває моральний дух, створює обстановку невпевненості й занепокоєння серед особового складу супротивника;

знижує боєздатність військових формувань.

Автори статті підтримують точку зору на визначення інформаційного впливу сформульоване в “Нарисі теорії і практики інформаційно-психологічних операцій”. Це цілеспрямована розробка і поширення спеціальної актуальної інформації, здатної зробити безпосередній або непрямий вплив на суспільну свідомість, психологію і поведінку населення, військовослужбовців [4, с.247].

Незалежна Україна вперше безпосередньо стикнулася з відкритим інформаційним впливом, спрямованим на анексію частини української

території. Водночас військові експерти з таким типом воєнних дій знайомі достатньо давно. Проблема, у її модерному розумінні, почала розроблятися ще у 1960-70-х роках у працях про “заколото-війни” Євгена Месснера – колишнього полковника Генерального штабу Російської царської армії. Він, зокрема, писав: “У колишніх війнах важливим шанувалося завоювання території. Надалі найважливішим шануватиметься завоювання душ у ворожій державі. Воювати будуть не на двомірній поверхні, як у давнину, не в тривимірному просторі, як було за часів народження військової авіації, а в чотирирівнічному, де психіка воюючих народів є четвертим виміром”. Очевидно, саме це мали на меті у Кремлі, розпочавши приховану війну проти України у Криму, а також розпалюючи нестабільність у Східних і Південних областях нашої держави.

Безумовно, що як пропаганда, так і public relations використовують як основний інструмент донесення інформації саме засоби масової інформації. Завдяки цьому останні стали ідеальним засобом для проведення інформаційно-психологічного впливу, який полягає в цілеспрямованому створенні та поширенні спеціально відібраної інформації, що позитивно або негативно впливає на функціонування та розвиток суспільства, психіку й поведінку окремих осіб, політичної еліти та населення загалом, з метою досягнення політичних, воєнних або інших переваг.

Зазначимо, що під час висвітлення певної події зовсім необов'язково, щоб інформація переконала відразу переважну кількість громадян. Як свідчать проведені західними дослідниками дослідження, сприйняття інформації лише 10 % культурного прошарку населення означає “вихід” на все суспільство. Еліта суспільства в такому випадку виступає своєрідними “лідерами поглядів”, які надалі формують громадську думку [5].

Проти нашої держави було розпочато ретельно сплановану інформаційну операцію націлену на армію та населення Російської Федерації, Збройні Сили й населення України, населення сусідніх країн і міжнародну спільноту загалом. Основними формами інформаційного впливу є: усне мовлення; вплив на противника друкованими і образотворчими засобами; вплив за допомогою радіо і телебачення; здійснення впливу за допомогою мережі Інтернет, мобільного зв'язку.

Усне мовлення – це інформаційний вплив, здійснюваний шляхом передачі через станції мовлення різних повідомлень і програм, які безпосередньо сприймають військовослужбовці противника, його цивільне населення, полонені. Об'єктами усного мовлення в загрозливий період звичайно є службовці військ прикордонної охорони ймовірного противника; підрозділи його розвідувальних, інженерних та інших частин, висунутих до державного кордону; мешканці розташованих біля нього населених пунктів;

організовані противником на кордоні скупчення людей, демонстрації, мітинги тощо.

Вплив на противника друківаними засобами здійснюється шляхом розповсюдження друкованої продукції іноземними мовами, а також публікації матеріалів у засобах масової інформації своєї країни і держав-союзників. Ця форма інформаційного впливу має такі важливі особливості, як доступність, наочність, розмаїтість видів, здатність впливати на різноманітні масові аудиторії. Основними видами матеріалів для розповсюдження з метою інформаційного впливу є листівки, газети, журнали і брошури.

Вплив образотворчими засобами – це вплив за допомогою наочних засобів, що несуть сильний емоційний заряд. Для цього використовують художньо оформлені плакати, транспаранти, фотостенди, стінні газети і карикатури, карти, схеми, спеціально організовані виставки, а також інші засоби, наприклад, наклейки, нашивки, сувеніри з відповідною символікою.

Вплив за допомогою радіо та телебачення здійснюється шляхом передачі в ефір через військові й цивільні радіо- і телепередавачі спеціальних радіо- і телепрограм, а також шляхом входження в мережі бойового керування і канали зв'язку противника через військові (корабельні) радіозасоби. Ця форма інформаційного впливу дозволяє оперативно і ефективно охоплювати масові аудиторії в межах радіуса прийому радіо - телемовлення конкретної станції.

Останнім часом учені все більше схиляються до думки про так звані мережеві війни. Інтернаціоналізація комп'ютерної мережі дозволяє поширювати необхідну для агресора інформацію не виходячи із власного кабінету. Слід зазначити, що у 2004р. Міністр оборони Російської Федерації оголосив про початок розробки програми розширення можливостей здійснення кібервійни та залучення до реалізації цієї стратегії провідних інформаційно-технологічних компаній, наукових і навчальних закладів за прикладом США. Російські структури, які здійснюють заходи кібернетичної війни, маскуються під "анонімних хакерів", приватних осіб та організацій ("Кібер Беркут", Anonymous)[6].

До особливих способів і прийомів інформаційного впливу відносяться: дезінформування; маніпулювання; поширення чуток і міфів.

Дезінформування – діяльність спецслужб щодо доведення до противника неправдивої (повністю або частково) інформації, яка зумовлює прийняття ним вигідних для спецслужби рішень та вжиття заходів.

Маніпулювання – це спосіб інформаційного впливу, націлений на зміну напряму активності інших людей, здійснюваний настільки мистецьки, що залишається непоміченим ними. Інформаційні агентства, видавництва, групи блогерів тощо, які певний час не демонстрували своїх проросійських позицій, намагаються сформувати деструктивні

(панічні, депресивні) настрої в Україні ("нам без Росії нікуди дітись", "Росія нас поглине" тощо), створити негативний тренд щодо України та одночасно позитивний тренд щодо дій Росії.

Чутки – це специфічний вид інформації, що з'являється спонтанно серед певних прошарків населення, або розповсюджується спеціально для впливу на суспільну свідомість. Використання чуток в інтересах інформаційної війни – це поширення інформації, вигідної джерелу. Інструментом поширення слугують не тільки окремі активні особи, російське телебачення, але й інформаційні повідомлення, які подаються в друкованій пресі, листівках та передачі місцевих кабельних операторів.

Міф – це така інформація, що пояснює походження й подальше перетворення тих чи інших явищ винятково на основі вигаданих подій. Осмислення людиною навколишньої дійсності за допомогою міфів базується не на наукових знаннях, а на вірі й переконаннях представників конкретної культури, етносу, соціальної групи.

А. Парубій звертає увагу на Латентні (приховані, мережеві) заходи противника. За умов певної стабілізації обстановки та фальшивих заяв щодо мирного врегулювання війни Російська Федерація активно використовує релігійний чинник, виступи (проповіді) священників Української Православної Церкви Московського патріархату про "героїв-ополченців", "священну війну" та "київську хунту" не тільки на Донбасі, а й на Сумщині та Чернігівщині[6].

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, інформаційний вплив є ваговим фактором формування громадської думки населення противника, його союзників і нейтральних держав в ході інформаційної війни. Вплив може здійснюватися як до початку воєнної агресії, так і під час бойових дій з метою послаблення сил противника. Важливість же здійснення такого впливу на противника та організації інформаційної протидії агресії доводять приклади реального життя, які свідчать, що війну можна виграти навіть без єдиного пострілу.

Засоби масової інформації виражають і формують громадську думку, яку прийнято розглядати як колективне судження людей, в якому ставлення до подій і явищ виявляється у формі схвалення, осуду або вимоги. Вони здійснюють свою політичну, управлінську роль у політичній системі шляхом обговорення, підтримки, критики й осуду різних політичних програм, платформ, ідей і пропозицій окремих осіб, громадських формувань, політичних партій, фракцій держави. Засоби масової інформації не лише виконують інформативну функцію (хоча вона має бути основною), але пропагують, можна сказати, нав'язують ідеї, погляди, вчення, політичні програми об'єктам інформаційного впливу і тим самим приймають, участь у соціальному управлінні.

З початком воєнних дій інформаційний вплив зростає, на повну силу починає працювати машина інформації і дезінформації, починаються спроби за допомогою внутрішньої опозиції вкрай загострити національно-етнічні, територіальні, економічні і релігійні протиріччя, розпалити вогнища збройних конфліктів. Агресором переслідується мета створити постійно діючий фронт боротьби усередині країни, обстановку політичного й економічного хаосу, некерованості, приреченості. Інформаційна машина робить розрахунок на те, що психіка людини найбільш уразлива, впливаючи на неї, можна особистий страх перетворити в масове

### Література

1. Андреева М. Г. Социальная психология / М. Г. Андреева. – М. : Аспект Пресс, 2001. – 172 с.
2. Теремко В. І. Соціологія: Структура, канали висловлювання та функції громадської думки. [Електронний ресурс] / В. І. Теремко – Режим доступу до ресурсу: <http://www.readbookz.com/books/138.htm>.
3. Конрад Н. І. Сунь-цзы: Трактат о военном искусстве. / Н. И. Конрад. – М., Л., 1950. – 94 с.
4. Нарис теорії і практики / М. Т. Дзюба, Я. М. Жарков, І. О. Ольховой, М. І. Онищук., 2005. – 468 с. 5. **Загрози**

боягузтво, сумніви – у недовіру, роздратування – у лють. Таким чином, розвал держави зсередини стає неминучим.

Для вдосконалення механізму інформаційного впливу на формування громадської думки з використанням новітніх технологій promotion і public relations слід передбачити підготовку фахівців у цих галузях.

На державному рівні розглянути можливість створення єдиного інформаційно-аналітичного центру з питань масових комунікацій і вивчення та формування громадської думки в Україні.

- національній безпеці** України в інформаційній сфері. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [http://mobile.pidruchniki.com/1163101837009/politologiya/zagrozi\\_natsionalniy\\_bezpeki\\_ukrayini\\_informatsiyniy\\_zab\\_ezpechennya\\_informatsiyno-psihologichnoyi\\_bezpeki](http://mobile.pidruchniki.com/1163101837009/politologiya/zagrozi_natsionalniy_bezpeki_ukrayini_informatsiyniy_zab_ezpechennya_informatsiyno-psihologichnoyi_bezpeki).
6. Парубій А. Война России против Украины и мира [Електронний ресурс] / Андрій Парубій // Украинская правда – Режим доступу до ресурсу: [www.prawda.com.ua/rus/articles/2014/08/6/7034046](http://www.prawda.com.ua/rus/articles/2014/08/6/7034046).

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОБЩЕСТВЕННОЕ МНЕНИЕ УКРАИНСКОГО ОБЩЕСТВА

<sup>1</sup>Наталья Николаевна Волошина (канд. филос. наук, с.н.с.)

<sup>2</sup>Сергей Владимирович Череватый (канд. полит. наук, с.н.с.)

<sup>1</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина

<sup>2</sup>Информационное Агентство Государственной пограничной службы Украины, Киев, Украина

*В настоящее время против Украины ведется открытая военная агрессия со стороны Российской Федерации, при этом используются разнообразные средства формирования общественного мнения населения разных регионов, направленного на дестабилизацию общественно-политического и экономического положения в государстве. До развязывания агрессии против Украины научные исследования относительно формирования общественного мнения были направлены на обеспечение интересов отдельных партий в предвыборной кампании. В условиях обострения информационного противоборства возникла потребность переосмысления роли информационного влияния в формировании общественного мнения. Сегодня, по существу, на территории Украины ведется информационная война, что обуславливает необходимость исследования механизма формирования общественного мнения средствами информационного влияния в условиях сепаратизма, терроризма и нескрываемой военной агрессии.*

*В статье раскрыто сущность, содержание и функции общественного мнения. Показано механизм его формирования и влияния на процесс принятия общественно-политических решений. Рассмотрены основные формы, способы и приемы информационного влияния на общественное мнение общества. Охарактеризовано задание информационного влияния противника на общественное мнение украинского общества. Проанализировано механизм формирования общественного мнения разных слоев украинского населения с помощью информационного влияния в условиях современной внутренней и внешней военной агрессии против независимой Украины.*

**Ключевые слова:** общественное мнение; формы общественного мнения; способы и приемы информационного влияния.

## INFORMATION INFLUENCE ON UKRAINIAN SOCIETY PUBLIC OPINION

<sup>1</sup>Nataliia M. Voloshyna (Candidate of Philosophical Sciences)

<sup>2</sup>Serhii Volodymyrovych Cherevatyi (Candidate of Political Sciences)

<sup>1</sup>Military Institute of Telecommunications and Informatization of State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Information Agency of the State Border Service of Ukraine, Kiev, Ukraine

*Currently the Russian Federation is carrying out open military aggression against Ukraine using various means of forming public opinion in different regions in order to destabilize socio-political and economic situation in the country. In peacetime scientific research on the formation of public opinion were aimed at*

ensuring interests of certain parties during election campaigns. In the context of information confrontation intensification there is a need to change the role of information influence on forming public opinion. Today, in fact, there is an information war on the territory of Ukraine. Therefore it is important to study the mechanism of public opinion formation by means of information influence under the conditions of separatism, terrorism and open military aggression.

The article touches upon the subject-matter, content and function of public opinion. It also reveals the mechanism of its formation and influence on the process of social and political decision-making. Moreover, the author has analyzed the basic forms, methods and techniques of information influence on public opinion. He has also studied the issues of enemy information influence on public opinion of the Ukrainian society and the mechanism of various sectors of Ukrainian population public opinion formation due to information influence under the conditions of today's internal and external military aggression against independent Ukraine.

**Keywords:** public opinion; forms; methods and techniques of information influence.

### References

1. **Andreeva M.G.** (2001), Social Psychology. [Social'naja psihologija], Moscow, Aspekt Press, 172 p.
2. **Teremko V.I.** Sociology: structure, expression and function channels opinion. [Sotsiologhiia: Struktura, kanaly vyslovlivannia ta funktsii hromadskoi dumky], Electronic resource Access to resources: <http://www.readbookz.com/books/138.htm>.
3. **Konrad N.I.** (1950), Sun Tzu: A treatise on the art of war. [Sun'-czy: Traktat o voennom iskusstve], Moscow, L., 94 p.
4. **Dziuba M.T.**, Zharkov Ya.M., Olkhovoi I.O., Onyshchuk M.I. (2005), Outline of Theory and Practice, p. 468.
5. **Threats to Ukraine's** national security in the information sector. [Electronic resource], Access to resources: [http://mobile.pidruchniki.com/1163101837009/politologiya/zagrozi\\_natsionalnyy\\_bezpeki\\_ukrayini\\_informatsiyny\\_zab\\_ezpechennya\\_informatsiyno-psihologichnoyi\\_bezpeki](http://mobile.pidruchniki.com/1163101837009/politologiya/zagrozi_natsionalnyy_bezpeki_ukrayini_informatsiyny_zab_ezpechennya_informatsiyno-psihologichnoyi_bezpeki).
6. **Parubii A.** Russia's war against Ukraine and of the world [Electronic resource], Ukrainian Truth - Access mode to share: [www.pravda.com.ua/rus/articles/2014/08/6/7034046](http://www.pravda.com.ua/rus/articles/2014/08/6/7034046).

Отримано: 04.05.2015 року

## 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.)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

*Анатолій Анатолійович Іванов* (д-р техн. наук, професор)<sup>1</sup>

← (кегль – 11 та 8 пт.)

*Іван Іванович Петров* (канд. техн. наук, доцент)<sup>2</sup>

← 1 пустий рядок – 6 пт.

<sup>1</sup>Університет..., Київ, Україна

<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; поняття2; 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 колонітилли. Між значенням величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (Ctrl + Shift + пропуск).

**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 ГОСТ 7.1:2006” (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), 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)

<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, Professor of a Department)<sup>1</sup>

<sup>2</sup>Ivan I. Petrov (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of a Department)<sup>2</sup>

<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. [Enerhetichna model tsvyrovoy 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 political modernization 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](mailto:iv@u.ua) I.I. Petrov: [petr@u.ua](mailto:petr@u.ua)

Після цього наводяться відомості про рецензента та контактна інформація авторів.

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор О. Ю. Пермяков, начальник інституту, 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. 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) 271-09-44, Тищенку Максиму Георгійовичу, каб. 2/305, тел.: +38-066-713-20-22, 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.

## Корисні посилання:

<http://translit.kh.ua/?passport> – автоматична транслітерація з української мови

<http://ru.translit.net/> – автоматична транслітерація з російської мови

<http://vak.in.ua/do.php> – оформлення списку літератури по вимогам ВАК України

Комп'ютерна верстка: *М.Г. Тищенко, М.О. Масесов, Є.О. Судніков, Д.Л. Демидко*

---

Засновник і видавець Національний університет оборони України імені Івана Черняховського.  
Св-во КВ № 20490-10290ПР. Адреса редакції: 03049, м. Київ, Повітрофлотський пр-т, 28. Тел. (044) 271-09-44.

Підписано до друку 27.08.2015. Формат 60×84 1/8. Ум. друк. а. 24. Тираж 100 прим.

Надруковано у друкарні Національного університету оборони України імені Івана Черняховського.

---